

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNSAN - MAKİNA SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE
BULANIK MODELLEME**

DOKTORA TEZİ

Emre MERCAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

NİSAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNSAN - MAKİNA SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE
BULANIK MODELLEME**

DOKTORA TEZİ

**Emre MERCAN
(507032111)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Fahri ÖZOK

NİSAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507032111 numaralı Doktora Öğrencisi **Emre MERCAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“İNSAN - MAKİNA SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE BULANIK MODELLEME”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ahmet Fahri ÖZOK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Fethi ÇALIŞIR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yasemin Claire ERENSAL
Doğuş Üniversitesi

Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **14 Eylül 2012**
Savunma Tarihi : **22 Nisan 2013**

Beni her türlü fedakarlıklarla yetiştiren Anneme, Babama ve sabırla destekleyen Eşime, Oğlum Ömer'e, sürekli yüreklendiren ve cesaret veren saygıdeğer Hocama ithaf edilir.

ÖNSÖZ

Küresel rekabetin giderek arttığı günümüz otomotiv sektöründe, ülkemizin pazar gücünü artırmak ve marka imajını geliştirmek adına atılacak en önemli adımlardan biri insana yatırımdır. Teknolojiyi üretenin de, kullananın da aslında insan olduğu gerçeğinden hareketle, sürekli güncellenen bir mesleki eğitim politikasının benimsenmesi kadar önemli diğer bir husus da, üretkenliği ve kaliteyi artırma çabasını, insanca çalışma koşulları sağlayarak ortaya koyabilmektir. Artan çevresel ve fizyolojik yüklenme etmenlerine ek olarak; gelişen iletişim teknolojisi ile bilgi kullanımının giderek arttığı, daha karmaşık sosyal ve örgütsel yapıların oluştuğu günümüz üretim sektöründe, çalışanların üzerinde oluşan yüklenmeleri minimize edecek yaklaşımların geliştirilmesi ve kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu yaklaşım çerçevesinde gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında, özellikle otomotiv sektöründe üretim faaliyeti yapan bir işletme özelinde ergonomik koşullar tüm boyutları ile ele alınarak, kapsamlı bir ergonomik değerlendirme modeli ve bu modeli destekleyen bir yazılım geliştirilmeye çalışılmıştır. Tez çalışması çerçevesinde ortaya konulan analiz sonuçları, işletmenin ilgili uzman ve yöneticileriyle de paylaşılmış olup, tez sonucunda elde edilen bulgular ışığında, çalışma yerlerinin ve iş koşullarının iyileştirilmesine yönelik aksiyon planlarının hazırlanması ve hayata geçirilmesi, teorik tabanlı bir çalışmanın pratiğe dönüştürülmesi açısından da oldukça faydalı ve tatminkar olmuştur. Özellikle Ergonomi biliminin ülkemizde teoriden uygulamaya geçmesi sürecini hızlandıran tez çalışmalarının yaygınlaştırılmasını umuyor, tez çalışması boyunca her türlü bilgiyi paylaşan Mercedes-Benz Türk A.Ş. çalışanlarına, her koşulda beni motive eden ve yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Ahmet Fahri Özok'a, olumlu yaklaşımları ve yakın ilgileri ile çalışmamı derinleştirmeme katkı sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Yasemin Claire Erensal ve Prof. Dr. Fethi Çalışır'a, tükenmez bir sabırla beni destekleyen sevgili eşim Meryem ve oğlum Ömer'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Eylül 2012

Emre Mercan
Endüstri Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxv
ÖZET.....	xxxi
SUMMARY.....	xxxv
1. GİRİŞ	1
2. İNSAN-MAKİNA SİSTEMLERİNİN ERGONOMİK PERFORMANS AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	5
2.1 Temel Kavramlar ve Tanımlar	5
2.2 İnsan-Makina Sistemlerinin Analizi ve Ergonomik Değerlendirmenin Önemi	8
2.3 İnsan-Makina Sistemlerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler	10
2.4 İnsan-Makina Sistemlerinin Değerlendirilmesinde Bilgisayar Destekli Yöntemler	16
2.5 Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	16
2.6 Fizyolojik Yüklenme ve Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıkları İlişkisi.....	19
3. BULANIK MANTIK VE UYGULAMA ALANLARI	23
3.1 Bulanık Kümeler Kuramı.....	23
3.2 Bulanık Mantık Kavramı	25
3.3 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler - Bulanık Çıkarım Süreci	26
3.3.1 Bulanık uzman sistem modeli	29
3.3.2 Bulanık çıkarım süreci örnek uygulaması (MatLab).....	30
3.3.2.1 Üyelik fonksiyonlarının her kriter için oluşturulması.....	31
3.3.2.2 Kural kümesinin oluşturulması.....	33
3.3.2.3 Modelin bileşke üyelik fonksiyonunun oluşturulması.....	34
3.3.3 Bulanık çıkarım süreci örnek uygulaması (FuzzyErgonomics).....	36
3.3.3.1 Üyelik fonksiyonlarının her kriter için oluşturulması.....	36
3.3.3.2 Kural kümesinin oluşturulması.....	39
3.3.3.3 Modelin bileşke üyelik fonksiyonunun oluşturulması.....	41
3.4 Bulanık Mantık Yaklaşımının Ergonomi’de Kullanımı	42
4. ERGONOMİK DEĞERLENDİRME MODELİ	45
4.1 Ergonomik Değerlendirme Modeli İçin Yaklaşımların İrdelenmesi.....	48
4.2 Ergonomik Değerlendirme Modelinin Geliştirilmesi.....	49
4.2.1 Kriterlerin belirlenmesi ve kriter hiyerarşilerinin oluşturulması	49
4.2.1.1 Çevresel yüklenme modeli kriter hiyerarşisi yapısı.....	51
4.2.1.2 Fizyolojik yüklenme modeli kriter hiyerarşisi yapısı	64
4.2.1.3 Mental yüklenme modeli kriter hiyerarşisi yapısı	72
4.2.2 Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması	76
4.2.2.1 Çevresel yüklenme modeline ait üyelik fonksiyonlarının oluşturulması	78

4.2.2.2 Fizyolojik yüklenme modeline ait üyelik fonksiyonlarının oluşturulması	81
4.2.2.3 Mental yüklenme modeline ait üyelik fonksiyonlarının oluşturulması	86
4.2.3 Kural kümelerinin oluşturulması	88
4.3 Bulanık Mantık Tabanlı Uzman Sistem Yazılımı.....	88
4.3.1 Uygulamanın Teknolojik Altyapısı Hakkında Bilgi	89
4.3.2 Uygulamanın Kullanımı Hakkında Bilgi	90
4.3.2.1 Ana menü ve yetkilendirme yönetimi	90
4.3.2.2 Kısım ve iş istasyonu tanımlama.....	93
4.3.2.3 Kriter grubu tanımlama	94
4.3.2.4 Kriter tanımlama	95
4.3.2.5 Üyelik fonksiyonu yönetimi	96
4.3.2.6 Kriter - üyelik fonksiyonu ilişkisi yönetimi.....	101
4.3.2.7 Denetim listesi tanımlama arayüzü	102
4.3.2.8 Bilgi giriş formu tanımlama arayüzü.....	103
4.3.2.9 Değerlendirme arayüzleri	104
4.3.2.10 Rapor yönetimi arayüzü.....	107
4.3.3 Kullanılan Grafiksel Gösterim Yöntemleri	109
5. İMALAT UYGULAMASI.....	111
5.1 Uygulamaya Yönelik Veri Toplama ve İstatistiksel Analiz Yaklaşımları	114
5.2 Fizyolojik Yüklenme Modeli Uygulama Sonuçları.....	118
5.2.1 Uygulamada kullanılan fizyolojik yüklenme modelleri arasındaki temel farklılıklar.....	118
5.2.2 Fizyolojik yüklenme sonuçlarının analizi	121
5.2.2.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	127
5.2.2.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması ..	129
5.2.2.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	132
5.2.3 Tüm vücut fizyolojik yüklenme faktörü sonuçlarının analizi	134
5.2.3.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	139
5.2.3.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması ..	142
5.2.3.3 Birinci seviyeden alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	144
5.2.4 Dinlenme etkisi faktörü sonuçlarının analizi.....	149
5.2.4.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	149
5.2.4.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması ..	151
5.2.4.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	153
5.2.5 Çevrim içi mola faktörü sonuçlarının analizi	154
5.2.5.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	155
5.2.5.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması ..	156
5.2.6 Baş boyun bölgesi - fizyolojik yüklenme faktörü sonuçlarının analizi...	158
5.2.6.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	164
5.2.6.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması ..	167
5.2.6.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	169
5.2.6.4 Baş boyun bölgesi - duruş pozisyonu faktörü sonuçlarının analizi..	170
5.2.7 Gövde bel bölgesi - fizyolojik yüklenme faktörü sonuçlarının analizi ..	178
5.2.7.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	184
5.2.7.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması ..	187
5.2.7.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	189
5.2.7.4 Gövde bel bölgesi - kassal çalışma faktörü sonuçlarının analizi	191
5.2.7.5 Gövde bel bölgesi - pozisyon faktörü sonuçlarının analizi	196

5.2.7.6 Gövde bel bölgesi - eklem hareket sıklığı faktörü sonuçlarının analizi	204
5.2.7.7 Gövde bel bölgesi - duruş pozisyonu faktörü sonuçlarının her iki modele göre karşılaştırmalı incelenmesi	208
5.2.8 Üst kol omuz - fizyolojik yüklenme faktörü sonuçlarının analizi	216
5.2.8.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	223
5.2.8.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	226
5.2.8.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	228
5.2.8.4 Üst kol omuz bölgesi - kassal çalışma faktörü sonuçlarının her iki modele göre karşılaştırmalı incelenmesi	230
5.2.8.5 Üst kol omuz - pozisyon faktörü sonuçlarının analizi	235
5.2.8.6 Üst kol omuz - eklem hareket sıklığı faktörü sonuçlarının analizi	243
5.2.8.7 Üst kol omuz bölgesi- duruş pozisyonu faktörü sonuçlarının her iki modele göre karşılaştırmalı incelenmesi	247
5.2.9 QEC ve REBA Yöntemlerinin Uygulama Sonuçlarının İrdelenmesi	255
5.3 Çevresel Yüklenme Modeli Uygulama Sonuçları	263
5.3.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	266
5.3.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	268
5.3.3 Alt faktörler ile ilişkinin irdelenmesi	270
5.3.4 Hissedilen sıcaklık yüklenmesi faktörü sonuçlarının analizi	271
5.3.4.1 Hissedilen sıcaklık yüklenmesi faktörü için bulanık çıkarım modeli sonuçlarının analizi	272
5.3.4.2 Hissedilen sıcaklık yüklenmesi faktörü için Fanger metodu sonuçlarının analizi	280
5.3.4.3 Hissedilen sıcaklık yüklenmesi faktörü için bulanık tabanlı ve Fanger metodu bazlı modellerin karşılaştırılması	286
5.3.4.4 Ortam sıcaklığı faktörü değerlerinin analizi	287
5.3.4.5 Metabolizma oranı etkisi değerlerinin analizi	291
5.3.5 Zararlı maddeler yüklenmesi sonuçlarının analizi	295
5.3.5.1 Toz oranı kaynaklı yüklenme sonuçlarının analizi	305
5.3.5.2 Gaz seviyesi kaynaklı yüklenme sonuçlarının analizi	310
5.4 Mental Yüklenme Modeli Uygulama Sonuçları	315
5.4.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	321
5.4.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	323
5.4.3 Birinci seviyeden alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	324
5.4.4 İkinci seviyeden alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	325
5.4.5 İş kaynaklı mental yüklenme faktörü sonuçlarının analizi	327
5.4.5.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	331
5.4.5.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	334
5.4.5.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	335
5.4.5.4 Zihinsel gereksinim faktörü sonuçlarının analizi	336
5.4.6 Davranış kaynaklı yüklenme faktörü sonuçlarının analizi	346
5.4.6.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	351
5.4.6.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	353
5.4.6.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	355
5.4.7 Başarım seviyesi faktörü sonuçlarının analizi	356
5.4.7.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	357
5.4.7.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	359
5.4.7.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	360
5.4.8 Psikolojik kaynaklı yüklenme faktörü sonuçlarının analizi	361

5.4.8.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	368
5.4.8.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması ..	370
5.4.8.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	371
5.4.9 Sorumluluk kaynaklı yüklenme faktörü sonuçlarının analizi.....	374
5.4.9.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	374
5.4.9.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması ..	376
5.4.9.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi	378
5.4.10 Stres ve gerginlik yüklenmesi faktörü sonuçlarının analizi.....	379
5.4.10.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	380
5.4.10.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması	382
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	385
6.1 Eşdeğer ağırlıklı kriter yaklaşımına göre bileşke yüklenme	385
6.1.1 Grup şefliği bazında yüklenme ortalamalarının karşılaştırılması	387
6.1.2 Kısım müdürlüğü bazında yüklenme ortalamalarının karşılaştırılması ..	390
6.2 Ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımına göre bileşke yüklenme	393
6.2.1 Grup şefliği bazında yüklenme ortalamalarının karşılaştırılması	395
6.2.2 Kısım müdürlüğü bazında yüklenme ortalamalarının karşılaştırılması ..	398
6.3 Bileşke yüklenme yaklaşımlarının karşılaştırılması	402
6.4 Analiz Sonuçlarının Kullanılması	404
KAYNAKLAR.....	409
ÖZGEÇMİŞ.....	419

KISALTMALAR

AAWS	: Automotive Assembly Worksheet
AHP	: Analytic Hierarchy Process
BÇY	: Bulanık Çıkarım Yöntemi
CEN	: European Standards Organisation
DIN	: Deutsches Institut für Normung
GŞ	: Grup şefliği
ISO	: International Organization for Standardization
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
KİSR	: Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları
KM	: Kısım müdürlüğü
MİDS	: Metal Sanayi İş Gruplandırma Sistemi
QEC	: Quick Exposure Check
ROM	: Range of motion / Eklem açıklığı aralığı
REBA	: Rapid Entire Body Assessment
RULA	: Rapid Upper Limb Assessment
ÜF	: Üyelik fonksiyonu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Literatürde öne çıkan ergonomik değerlendirme yöntemleri.	13
Çizelge 4.1 : Ana kriter grupları ve sahip oldukları alt kriter sayıları.	51
Çizelge 4.2 : Çevresel Yüklenme ana kriter grubu ve alt kriterleri (0-2 hiyerarşik düzeyler arasında).	52
Çizelge 4.3 : “Gürültü Yüklenmesi (CK-1)” ve alt kriterleri.	54
Çizelge 4.4 : “Gürültü Yüklenmesi (CK-1)” ile ilgili incelenen standartlar.	55
Çizelge 4.5 : “Titreşim Yüklenmesi (CK-2)” ve alt kriterleri.	57
Çizelge 4.6 : “Titreşim Yüklenmesi (CK-2)” kriter grubu ile ilgili standartlar.	57
Çizelge 4.7 : “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ve alt kriterleri.	58
Çizelge 4.8 : “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” kriter grubu ile ilgili standartlar.	60
Çizelge 4.9 : “Zararlı Maddeler (CK-4)” ve alt kriterleri.	62
Çizelge 4.10 : “Zararlı Maddeler (CK-4)” kriter grubu ile ilgili standartlar.	62
Çizelge 4.11 : “Aydınlatma Yüklenmesi (CK-5)” ve alt kriterleri.	63
Çizelge 4.12 : “Aydınlatma Yüklenmesi (CK-5)” kriter grubu ile ilgili standartlar.	64
Çizelge 4.13 : Fizyolojik Yüklenme koşulları ana kriter grubu ve alt kriterleri (0-2 hiyerarşik düzeyler arasında).	67
Çizelge 4.14 : “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” kriter grubu.	70
Çizelge 4.15 : Mental Yüklenme ana kriter grubu ve alt kriterleri (0-2 hiyerarşik düzeyler arasında).	73
Çizelge 4.16 : Mental Yüklenme Modelinin geliştirilmesinde faydalanan yaklaşımlar.	74
Çizelge 4.17 : “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriter grubu ve alt kriterleri (2-5 hiyerarşik düzeyler arasında).	75
Çizelge 4.18 : CK-112 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.	78
Çizelge 4.19 : CK-21 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.	79
Çizelge 4.20 : CK-311 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.	81
Çizelge 4.21 : FK-12221 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.	82
Çizelge 4.22 : FK-11223 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.	84
Çizelge 4.23 : FK-22 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.	85
Çizelge 4.24 : MY kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.	87
Çizelge 4.25 : MY-1111 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.	87
Çizelge 5.1 : Analiz edilen iş istasyonlarının listesi.	112
Çizelge 5.2 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK).	122
Çizelge 5.3 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1&2 / FK).	123
Çizelge 5.4 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1 / FK).	125
Çizelge 5.5 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-2 / FK).	126
Çizelge 5.6 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK).	127
Çizelge 5.7 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK).	128

Çizelge 5.8 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK).	128
Çizelge 5.9 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK).	128
Çizelge 5.10 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK).	129
Çizelge 5.11 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK).	130
Çizelge 5.12 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK).	130
Çizelge 5.13 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK).	131
Çizelge 5.14 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK).	131
Çizelge 5.15 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK).	131
Çizelge 5.16 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK).	132
Çizelge 5.17 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK).	133
Çizelge 5.18 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-1).	134
Çizelge 5.19 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1 / FK-1).	136
Çizelge 5.20 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-2 / FK-1).	137
Çizelge 5.21 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1).	140
Çizelge 5.22 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1).	140
Çizelge 5.23 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1).	141
Çizelge 5.24 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1).	141
Çizelge 5.25 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1).	141
Çizelge 5.26 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1).	143
Çizelge 5.27 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1).	143
Çizelge 5.28 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1).	143
Çizelge 5.29 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1).	143
Çizelge 5.30 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1).	144
Çizelge 5.31 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-1).	145
Çizelge 5.32 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-1).	146
Çizelge 5.33 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-41).	147
Çizelge 5.34 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-41).	148
Çizelge 5.35 : GŞ bazında varyans analizi (FK-2).	150
Çizelge 5.36 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-2).	150
Çizelge 5.37 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-2).	151
Çizelge 5.38 : KM bazında varyans analizi (FK-2).	152
Çizelge 5.39 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-2).	152
Çizelge 5.40 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-2).	153
Çizelge 5.41 : Regresyon ve korelasyon analizi (FK-2).	154
Çizelge 5.42 : GŞ bazında varyans analizi (FK-22).	155
Çizelge 5.43 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-22).	156
Çizelge 5.44 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-22).	156
Çizelge 5.45 : KM bazında varyans analizi (FK-22).	157
Çizelge 5.46 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-22).	157
Çizelge 5.47 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-22).	158
Çizelge 5.48 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-11).	159
Çizelge 5.49 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1 / FK-11).	160
Çizelge 5.50 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-2 / FK-11).	161
Çizelge 5.51 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-11).	165
Çizelge 5.52 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1).	165
Çizelge 5.53 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-11).	166

Çizelge 5.54 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-11).....	166
Çizelge 5.55 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-11).	166
Çizelge 5.56 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-11).	168
Çizelge 5.57 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-11).	168
Çizelge 5.58 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-11).	168
Çizelge 5.59 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-11).	168
Çizelge 5.60 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-11).	169
Çizelge 5.61 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-11).....	170
Çizelge 5.62 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-11).....	170
Çizelge 5.63 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-1122).	171
Çizelge 5.64 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1122).....	172
Çizelge 5.65 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1122).....	172
Çizelge 5.66 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1122).....	173
Çizelge 5.67 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1122).....	173
Çizelge 5.68 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1122).	173
Çizelge 5.69 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1122).....	175
Çizelge 5.70 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1122).	175
Çizelge 5.71 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1122).....	175
Çizelge 5.72 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1122).	175
Çizelge 5.73 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1122).	176
Çizelge 5.74 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-1122).....	177
Çizelge 5.75 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-1122).....	178
Çizelge 5.76 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-12).	179
Çizelge 5.77 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1 / FK-12).	181
Çizelge 5.78 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-2 / FK-12).	182
Çizelge 5.79 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-12).....	185
Çizelge 5.80 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-12).....	185
Çizelge 5.81 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-12).....	186
Çizelge 5.82 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-12).....	186
Çizelge 5.83 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-12).	186
Çizelge 5.84 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-12).	188
Çizelge 5.85 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-12).	188
Çizelge 5.86 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-12).	188
Çizelge 5.87 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1).	188
Çizelge 5.88 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-12). ...	189
Çizelge 5.89 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-12).....	190
Çizelge 5.90 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-12).....	190
Çizelge 5.91 : GŞ bazında varyans analizi (FK-121).....	192
Çizelge 5.92 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-121).....	192
Çizelge 5.93 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-121).	193
Çizelge 5.94 : KM bazında varyans analizi (FK-121).....	194
Çizelge 5.95 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-2).	194
Çizelge 5.96 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-121).	195
Çizelge 5.97 : Regresyon ve korelasyon analizi (FK-121).....	196
Çizelge 5.98 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-122).	197
Çizelge 5.99 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-122).....	198
Çizelge 5.100 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-122).....	198
Çizelge 5.101 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-122).....	198

Çizelge 5.102 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-122).	199
Çizelge 5.103 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-122).	199
Çizelge 5.104 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-122).	200
Çizelge 5.105 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-122).	200
Çizelge 5.106 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-122).	201
Çizelge 5.107 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-122).	201
Çizelge 5.108 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-122).	201
Çizelge 5.109 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-122).	203
Çizelge 5.110 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-122).	204
Çizelge 5.111 : GŞ bazında varyans analizi (FK-1221).	206
Çizelge 5.112 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-1221).	206
Çizelge 5.113 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-1221).	206
Çizelge 5.114 : KM bazında varyans analizi (FK-1221).	207
Çizelge 5.115 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-1221).	208
Çizelge 5.116 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-1221).	208
Çizelge 5.117 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-1222).	209
Çizelge 5.118 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1222).	210
Çizelge 5.119 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1222).	210
Çizelge 5.120 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1222).	211
Çizelge 5.121 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1222).	211
Çizelge 5.122 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1222).	211
Çizelge 5.123 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1222).	213
Çizelge 5.124 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1222).	213
Çizelge 5.125 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1222).	213
Çizelge 5.126 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1222).	213
Çizelge 5.127 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1222).	214
Çizelge 5.128 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-1222).	215
Çizelge 5.129 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-1222).	216
Çizelge 5.130 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-13).	217
Çizelge 5.131 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1 / FK-13).	220
Çizelge 5.132 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-2 / FK-13).	221
Çizelge 5.133 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-13).	224
Çizelge 5.134 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-13).	224
Çizelge 5.135 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-13).	225
Çizelge 5.136 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-13).	225
Çizelge 5.137 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-13).	225
Çizelge 5.138 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-13).	227
Çizelge 5.139 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-13).	227
Çizelge 5.140 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-13).	227
Çizelge 5.141 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-13).	227
Çizelge 5.142 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-13).	228
Çizelge 5.143 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-13).	229
Çizelge 5.144 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-13).	230
Çizelge 5.145 : GŞ bazında varyans analizi (FK-131).	232
Çizelge 5.146 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-131).	232

Çizelge 5.147 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-131).	232
Çizelge 5.148 : KM bazında varyans analizi (FK-131).....	233
Çizelge 5.149 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-131).....	234
Çizelge 5.150 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-131).	234
Çizelge 5.151 : Regresyon ve korelasyon analizi (FK-131).	235
Çizelge 5.152 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-132).	236
Çizelge 5.153 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-132).....	237
Çizelge 5.154 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-132).....	237
Çizelge 5.155 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-132).....	238
Çizelge 5.156 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-132).....	238
Çizelge 5.157 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-132).	238
Çizelge 5.158 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-132).....	240
Çizelge 5.159 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-132).	240
Çizelge 5.160 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-132).....	240
Çizelge 5.161 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-122).	240
Çizelge 5.162 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-132).	241
Çizelge 5.163 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-132).....	242
Çizelge 5.164 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-132).....	243
Çizelge 5.165 : GŞ bazında varyans analizi (FK-1321).	245
Çizelge 5.166 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-1321).	245
Çizelge 5.167 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-1321).....	245
Çizelge 5.168 : KM bazında varyans analizi (FK-1321).....	246
Çizelge 5.169 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-1321).....	247
Çizelge 5.170 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-1321).	247
Çizelge 5.171 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-1322).	248
Çizelge 5.172 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1322).....	249
Çizelge 5.173 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1322).....	249
Çizelge 5.174 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1322).....	250
Çizelge 5.175 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1322).....	250
Çizelge 5.176 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1322).	250
Çizelge 5.177 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1322).....	252
Çizelge 5.178 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1322).	252
Çizelge 5.179 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1322).....	252
Çizelge 5.180 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1322).	252
Çizelge 5.181 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 /FK-1322).	253
Çizelge 5.182 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-1322).....	254
Çizelge 5.183 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-1322).....	255
Çizelge 5.184 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK).	257
Çizelge 5.185 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2, QEC, REBA / FK).	258
Çizelge 5.186 : GŞ ortalamaları (Model-1&2, QEC, REBA / FK).....	258
Çizelge 5.187 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2, QEC, REBA / FK).	259
Çizelge 5.188 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1&2, QEC, REBA / FK).	262
Çizelge 5.189 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (CK).	264
Çizelge 5.190 : GŞ bazında varyans analizi (CK).....	267

Çizelge 5.191 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK).	267
Çizelge 5.192 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK).	268
Çizelge 5.193 : KM bazında varyans analizi (CK).	269
Çizelge 5.194 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK).	269
Çizelge 5.195 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK).	270
Çizelge 5.196 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK).	271
Çizelge 5.197 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (CK-3).	273
Çizelge 5.198 : GŞ bazında varyans analizi (CK-3).	276
Çizelge 5.199 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-3).	276
Çizelge 5.200 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-3).	277
Çizelge 5.201 : KM bazında varyans analizi (CK-3).	278
Çizelge 5.202 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-3).	278
Çizelge 5.203 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-3).	279
Çizelge 5.204 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-3).	280
Çizelge 5.205 : GŞ bazında varyans analizi (CK-3/Fanger).	282
Çizelge 5.206 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-3/Fanger).	282
Çizelge 5.207 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-3/Fanger).	282
Çizelge 5.208 : KM bazında varyans analizi (CK-3/Fanger).	284
Çizelge 5.209 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-3/Fanger).	284
Çizelge 5.210 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-3/Fanger).	284
Çizelge 5.211 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-3/Fanger).	285
Çizelge 5.212 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (CK-3).	286
Çizelge 5.213 : GŞ ve KM bazlı yüklenme değerleri ve sıralaması (bulanık model ve Fanger metodu karşılaştırması / CK-3).	286
Çizelge 5.214 : GŞ bazında varyans analizi (CK-311).	289
Çizelge 5.215 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-311).	289
Çizelge 5.216 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-311).	289
Çizelge 5.217 : KM bazında varyans analizi (CK-311).	290
Çizelge 5.218 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-311).	291
Çizelge 5.219 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK).	291
Çizelge 5.220 : GŞ bazında varyans analizi (CK-322).	293
Çizelge 5.221 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-322).	293
Çizelge 5.222 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-322).	294
Çizelge 5.223 : KM bazında varyans analizi (CK-322).	295
Çizelge 5.224 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-322).	295
Çizelge 5.225 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-322).	295
Çizelge 5.226 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (CK-4).	297
Çizelge 5.227 : GŞ bazında varyans analizi (CK-4).	300
Çizelge 5.228 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-4).	301
Çizelge 5.229 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-4).	301
Çizelge 5.230 : KM bazında varyans analizi (CK-4).	302
Çizelge 5.231 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-4).	302
Çizelge 5.232 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-4).	303
Çizelge 5.233 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-4 / 1. derece).	304
Çizelge 5.234 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-4 / 2. derece).	305
Çizelge 5.235 : GŞ bazında varyans analizi (CK-41).	307
Çizelge 5.236 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-41).	307
Çizelge 5.237 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-41).	307
Çizelge 5.238 : KM bazında varyans analizi (CK-41).	308
Çizelge 5.239 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-41).	309

Çizelge 5.240 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-41).....	309
Çizelge 5.241 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-41)	310
Çizelge 5.242 : GŞ bazında varyans analizi (CK-42).....	312
Çizelge 5.243 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-42).	312
Çizelge 5.244 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-42).	312
Çizelge 5.245 : KM bazında varyans analizi (CK-42).	313
Çizelge 5.246 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-42).	314
Çizelge 5.247 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-42).....	314
Çizelge 5.248 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-42).	315
Çizelge 5.249 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (MY).	317
Çizelge 5.250 : GŞ bazında varyans analizi (MY).	321
Çizelge 5.251 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY).....	322
Çizelge 5.252 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY).	322
Çizelge 5.253 : KM bazında varyans analizi (MY).....	323
Çizelge 5.254 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY).	324
Çizelge 5.255 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY).	324
Çizelge 5.256 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY / 1. derece).....	325
Çizelge 5.257 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY / 2. derece).....	326
Çizelge 5.258 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (MY-1).	328
Çizelge 5.259 : GŞ bazında varyans analizi (MY-1).....	332
Çizelge 5.260 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-1).	333
Çizelge 5.261 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-1).	333
Çizelge 5.262 : KM bazında varyans analizi (MY-1).	334
Çizelge 5.263 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-1).	334
Çizelge 5.264 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-1).....	335
Çizelge 5.265 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-1).....	336
Çizelge 5.266 : GŞ bazında varyans analizi (MY-11).....	338
Çizelge 5.267 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-11).....	338
Çizelge 5.268 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-11).	338
Çizelge 5.269 : KM bazında varyans analizi (MY-11).	339
Çizelge 5.270 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-11).	340
Çizelge 5.271 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-11).	340
Çizelge 5.272 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (MY-11).	342
Çizelge 5.273 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (MY-2).	347
Çizelge 5.274 : GŞ bazında varyans analizi (MY-2).....	352
Çizelge 5.275 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-2).	352
Çizelge 5.276 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-2).	353
Çizelge 5.277 : KM bazında varyans analizi (MY-2).	354
Çizelge 5.278 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-2).	354
Çizelge 5.279 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-2).....	355
Çizelge 5.280 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-2).....	356
Çizelge 5.281 : GŞ bazında varyans analizi (MY-21).....	357
Çizelge 5.282 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-21).....	358
Çizelge 5.283 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-21).	358
Çizelge 5.284 : KM bazında varyans analizi (MY-21).	359
Çizelge 5.285 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-21).	360
Çizelge 5.286 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-21).....	360
Çizelge 5.287 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-21).....	361
Çizelge 5.288 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (MY-3).	363
Çizelge 5.289 : GŞ bazında varyans analizi (MY-3).....	368

Çizelge 5.290 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-3).	369
Çizelge 5.291 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-3).	369
Çizelge 5.292 : KM bazında varyans analizi (MY-3).	370
Çizelge 5.293 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-3).	371
Çizelge 5.294 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-3).	371
Çizelge 5.295 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-3/1. seviye).	372
Çizelge 5.296 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-3/2. seviye).	373
Çizelge 5.297 : GŞ bazında varyans analizi (MY-31).	375
Çizelge 5.298 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-31).	375
Çizelge 5.299 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-31).	376
Çizelge 5.300 : KM bazında varyans analizi (MY-31).	377
Çizelge 5.301 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-31).	377
Çizelge 5.302 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-31).	378
Çizelge 5.303 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-31).	379
Çizelge 5.304 : GŞ bazında varyans analizi (MY-34).	381
Çizelge 5.305 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-311).	381
Çizelge 5.306 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-34).	381
Çizelge 5.307 : KM bazında varyans analizi (MY-34).	383
Çizelge 5.308 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-34).	383
Çizelge 5.309 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-34).	383
Çizelge 6.1 : GŞ ve KM'lere ait bileşke yüklenme değerleri ve sıralaması (klasik yaklaşım).	386
Çizelge 6.2 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / Bileşke Yüklenme).	387
Çizelge 6.3 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / Bileşke Yüklenme).	388
Çizelge 6.4 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / Bileşke Yüklenme).	388
Çizelge 6.5 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / Bileşke Yüklenme).	388
Çizelge 6.6 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).	389
Çizelge 6.7 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / Bileşke Yüklenme).	390
Çizelge 6.8 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / Bileşke Yüklenme).	390
Çizelge 6.9 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / Bileşke Yüklenme).	391
Çizelge 6.10 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / Bileşke Yüklenme).	391
Çizelge 6.11 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).	392
Çizelge 6.12 : GŞ ve KM'lere ait bileşke yüklenme değerleri ve sıralaması (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı).	394
Çizelge 6.13 : GŞ bazında varyans analizi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1 / Bileşke Yüklenme).	396
Çizelge 6.14 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1 / Bileşke Yüklenme).	396
Çizelge 6.15 : GŞ bazında varyans analizi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-2 / Bileşke Yüklenme).	396
Çizelge 6.16 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-2 / Bileşke Yüklenme).	396
Çizelge 6.17 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).	397
Çizelge 6.18 : KM bazında varyans analizi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1 / Bileşke Yüklenme).	399

Çizelge 6.19 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1 / Bileşke Yüklenme).....	399
Çizelge 6.20 : KM bazında varyans analizi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-2 / Bileşke Yüklenme).....	399
Çizelge 6.21 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-2 / Bileşke Yüklenme).....	399
Çizelge 6.22 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).....	400
Çizelge 6.23 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (Model-1 / Bileşke Yüklenme).	402
Çizelge 6.24 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (Model-2 / Bileşke Yüklenme).	403
Çizelge 6.25 : GŞ ve KM bazlı bileşke yüklenme değerleri ve sıralaması (klasik ve kriter ağırlıklandırılmalı yaklaşım karşılaştırması).	403
Çizelge 6.26 : İST bazlı bileşke yüklenme modellerinin karşılaştırılması.	404

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : İş sisteminin temel yapısı (Brauchler, 2001).....	8
Şekil 2.2 : İş kaynaklı kas iskelet sistemi rahatsızlığının oluşumundaki etmenler.	21
Şekil 2.3 : Kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının gelişim modeli (Rohmert, 1986).	22
Şekil 3.1 : $\tilde{A}$ üçgensel bulanık sayısı (a_1, a_2, a_3).	25
Şekil 3.2 : $\tilde{A}$ yamuk bulanık sayısı (a_1, a_2, a_3, a_4).	25
Şekil 3.3 : Bulanık Uzman Sistem modeli yapısı.	30
Şekil 3.4 : “Ortam Sıcaklığı” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (MatLab).	31
Şekil 3.5 : “Bağıl Nem” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (MatLab).	31
Şekil 3.6 : “Işınım Sıcaklığı” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (MatLab).	32
Şekil 3.7 : “Havalandırma” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (MatLab).	32
Şekil 3.8 : “Hissedilen Sıcaklık - Çevresel Faktör Bileşkesi” kriterine ait çıktı üyelik fonksiyonları (MatLab).	33
Şekil 3.9 : “Hissedilen Sıcaklık” faktörünün modellenmesinde kurallar kümesinin oluşturulması (MatLab).	34
Şekil 3.10 : “Hissedilen Sıcaklık” kriter grubuna ait Bulanık Çıkarım Modeli.	35
Şekil 3.11 : “Hissedilen Sıcaklık” kriter grubuna ait bileşke üyelik fonksiyonu.	36
Şekil 3.12 : “Ortam Sıcaklığı” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (FuzzyErgonomics).	37
Şekil 3.13 : “Bağıl Nem” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (FuzzyErgonomics).	37
Şekil 3.14 : “Işınım Sıcaklığı” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (FuzzyErgonomics).	38
Şekil 3.15 : “Havalandırma” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (FuzzyErgonomics).	38
Şekil 3.16 : “Hissedilen Sıcaklık - Çevresel Faktör Bileşkesi” kriterine ait çıktı üyelik fonksiyonları (FuzzyErgonomics).	39
Şekil 3.17 : “Hissedilen Sıcaklık” faktörünün modellenmesinde kurallar kümesinin oluşturulması (FuzzyErgonomics).	40
Şekil 3.18 : “Hissedilen Sıcaklık” kriter grubuna ait Bulanık Çıkarım Modeli.	41
Şekil 3.19 : “Hissedilen Sıcaklık” kriter grubuna ait bileşke üyelik fonksiyonu (FuzzyErgonomics).	42
Şekil 4.1 : Makro ve Mikro-Ergonomi yöntemlerinin karşılaştırılması.	45
Şekil 4.2 : Ergonomik değerlendirme uzman sistemi yapısı blok diyagramı.	46
Şekil 4.3 : Çevresel Yüklenme ana kriter grubu ve alt kriterlerinin 0-2 hiyerarşik düzeyler arasında gösterimi.	53
Şekil 4.4 : “Gürültü Yüklenmesi (CK-1)” ve alt kriterlerinin hiyerarşik gösterimi.	54
Şekil 4.5 : “Titreşim Yüklenmesi (CK-2)” ve alt kriterlerinin hiyerarşik gösterimi.	57
Şekil 4.6 : “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ve alt kriterlerinin hiyerarşik gösterimi.	59
Şekil 4.7 : PMV-PPD arasındaki ilişki (ISO 7730).	61
Şekil 4.8 : “Zararlı Maddeler (CK-4)” ve alt kriterlerinin hiyerarşik gösterimi.	61

Şekil 4.9 : “Aydınlatma Yüklenmesi (CK-5)” ve alt kriterlerinin hiyerarşik gösterimi.	63
Şekil 4.10 : Fizyolojik Yüklenme modeline ilişkin genel yaklaşım.	68
Şekil 4.11 : Fizyolojik Yüklenme ana kriter grubu ve alt kriterlerinin 0-2 hiyerarşik düzeyler arasında gösterimi.	69
Şekil 4.12 : “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” kriter grubu hiyerarşik gösterimi.	71
Şekil 4.13 : Mental Yüklenme ana kriter grubu ve alt kriterlerinin 0-2 hiyerarşik düzeyler arasında gösterimi.	73
Şekil 4.14 : “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriter grubu ve alt kriterlerinin 2-5 hiyerarşik düzeyler arasında gösterimi.	76
Şekil 4.15 : Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması süreci.	77
Şekil 4.16 : CK-112 kriterine ait üyelik fonksiyonları (130-160 dB(C) aralığı).	79
Şekil 4.17 : CK-21 kriterine ait üyelik fonksiyonları (0-10 m/sn ² aralığı).	80
Şekil 4.18 : CK-311 kriterine ait üyelik fonksiyonları (-20 - 60 °C aralığı).	81
Şekil 4.19 : FK-12221 kriterine ait üyelik fonksiyonları (-30° - 90° açısal aralığı). ..	83
Şekil 4.20 : FK-11223 kriterine ait üyelik fonksiyonları (0-90° açısal aralığı).	84
Şekil 4.21 : FK-22 kriterine ait üyelik fonksiyonları (% 0 - 100 oransal aralığı).	86
Şekil 4.22 : MY kriterine ait üyelik fonksiyonları (% 0 - 100 oransal aralığı).	86
Şekil 4.23 : MY-1111 kriterine ait üyelik fonksiyonları (% 0 - 100 oransal aralığı). ..	88
Şekil 4.24 : FuzzyErgonomics Uygulaması - başlangıç sayfası görüntüsü.	91
Şekil 4.25 : FuzzyErgonomics Uygulaması - kullanıcı ismi, şifre ve işlem menüsü adımları.	92
Şekil 4.26 : FuzzyErgonomics Uygulaması - yetki kapsamında tanımlı işlemlerden örnekler.	93
Şekil 4.27 : FuzzyErgonomics Uygulaması - tanımlı kısım ve iş istasyonları.	94
Şekil 4.28 : FuzzyErgonomics Uygulaması - kriter grubu tanımlama.	95
Şekil 4.29 : FuzzyErgonomics Uygulaması - kriter tanımlama.	96
Şekil 4.30 : FuzzyErgonomics Uygulaması - üyelik fonksiyonu yönetimi.	97
Şekil 4.31 : FuzzyErgonomics Uygulaması - üyelik fonksiyonu görüntüleme.	98
Şekil 4.32 : FuzzyErgonomics Uygulaması - çizilebilen üyelik fonksiyonlarından örnekler.	99
Şekil 4.33 : FuzzyErgonomics Uygulaması - fonksiyona göre nokta tanımlama.	100
Şekil 4.34 : FuzzyErgonomics Uygulaması - kriter, üyelik fonksiyonu ilişki yönetimi.	102
Şekil 4.35 : FuzzyErgonomics Uygulaması - Denetim listesi tanımlama arayüzü. ..	103
Şekil 4.36 : FuzzyErgonomics Uygulaması - denetim listesi, kriter ilişkilendirme arayüzü.	103
Şekil 4.37 : FuzzyErgonomics Uygulaması - form tanımlama arayüzü.	104
Şekil 4.38 : FuzzyErgonomics Uygulaması - değerlendirme oturumlarının listelendiği arayüz.	105
Şekil 4.39 : FuzzyErgonomics Uygulaması - İş istasyonlarının ergonomik değerlendirmesi için kullanılan arayüz.	106
Şekil 4.40 : FuzzyErgonomics Uygulaması - rapor yönetimi arayüzü.	108
Şekil 5.1 : Grup şeflikleri ve kısım müdürlükleri arasındaki ilişki.	112
Şekil 5.2 : Sistem çıktılarının yorumlanmasında kullanılan süreç.	116
Şekil 5.3 : Uygulama süreç adımlarının (verilerin toplanması, değerlendirilmesi ve sonuçların elde edilmesi) şematik gösterimi.	117
Şekil 5.4 : Model-1 kriterlerinin hiyerarşik gösterimine örnek (FK-122).	119
Şekil 5.5 : Model-2 kriterlerinin hiyerarşik gösterimine örnek (FK-122).	120

Şekil 5.6 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK).	121
Şekil 5.7 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (Model-1&2 / FK).	124
Şekil 5.8 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK).	127
Şekil 5.9 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK).	130
Şekil 5.10 : Model-1 ve Model-2 verilerinin histogram gösterimi (FK-1).	134
Şekil 5.11 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (FK-1 / Model- 1&2).	135
Şekil 5.12 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (FK-1 / Model- 1&2).	139
Şekil 5.13 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-1).	140
Şekil 5.14 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1).	142
Şekil 5.15 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-2).	149
Şekil 5.16 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-2).	150
Şekil 5.17 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-2).	152
Şekil 5.18 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-22).	154
Şekil 5.19 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-22).	155
Şekil 5.20 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-22).	157
Şekil 5.21 : Model-1 ve Model-2 (açılı) verilerinin histogram gösterimi (FK-11)..	158
Şekil 5.22 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (FK-11 / Model-1&2).	162
Şekil 5.23 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (FK-11 / Model- 1&2).	164
Şekil 5.24 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-11).	165
Şekil 5.25 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-11).	167
Şekil 5.26 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-1122). ..	171
Şekil 5.27 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1122).	172
Şekil 5.28 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1122).	174
Şekil 5.29 : Model-1 ve Model-2 (açılı). verilerinin histogram gösterimi (FK-12). ..	178
Şekil 5.30 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (FK-12 / Model-1&2).	180
Şekil 5.31 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (FK-12 / Model- 1&2).	184
Şekil 5.32 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-12).	185
Şekil 5.33 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-12).	187
Şekil 5.34 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-121).	191
Şekil 5.35 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-121).	192
Şekil 5.36 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-121).	194
Şekil 5.37 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-122).	196
Şekil 5.38 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-122).	197
Şekil 5.39 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-122).	200
Şekil 5.40 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-1221).	205
Şekil 5.41 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-1221).	205
Şekil 5.42 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-1221).	207
Şekil 5.43 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-1222). ..	209
Şekil 5.44 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1222).	210
Şekil 5.45 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1222).	212
Şekil 5.46 : Model-1 ve Model-2 (açılı). verilerinin histogram gösterimi.	217
Şekil 5.47 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (FK-13 / Model-1&2).	218

Şekil 5.48 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (FK-13 / Model-1&2).....	223
Şekil 5.49 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-13).	224
Şekil 5.50 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-13).....	226
Şekil 5.51 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi.	231
Şekil 5.52 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-131).	231
Şekil 5.53 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-131).....	233
Şekil 5.54 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-132).	236
Şekil 5.55 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-132).....	237
Şekil 5.56 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-132).....	239
Şekil 5.57 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-1321).....	244
Şekil 5.58 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-1321).	244
Şekil 5.59 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-1321).....	246
Şekil 5.60 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-1322). ..	248
Şekil 5.61 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1322).	249
Şekil 5.62 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1322).....	251
Şekil 5.63 : Model-1, Model-2 (açılı), QEC ve REBA yöntemleri yüklenme değerlerinin histogram gösterimi (FK).	256
Şekil 5.64 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (FK / Model-1&2, QEC, REBA).....	261
Şekil 5.65 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK).	263
Şekil 5.66 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (CK).	264
Şekil 5.67 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (CK).	266
Şekil 5.68 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK).	267
Şekil 5.69 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK).	269
Şekil 5.70 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK).	272
Şekil 5.71 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (CK-3).....	273
Şekil 5.72 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (CK-3).....	275
Şekil 5.73 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-3).....	276
Şekil 5.74 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-3).	278
Şekil 5.75 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK-3 / Fanger).....	281
Şekil 5.76 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-3 / Fanger).	281
Şekil 5.77 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-3/Fanger).....	283
Şekil 5.78 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK-311).	288
Şekil 5.79 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-311).....	288
Şekil 5.80 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-311).	290
Şekil 5.81 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK-322).	292
Şekil 5.82 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-322).....	292
Şekil 5.83 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-322).	294
Şekil 5.84 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK).	296
Şekil 5.85 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (CK-4).....	296
Şekil 5.86 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (CK-4).....	299
Şekil 5.87 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-4).....	300
Şekil 5.88 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-4).	302
Şekil 5.89 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK-41).	306
Şekil 5.90 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-41).....	306
Şekil 5.91 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-41).	308
Şekil 5.92 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK-42).	311
Şekil 5.93 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-42).....	311
Şekil 5.94 : KM değeri ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-42).....	313

Şekil 5.95 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY).	316
Şekil 5.96 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (MY).	316
Şekil 5.97 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (MY).	320
Şekil 5.98 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY)	321
Şekil 5.99 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY).	323
Şekil 5.100 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-1).	327
Şekil 5.101 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (MY-1).	329
Şekil 5.102 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (MY-1).	331
Şekil 5.103 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-1).	332
Şekil 5.104 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-1).	334
Şekil 5.105 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-11).	337
Şekil 5.106 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-11).	337
Şekil 5.107 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-11).	339
Şekil 5.108 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (MY-11).	343
Şekil 5.109 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (MY-11).	345
Şekil 5.110 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-2).	346
Şekil 5.111 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (MY-2).	348
Şekil 5.112 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (MY-2).	351
Şekil 5.113 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-2).	352
Şekil 5.114 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-2).	354
Şekil 5.115 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-21).	356
Şekil 5.116 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-21).	357
Şekil 5.117 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-21).	359
Şekil 5.118 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-3).	362
Şekil 5.119 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (MY-3).	364
Şekil 5.120 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (MY-3).	367
Şekil 5.121 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-3).	368
Şekil 5.122 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-3).	370
Şekil 5.123 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-31).	374
Şekil 5.124 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-31).	375
Şekil 5.125 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-31).	377
Şekil 5.126 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-34).	380
Şekil 5.127 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-34).	380
Şekil 5.128 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-34).	382
Şekil 6.1 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).	387
Şekil 6.2 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).	390
Şekil 6.3 : GŞ bazında İST'lerin bileşke yüklenme aralıklarına dağılımı (eşit ağırlıklı / klasik kriter yaklaşımı).	393
Şekil 6.4 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).	395
Şekil 6.5 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).	398
Şekil 6.6 : GŞ bazında İST'lerin bileşke yüklenme aralıklarına dağılımı (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı).	401
Şekil 6.7 : Ergonomik değerlendirme sistemi geliştirilmesi süreci.	406

İNSAN - MAKİNA SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE BULANIK MODELLEME

ÖZET

Ergonomi biliminin temel felsefesi olan, işin insan için oluşturduğu problemlerin nedenlerini ortaya koyma ve bunları çözme yaklaşımı doğrultusunda, iş sistemlerinin verimliliğini, sistemin merkezinde yer alan insan ögesinin çalışma koşullarının rahatlığını ve güvenliğini de sağlayarak artırabilme amacına yönelik insan-makina sistemlerinin ergonomik açıdan değerlendirilmesi ve ergonomik koşullardaki iyileşmelerin sürekli iyileştirme yaklaşımı doğrultusunda takibi gerekmektedir. “İnsan-Makina Sistemlerinin Ergonomik Değerlendirilmesi” sürecinin en önemli ön koşullarından biri de, insan odaklı yaklaşım çerçevesinde, insanın sistemle yaptığı fizyolojik, bilişsel ve çevresel etkileşimleri de göz önünde bulundurarak iş kapsamlarının analiz edilmesi ve çeşitli ergonomik performans kriterlerine göre risk derecelerinin belirlenmesidir.

Bu bağlamda literatürde, insan-makina sistemlerinin ergonomik değerlendirilmesi kapsamında geliştirilmiş çok sayıda yöntem rastlanmaktadır. Bu noktada karşılaşılan en önemli zorluklardan biri de uygun yöntemin belirlenmesi ve doğru bir şekilde kullanımıdır; zira her yöntemin güçlü ve zayıf yanları, kullanımının etkin olduğu iş kapsamları mevcuttur. Dolayısıyla uygun olmayan bir yöntemin seçilmesi ve kullanımı, yüksek ergonomik risk taşıyan iş kapsamlarının tespit edilememesine yol açarak çalışan sağlığının tehlikeye girmesi riskini doğurabilir; diğer yandan gerekmediği halde, iş akışlarının ve iş istasyonlarının yüksek maliyet ve zaman harcanarak yeniden tasarlanması sebebiyle kaynakların israf edilmesi de söz konusu olabilir. Yapılan işlerin çalışan üzerinde yarattığı farklı düzeylerde fizyolojik, çevresel ve mental yüklenmeler söz konusudur. Bu yüklenmelerin çalışanlar üzerinde yarattığı etkiler ise çalışanların biyomekanik, psikolojik, sosyal profil özelliklerine bağlı olarak farklı boyut ve düzeylerde zorlanmalar şeklinde kendini gösterir. Bu zorlanmaların sağlık açısından en büyük riskleri yaratan çeşidi ise kas iskelet sistemi rahatsızlıkları (KİSR) olarak tanımlanan zorlanma grubudur. Dolayısıyla iş sistemlerinin ergonomik değerlendirilmesinde kullanılacak yöntemlerin mutlaka ilgili iş kapsamlarının çalışanlar üzerinde farklı ergonomik kriterlere göre yaratacağı yüklenme düzeylerini ayırt edici şekilde belirler ve zorlanma riskleri konusunda uyarıcı bilgi verir nitelikte olmaları gerekmektedir.

Özellikle otomotiv sektöründe, farklı üretim tekniklerinin ve iş kapsamlarının kullanıldığı karmaşık bir üretim süreci ile karşılaşılmaktadır. Motorlu taşıtların üretim süreci, metal sac ve boru profillerinin kesimi, kaynaklı birleştirme ile şasi ve gövdenin oluşturulması, talaşlı imalat teknikleri kullanılarak çeşitli mekanik aksamın üretilmesi, elektrik ve mekanik aksamın ön hazırlığı ve montajı, boya teknikleri ile yüzey koruma ve görseelliğin sağlanması, son adım olarak koltukların, döşemelerin ve iç kaplamaların hazırlanarak araca montajı aşamalarını içeren karmaşık bir sistemdir. Bazı iş kapsamları düşük çevrim zamanlı ve çok tekrarlı iş adımlarından oluşurken, bazı iş kapsamlarının uzun çevrim süreli ve az tekrarlı iş

adımlarından oluştuğu gözlemlenmektedir. Özellikle otobüs imalatında üretim akışının karmaşık yapısı, kullanılan üretim tekniklerinin çeşitliliği, çevrim zamanlarının uzun olması ve tekrarlı hareketlerin azlığı gibi faktörler, en uygun ergonomik değerlendirme yönteminin belirlenmesi sürecini zorlaştırmaktadır. Değerlendirme kapsamında hangi ergonomik değerlendirme boyutlarının söz konusu olacağı ve bu boyutlarda yer alacak kriterlerin belirlenmesi önemli bir aşama olarak tanımlanırken, bunun da ötesinde bu kriterlerin işletme, üretim süreci, hatta iş istasyonu bazında ağırlıklarının, önem derecelerinin ne şekilde belirleneceği, her kriterin çalışanın kendisi, yöneticileri ve ergonomik değerlendirmeyi yapacak uzmanlar tarafından ne şekilde algılandığı gibi sübjektif faktörler de önem kazanmaktadır.

Ergonomik faktörler ve ilgili yüklenmelerin tespitine yönelik bilimsel kaynaklar, standartlar ve yöntemlerden elde edilen bilgilere ek olarak, işletmenin konusunda uzman yöneticilerinin, teknisyenlerinin ve hatta iş istasyonlarında çalışan operatörlerin deneyim, bilgi ve algılarının da ergonomik değerlendirme sürecine katılabilmesi, değerlendirme süreci çerçevesinde kriter bazında elde edilen yüklenme sonuçlarının bilimsel olduğu kadar, işletmenin bilgi, deneyim ve algı birikimini de yansıtır nitelikte olmasını mümkün hale getirir. Literatür incelendiğinde, Bulanık Kümeler Teorisi, Bulanık Çıkarım Yöntemi (BÇY) tabanlı uzman sistem yaklaşımının kullanımı, söz konusu avantajlara sahip bir ergonomik değerlendirme modelinin yapılandırılması açısından en uygun yöntem kombinasyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda üretim süreçlerindeki insan-makina ara kesitlerinin ergonomik değerlendirilmesinde sözel ifadeler içeren sübjektif tanımlamaların da kullanılabilmesine ve bu sözel ifadelerin matematiksel ifadelere çevrilebilmesine olanak tanıyan Mamdani BÇY tabanlı bir uzman sistem olarak tanımlanabilecek bir ergonomik değerlendirme modeli tez kapsamında geliştirilmiştir. Modelin geliştirilmesi çerçevesinde ilk adım olarak, fizyolojik, mental ve çevresel ergonomik yüklenmeler ile ilgili literatür taraması ile tespit edilmiş çok sayıda bilimsel araştırma, standart ve özellikle sanayi uygulaması olan, dayandığı bilimsel araştırma ve kaynaklar açısından güvenilir bulunan, kabul görmüş değerlendirme yöntemleri seçilerek incelenmiş ve bir ergonomik kriter kataloğu oluşturulmuştur. Ardından, Mamdani BÇY tabanlı uzman sistem yaklaşımı gereği, bu katalogta yer alan kriterler arasında birbirinin alt faktörü olup olmama durumlarına göre hiyerarşik ilişki yapısı tanımlanmıştır. Bazı kriterlerde sayısal değerlendirme yapabilmek mümkün iken, bazı kriterler sadece sözel/kalitatif olarak değerlendirilebilmektedir. Kalitatif kriterlerin ölçümlenmesinde de Bulanık Mantık yaklaşımı kullanılarak tüm değerlendirmelerin sayısallaştırılması sayesinde ilgili ergonomik risklerin (çalışan üzerinde oluşan yüklenmeler) bir bütünsellik çerçevesinde sayısal olarak ortaya konulabilmesi mümkün olmuştur.

Modelin geliştirilmesine paralel olarak, Mamdani BÇY tabanlı uzman sistemin altyapısı niteliğinde olan, iş istasyonlarının değerlendirilmesi çerçevesinde veri toplama, değerlendirme ve sonuçların raporlanmasına olanak tanıyan ve “FuzzyErgonomics” olarak adlandırılan web tabanlı bir yazılım uygulaması geliştirilmiştir. Mamdani BÇY tabanlı uzman sistemin gerektirdiği süreç adımları olan kriterlere ait üyelik fonksiyonlarının ve kural kümelerinin oluşturulması gibi işlemler de yine “FuzzyErgonomics” yazılımı ile yapılabilmektedir. Bu sayede geliştirilen ergonomik değerlendirme modeli ile analiz edilen ve çeşitli ergonomik kriter gruplarına göre değerlendirilen iş istasyonlarının ergonomik kriterler açısından taşıdıkları risk derecelerinin, yani ergonomik performans veya yüklenme değerlerinin

belirlenmesi mümkün olmaktadır. Değerlendirme süreci çerçevesinde, modeldeki kriter kataloğundan faydalanılarak fizyolojik, çevresel ve mental yüklenmelerin tespitine yönelik kriter gruplamaları, denetim listesi görünümünde yapılandırılmıştır.

Sistem altyapısı kullanıma hazır hale getirildikten sonra, geliştirilen ergonomik değerlendirme modelinin uygulanması kapsamında otomotiv sektöründe faaliyet gösteren, şehirlerarası yolcu ve belediye otobüslerinin üretildiği Mercedes-Benz Türk A.Ş. Hoşdere fabrikasındaki karoseri, montaj ve boyahane kısımlarından 48 iş istasyonu belirlenmiştir. Uygulama kapsamı belirlendikten sonraki aşama olarak tanımlanabilecek veri toplama sürecinde, çeşitli ölçüm cihazları kullanılarak ve daha önce hazırlanmış İSG raporlarından faydalanılarak çevresel kriterlere yönelik veriler toplanmış olup, fizyolojik yüklenmelerin tespitine yönelik olarak da sahada, iş istasyonu bazında fotoğraf ve kamera çekimleri ile görsel veri kaydedilmiştir. Ayrıca, planlama ve imalat birimlerinden de değerlendirmelerin gerçekleştirildiği iş istasyonları için çevrim zamanı bazlı imalat iş akışları, metot ve zaman etüdü bilgileri toplanmıştır. Mental yüklenmelerin tespitine yönelik yüklenme verileri ise ilgili denetim listesini temel alarak oluşturulmuş bir form yardımı ile elde edilmiştir.

Veri toplama sürecinin tamamlanmasını takiben, Mamdani BÇY tabanlı uzman sistem çalıştırılarak kriterler bazında yüklenme değerleri elde edilmiştir. Söz konusu sonuçlardan hareketle benzer işlerin yapıldığı iş istasyonlarından oluşan grup şeflikleri arasında, çalışanlar üzerinde kriter veya kriter grubu temelli yüklenme farklılıkları olup olmadığının, grup şefliklerinin kendi aralarında kriter yüklenmelerine göre ne şekilde sıralandığının tespitine yönelik olarak varyans analizi ve eşleştirilmiş örneklem t-Test analizleri gerçekleştirilmiştir. Aynı analizler kısım müdürlükleri arasındaki kriter bazlı yüklenme farklılıklarının ortaya konulabilmesi için de gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, iş istasyonu bazlı ergonomik performans göstergesinin yanı sıra, grup şeflikleri veya kısım müdürlüklerinde çalışanların ergonomik kriterler bazında yüklenme seviyelerinin de karşılaştırmalı olarak ortaya konulması mümkün olmuştur. Kriterlerin önem derecesi ve çalışanlar üzerinde oluşan yüklenmelerdeki rollerinin tespitine yönelik olarak da regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz neticesinde çalışanlar üzerinde oluşan yüklenmelerde en etkili kriter veya kriter gruplarının tespiti, bunun da ötesinde etki derecelerinin belirlenmesi mümkün olmuştur. Tüm bu analiz sonuçları, çalışan sağlığı açısından risk taşıyan ergonomik kriterler ve yüksek ergonomik yüklenmelere maruz kalan birimler hakkında detaylı bilgileri de içeren bir rapor olarak işletme üst yönetimine sunulmuştur. Sonuçlar üzerinde yapılan istatistiksel analiz çalışmaları sayesinde çalışanların maruz kaldığı ergonomik risklerin önceliği belirlenmiş olduğu için, çözüm önerilerinin daha hızlı ve kaynakların optimum kullanımı gözetilerek geliştirilmesi mümkün hale gelmiştir.

Sektör veya işletme özelinde, nihai yüklenmeye en fazla etkisi olan kriterlerin kullanıldığı, daha dar kapsamlı ama hızlı ve sık kullanıma olanak tanıyan denetim listelerinin oluşturulması da tez kapsamında geliştirilen ergonomik değerlendirme modeli ile mümkün hale gelmiştir. Grup şefliği veya kısım müdürlüklerinde çalışan işçilerin MİDS (Metal Sanayi İş Gruplandırma Sistemi) sistemine göre belirlenmiş iş unvanları ve gruplarının ergonomik yüklenme ile ilgili MİDS kriterleri olan bedensel çaba, düşünsel çaba ve çalışma koşulları kriterlerine göre düzeyleri ile ergonomik değerlendirme modeli uygulama sonuçlarının ortaya koyduğu fizyolojik, çevresel ve mental yüklenme seviyeleri karşılaştırılabilir hale getirilmiştir.

ERGONOMIC ASSESSMENT OF MAN-MACHINE WORK SYSTEMS USING FUZZY LOGIC

SUMMARY

Ergonomic assessment of man-machine systems is a necessity to increase the efficiency and productivity of work systems, while maintaining comfortable, safe and hygienic work places. It helps to realize the main philosophy of ergonomics, which puts the human to the center of work systems, tries to identify the roots of the problems caused by work conditions and defines solutions for them. One of the most important prerequisites of the process for ergonomic assessment of man-machine systems is to analyze the tasks and define risk levels according to some predefined ergonomic criteria by considering the physiological, psychological and environmental interactions between workers and work systems.

In this coherence numerous tools or methods for the ergonomic assessment of man-machine systems have been developed and are available in the literature. One of the biggest challenges is to choose the most appropriate method and to use it properly. However, each method has its own strengths and weaknesses based on the purpose of application. Consequently, the selection and application of an inappropriate method decreases the probability of detection of ergonomic risks and this may jeopardize workers' health. Furthermore, significant time and capacity loss may be caused due to the unnecessary redesign of job tasks.

The work content can cause an overall strain on workers at different levels. Among others those are especially a combination of physical, psychological and environmental strain. Those strains may cause different kinds of stress based on the biomechanical, psychological and social profile properties of workers. One of the most dangerous types of stress for human healthiness can be defined as musculoskeletal disorders. As a result, the ergonomic assessment methods for analyzing work systems should be able to identify the strain levels for different ergonomic criteria as distinguishing as possible, and to warn about stress factors caused by those strains.

Above all, the automotive sector can be defined as a complex production process that combines many different manufacturing techniques and business areas. The manufacturing processes of motor vehicles include sheet metal and profile cutting, joining of those parts into chassis and body via welding techniques, production of mechanical and electrical parts and their assembly on vehicles, surface protection via painting operations, preparation of seats, coatings and their assembly on vehicles. The existence of different cycle times and variety of repetitiveness at work station groups on the production line makes it difficult to determine a unique and appropriate ergonomic assessment method. The correct selection of ergonomic dimensions and the inclusion of relevant ergonomic criteria for ergonomic assessment is a very crucial step. Beyond that, the importance of the criteria may vary on the characteristics of the plants, production lines and even work stations on the same production line. Besides, the importance of criteria may also be

differentiated based on the subjective perceptions of workers in the shop floor, their supervisors and the experts like ergonomists or workplace doctors.

The inclusion of subjective perceptions, experience and know-how of supervisors, technicians, experts and even the workers themselves in the ergonomic assessment process is very important. Furthermore the data resources derived from scientific researches, standards, measurements and observations should also be included since the process would be capable to determine the level of overall strain not just based on scientific data, but also accumulated experience, know-how and perception of employees of the plant could be reflected. The use of fuzzy sets theory or fuzzy logic based expert systems appear to be one of the most appropriate approaches stated in the literature in terms of taking the subjective perceptions into account during ergonomic assessment. In this context, a Mamdani fuzzy inference based expert system has been developed for the ergonomic assessment model, which is capable to translate linguistic terms of strain levels into mathematical terms for each ergonomic criterion.

Literature survey including academic resources, standards and industrial applications has been accomplished to collect information about the relationships between ergonomic strains and physiological, mental and environmental factors. A catalogue of 3666 ergonomic factors with consideration of hierarchical relationship and linguistic terms for strain levels has been generated based on the most reliable and cited resources. Whereas the existence of many comfort or strain models (thermal comfort, visual comfort, vibration, noise, biomechanical models for human body) and theoretical background with many industrial applications kept this process simple, for some factors, others and especially the ones of mental workload, information collection and building up the model was not easy due to the lack of quantitative data, which is required for the fuzzy inference approach. In terms of fuzzy inference based expert system modeling, the generation of rule and membership function sets depends on two sources: The data derived from literature survey mentioned above and the data reflecting subjective perception, experience and know-how derived from the experts (line engineers, Health and Safety experts, workplace doctors, etc.) and employees who are exposed to the strain while working, especially blue collar workers and their supervisors on the production line.

Parallel to the development of fuzzy inference expert system model, a web based database application software, “FuzzyErgonomics” has been developed, which enables to manage the expert system framework, i.e., the set up of basic information about plant, departments and work stations, preparation of a catalog for ergonomic criteria. Actions and preparations required to run the fuzzy inference expert system model including the fuzzification process requiring mathematical transformation of linguistic terms of strain levels into fuzzy membership functions, generation of rule set, generation of different checklists by using the ergonomic criteria catalogue, relating the checklists to the work stations to build up the assessment sessions, input of collected or observed criteria data regarding assessment session, running of Mamdani fuzzy inference algorithm within the context of assessment session, reporting the ergonomic performance or strain level of each work station for all ergonomic criteria are also accomplished by “FuzzyErgonomics” software.

Physiological, mental and environmental ergonomic factor groups are the three basic ergonomic performance dimensions determined within the context of this thesis. Once the Mamdani fuzzy inference based expert system model and the

corresponding web based application were ready for use, the phase for the ergonomic assessment started. The observation and data collection step began for 48 work stations, which were selected from three main manufacturing processes, body production, paint shop and assembly, at the Mercedes-Benz Türk bus production factory in Istanbul. At each work station visual data including pictures and video recordings especially to be used for the detection of physiological strain has been collected. Furthermore measurements for environmental ergonomic factors such as thermal comfort and noise have been completed. Observational data regarding environmental factors such as gas- and dust measurements as well as visual comfort measurements have been derived from the reports of a consultant company on Health and Safety. The work flow, task analysis and standard time measurements at each work station have been derived from production and planning departments. A special web based interface has been designed to collect data on mental workload for each work station.

After the completion of data collection and input phase, Mamdani fuzzy inference based expert system has been run for each ergonomic assessment checklist and ergonomic performance or strain value of each work station for all criteria have been derived as output. Statistical analysis has been made to test the hypothesis on the occurrence of a significant difference between groups, which are made of work stations and departments consisting of groups in the plant. The existence of a significant difference between the average strain values of groups and departments has been tested with the Variance Analysis. The dual comparisons have been made with the Tukey method, of which the prerequisite is that the strain values should fit to the normal distribution. The strain classification at group and department level has been made as well as the sorting of work stations according to the strain value for each criteria. Another important issue is the analysis of interaction between criteria and the detection of the strength of each criteria on their hierarchically upper criterion or overall strain value, since that enables to focus more on the criteria with stronger effects on overall strain. Regression and correlation analysis has been deployed to detect the interactions between ergonomic criteria and to highlight the criteria with relatively stronger affects on overall strain.

The results of analysis provides the factory management the ergonomic criteria with highest risk factors for employee health and the classification of work stations according to risk levels, as well as the comparison of groups and departments in terms of ergonomic strain levels for each criteria. The efforts for ergonomic improvements and the prioritization regarding resource utilization can be planned in a more realistic and efficient way. Some organizational measures such as rotation program and corresponding training activities could be planned more specific, even at the work station level.

Since the criteria with significant effects on overall strain are known, a more compact and leaner checklist with those significant criteria can be generated to save time and capacity for assessment processes. This enables more frequent assessment sessions and continuity in data collection. It should be noted, that this process would end up with another set of criteria in another plant, even though the manufacturing processes are similar.

The ergonomic assessment concept and system developed within this study contribute to the optimization of the ergonomics and OHS (Occupational Health and Safety) processes of companies by improving the efficiency of assessment and data

management efforts, help the experts to develop tailor-made assessment tools to follow up the ergonomic performance of production systems with more flexibility. The new concept and corresponding assessment models enable the management to coordinate and integrate the data pools at different departments or managerial levels to make more accurate and faster ergonomic analysis, which can be used as decision making criteria for new production lay-out plans, design or re-design of work stations, machinery and manufacturing processes, motivational Human Resources activities like developing new wage systems or job rotation programs considering ergonomic strain levels of workers.

1. GİRİŞ

Gelişme, büyüme, güçlenme gayreti içerisinde sanayileşme yolunda çok büyük çabalar sarf etmesi gereken ülkemizde, sanayileşme sürecine paralel olarak verimliliğin, kalitenin ve bilgi birikiminin kullanım hızının artması da büyük önem taşımaktadır. Günümüzde bilginin değeri başkalarınca taklit edilmeden kullanılabilirdiği süre kadar değerlidir ve bu süre her geçen gün kısalmaktadır. Bu bağlamda rekabet gücü farkını yaratan yegane faktör, bilgiyi kullanan, yorumlayan ve sonuçta katma değer yaratan insan kaynağı olarak ortaya çıkmaktadır. İnsan kaynağının katma değer yaratabilmesi için ise insana yatırım şarttır. İnsan kaynağına yapılabilecek en verimli yatırımlardan biri ise ergonomik çalışma ortamları yaratmaktır. Unutulmamalıdır ki, ergonomik prensiplere uygun üretim süreçleri tasarlamak veya mevcut süreçleri iyileştirmek çalışan sağlığını korumak, meslek hastalıklarını engellemek, insanca çalışma ortamları oluşturmak ve çalışan bağlılığını artırmanın yanı sıra kalite, üretkenlik ve verimlilik artışını da beraberinde getirir. Hal W. Hendrick'in ABD Ulusal Ergonomi Derneği'nin 40. yıl toplantısının açılış konuşmasında da belirttiği gibi, "Good Ergonomics is good economics"; yani Ergonomi'ye yapılan yatırımın finansal geri dönüşünün mutlaka yüksek olacağını vurgulayan sözleri, derinlemesine düşünülmesi ve işletmelerdeki üst düzey yöneticilere örneklerle açıklanması gereken bir yaklaşımdır [1].

Ülke ekonomisindeki ağırlığı ve katkısı son 20 yıldır ciddi şekilde artmış olan ve gelecekte de ekonomiye katkısının artarak devam edeceği beklenen otomotiv sanayi, artık günümüzde en büyük istihdam olanaklarını yaratan sektör olarak öne çıkmaktadır. İstanbul Sanayi Odası tarafından hazırlanan ve Türkiye'nin en büyük sanayi kuruluşlarının verilerinin derlendiği yıllık "ISO 500" raporları incelendiğinde, otomotiv sektöründe yer alan firmaların kurumsal performanslarının yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Özellikle firmaların büyüklüklerini belirleyen "üretimden satışlar" kriterine göre otomotiv sektörü diğer sektörlerle oranla daha yüksek ivmeli artışlar gerçekleştirmiştir. 500 büyük sanayi kuruluşu arasında "üretimden satışlar" ölçütüne göre otomotiv sanayinin payı 1982-2007 yılları

arasında % 5,6'dan % 15,6'ya kadar yükselmiş, küresel kriz nedeniyle 2008 yılında %5'in altına gerilemiştir. Kriz sonrası toparlanma süreci devam etmekle birlikte otomotiv sektörünün “üretimden satışlar” payı 2010 yılı itibarıyla %12 seviyesine yakın olarak kaydedilmiştir [2].

Otomotiv sanayinin ülke istihdamına olan etkisi incelendiğinde, sektörde ücretli çalışanların payı ilk 500 büyük sanayi kuruluşu içinde 1983'de sadece % 3 iken bu oran istikrarlı bir artış ile 2008 yılında % 16'ya kadar yükselmiş, kriz sonrası gerileyen istihdam oranı halen %10 seviyesinde korunmaya devam edilmektedir [2].

Türkiye otomotiv sanayinin 2015 yılı stratejik yol haritası incelendiğinde, 2 milyon adet üretim gerçekleştirerek dünyada toplam üretimde ilk 10, Avrupa ülkeleri arasında ise ilk 3'te yer almak; 1,5 milyon adet araç ihracatı gerçekleştirerek 50 milyar \$'lık ihracat geliri elde etmek ve 600 bin çalışana istihdam olanağı sağlamak gibi iddialı hedeflerin olduğu görülecektir [3]. Büyük teknolojik yatırımların gerçekleştirildiği, istihdamın hızla artmakta olduğu ve küresel rekabette yüksek verimlilik ve üretkenlik ile fark yaratma durumunda olan sektörün insan odaklı üretim yönetimi sistemlerine ve enstrümanlarına ihtiyacı olduğu; bu çerçevede Ergonomi biliminin büyük fırsatlar sunduğu hemen fark edilecektir. İş sistemlerinin ergonomik açıdan taşıdığı risklerin tespit edilerek ortadan kaldırılması veya iş sistemlerinin daha tasarım aşamasındayken taşıdıkları ergonomik risklerin minimize edilmesine odaklanılması, bu yolda çalışmalar yapılması, yöntemler geliştirilmesi [4], batılı sanayi toplumları kadar büyük bir demografik riskle karşı karşıya olmasak da, kıdemi ve yaş ortalaması gün geçtikçe artan ülkemiz işgücünün sağlığı ve sürdürülebilir verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Literatür ve sanayideki uygulamalar incelendiğinde, “İnsan-Makina Sistemi” olarak da tanımlanan iş sistemlerinin ergonomik açıdan değerlendirilmesinde kullanılmak üzere çok sayıda yöntemin geliştirildiği görülmektedir. Bu yöntemler bir iş sistemini hem Mikro-Ergonomi, hem Makro-Ergonomi kriterlerine göre analiz etme ve değerlendirme olanağı sağlayacak nitelikte olmalıdırlar. Ayrıca yöntemlerin, farklı iş kapsamalarını, ergonomik değerlendirme kriterleri bazında karşılaştırma imkanı sağlayacak şekilde sınıflandırabiliyor olmaları da gerekmektedir. Bu sınıflandırmaların, ilgili işlerin gerektirdiği çalışan profilinin özelliklerini ve o işin ergonomik açıdan barındırdığı riskleri ortaya koyabiliyor olması da önemlidir.

Tez kapsamında incelenen mevcut yöntemler, analizi ve değerlendirmeyi yapan uygulayıcının ölçümlerini, gözlemlerini ve ilgili iş sistemlerinde çalışan iş görenlerin deneyimlerini temel alan değerlendirmeler yapılmasını mümkün kılmaktadırlar. Dolayısıyla bazı kriterler için yapılan değerlendirmelerde objektif sayısal verilerden faydalanmak mümkünken, bazı kriterlerin değerlendirilmesinde sadece sözel/kalitatif ifadeleri içeren subjektif değerlendirmeler yapılabilmektedir. Kalitatif kriterlerin ölçülmesinde de Bulanık Mantık yaklaşımı kullanılarak tüm değerlendirmelerin sayısallaştırılması sayesinde ilgili ergonomik risklerin (çalışan üzerinde oluşan yüklenme ve zorlanma) bir bütünsellik çerçevesinde ortaya konulabilmesi mümkün olmaktadır.

Tez çalışması kapsamında mevcut yöntemlerden hareket edilerek özellikle otomotiv üretim süreçlerindeki insan-makina ara kesitlerinin ergonomik değerlendirilmesinde sözel ifadeler içeren subjektif tanımlamaların matematiksel ifadelere çevrilerek kullanılabilmesine olanak tanıyan, Bulanık Kümeler Teorisi ve Bulanık Çıkarım Yöntemi tabanlı bir ergonomik değerlendirme modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu modelin kullanımı ile çeşitli kriter gruplarına göre değerlendirilen işlerin taşıdıkları ergonomik risklerin ortaya konulması ve bu risklerin bertaraf edilmesi için alınacak önlemlerin belirlenmesi mümkün olacaktır.

İnsan-makina sistemlerinin analiz ve değerlendirilmesinde Bulanık Mantık yaklaşımını baz alan model ile, iş sistemlerinde çalışan iş görenlerin bilgi, deneyim ve işteki hoşnutluklarının sayısal olarak değerlendirilmesi, mental veya fiziksel ağırlıklı işlerin sınıflandırılarak özelliklerinin ortaya konulması mümkün olacaktır. Ayrıca iş değerlendirme faktörlerinin karşılaştırılması, iş sistemlerinde çalışacak kişilerden beklenen temel niteliklerin (çalışan profili) belirlenmesine yönelik verilerin toplanması, karşılaşılabilecek ergonomik risklerin tespit edilmesi gibi hedefler de söz konusu değerlendirme modelinin temel çıktıları olarak büyük önem taşımaktadırlar. Bu yöntemin konseptinin oluşturulmasının ardından özellikle otomotiv sektöründeki temel üretim süreçlerindeki işlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Aşağıda tez çalışmasının çerçevesi ve akış planı hakkında bilgiler verilmiştir.

2. bölümde İşbilim ve Ergonomi temel kavramları hakkında bilgi verilmiş, insan-makina ara kesiti sistem yaklaşımı çerçevesinde ele alınarak incelenmiş, insan-makina sistem yapısını oluşturan öğeler arasındaki ilişkiler irdelendikten sonra,

insan-makina sistemlerinin ergonomik olarak değerlendirilmesi için geliştirilmiş çeşitli yöntemler tanıtılarak, bu yöntemler çeşitli kriterlere göre birbirileri ile karşılaştırılmışlardır.

3. bölümde Bulanık Kümeler Teorisi ve Bulanık Mantık kısaca tanıtılarak, uygulama alanları irdelenmiş, son olarak Ergonomi bilim dalında Bulanık Kümeler Teorisi ve Bulanık Mantık yaklaşımının ne ölçüde kullanım ve uygulama alanı bulunduğu ortaya konularak, özellikle de insan-makina sistemlerinin tasarımı ve değerlendirilmesinde Bulanık Mantık yaklaşımının kullanımı ile ilgili sanayi uygulamaları içeren çalışmalardan literatür örnekleri paylaşılmıştır.

4. bölümde bu çalışmanın amaçlarından biri olarak insan-makina sistemlerinin ergonomik değerlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilen, Bulanık Mantık tabanlı ergonomik değerlendirme modeli tanıtılmıştır. Modelin geliştirilmesi çerçevesinde incelenen ve faydalanılan ergonomik değerlendirme yöntemleri ve standartlar hakkında bilgi verilerek, bu kaynaklardan modelin geliştirilmesi safhasında ne şekilde yararlanıldığı örneklerle açıklanmaya çalışılmıştır. Bu bölümün ikinci kısmında ise Bulanık Mantık tabanlı ergonomik değerlendirme modeli yaklaşımı çerçevesinde geliştirilen ve tüm veri toplama, değerlendirme, analiz çalışmalarının yapılmasına hızlı ve etkin bir şekilde olanak tanıyan ASP.NET / ASP teknolojisi destekli “FuzzyErgonomics” veritabanı uygulaması tanıtılmıştır.

5. bölümde tez kapsamında geliştirilen Bulanık Mantık tabanlı ergonomik değerlendirme modeli çerçevesinde, Mercedes-Benz Türk A.ř. Hoşdere otobüs fabrikasında gerçekleştirilen uygulamadan elde edilen verilerin detaylı analizler paylaşılmıştır.

Son olarak 6. bölümde ise elde edilen analiz sonuçlarından hareketle gerçekleştirilen tespit ve çıkarımlar paylaşılarak, ileriye yönelik potansiyel çalışma alanları hakkında önerilerde bulunulmuştur.

2. İNSAN-MAKİNA SİSTEMLERİNİN ERGONOMİK PERFORMANS AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

İşbilim ve Ergonomi kavramlarının literatürde birbiri yerine sıkça kullanıldığı görölse de; genelde İşbilim, insanın çalışmasının ve çalışma esnasında çevresiyle olan ilişkisinin, Tıp, Fen Bilimleri, Mühendislik, Sosyal Bilimler, Ekonomi ve Hukuk gibi birçok bilimsel disiplin çerçevesinde çok boyutlu olarak ele alınmasına olanak tanıyan bir üst kavram olarak tanımlanmaktadır [5,6]. İnsan Faktörleri (Human Factors) olarak da kullanılan Ergonomi terimi ise genelde işi nitelik ve nicelik olarak analiz eden, İşbilim'in bir alt disiplini olarak algılanmaktadır. Ergonomi bu bağlamda, iş sisteminin bütünüünün performansını artırmak ve aynı zamanda insan üzerinde oluşan yüklenmelerin azaltılmasını sağlamak amaçlarına yönelik olarak, İşbilim enstrümanlarının insan çalışmasının analiz edilmesi kapsamında uygulanması olarak tanımlanmaktadır [7]. Özellikle iş sistemlerinin tasarımında ve analiz edilmesinde kullanılan Ergonomi prensiplerini tanımlayan ISO 6385 ve DIN EN 614-1 standartlarına göre Ergonomi, "bir iş sistemi içerisinde insan ve diğer sistem öğeleri arasındaki etkileşimleri anlamaya çalışan, içerdiği teori, prensip, veri ve metotları kullanarak, iş sisteminin bütünsel performansını, sistemin merkezine insanı yerleştirerek, insanın konforundan ödün vermeden optimize etmeye çalışan bilimsel disiplin" olarak tanımlanmaktadır [8,9].

2.1 Temel Kavramlar ve Tanımlar

Ergonomi ile ilgili temel terim ve tanımlar incelendiğinde, öncelikle Ergonomi'nin ana felsefesinin, işin gereksinimlerinin iş gören kapasitesi doğrultusunda yerine getirildiği iş sistemleri tasarlamak olduğu görülecektir. Ergonomi, işin yapısının, işyerinin, kullanılan ekipmanın, çevresel koşulların ve organizasyonun çalışan üzerindeki etkileri ile çalışanın fiziksel, mental yetenekleri ve fiziksel-sosyal ihtiyaçları arasında denge kurmayı hedefler [10]. Ergonomik tasarım, Ergonomi bilim dalının insan kaynağına yönelik daha güvenli, rahat ve verimli çalışma

koşulları yaratmak amacıyla makina, ekipman, alet, iş ve çevre tasarımı için uygulanmasıdır.

İş sistemleri ise, içinde bulundukları çevreyle madde, enerji ve bilgi tabanlı bir etkileşim içerisinde bulunan dinamik, sosyo-teknik ve açık sistemler olarak tanımlanabilirler; diğer bir ifadeyle iş sistemleri, hiyerarşik olarak alt sistemlere ayrıştırılabilen veya farklı üst seviyelerdeki sistemlerin alt sistemleri olarak tanımlanabilen karmaşık yapılardır [11].

İş sistemi içerisinde “insan”, sistem yapısının bir alt elemanı olarak yer alır; yani insan faktörü iş sisteminin biyolojik ve sosyal ögesidir. İş sistemini oluşturan öğeler arasındaki etkileşim analiz edilmek istenirse, merkezde yer alan insan ögesinin fizyolojik ve psikolojik özellikleri dolayısıyla, sistemin sadece aktivite odaklı olarak fiziksel bazda analiz edilmesi tek başına yeterli olmayacaktır. İş sistemlerinin analiz edilmesinde kullanılacak yöntemlerin tasarımı ve uygulanması, öncelikli olarak üzerine yapılandırıldıkları teorik temel ve analiz objesi olarak belirlenen iş sistemi, iş, insan gibi alt öğelerin tanımlanmasını gerektirmektedir. Yani iş sistemlerinin analiz edilmesi için uygulanacak yöntemler fiziksel ve fiziksel olmayan iş tiplerini de içerecek şekilde geniş bir spektrumu kapsar nitelikte yapılandırılmalıdır [12].

İş sistemlerinin analizinde asıl amaç, işin gerektirdiği yetkinlikler ve iş görenin yetenekleri arasındaki uyumun sağlanması, çalışma esnasında doğal olmayan vücut duruşlarının ortadan kaldırılması, aşırı güç gerektiren iş adımlarının elimine edilmesi, çalışma yerinin yerleşiminin iyileştirilmesi, işi kolaylaştırıcı el aletlerinin tasarlanması veya çalışma, dinlenme koşullarının optimize edilmesi gibi uygulamalar ile işin çalışana uygun hale getirilmesidir [13,14]; özetle Ergonomi özelinde iş analizi faaliyetleri, üretkenliğin artırılmasını ve iş gücü etkinliğinin geliştirilmesini çalışan kapasitesini göz önünde bulundurarak gerçekleştirmeyi amaçlar [15].

Tüm bu yararlarına rağmen ergonomik çalışmalar ülkemiz sanayi kuruluşlarınca yeterince desteklenmemekte, genelde insan gücü, zaman ve sermaye kaynaklarının kullanımı açısından öncelik ve önem derecesi düşük uygulamalar olarak görülmektedirler. Halbuki işten kaynaklanan yüklenme ve zorlanmaları azaltmak, esnek çalışma ortamları ve ekipmanlar dizayn etmek, iş kazalarından veya hastalıklarından kaynaklanan iş gücü kayıplarının elimine edilmesini sağlamak gibi ergonomik çalışmaların işletmelere sağladığı kazanımları mevcut maliyetlerin

azaltılması, olası ek maliyetlerden kaçınılması ve yeni fırsatlar yaratılması gibi üç temel faydada gruplandırmak ve raporlamak mümkündür [16].

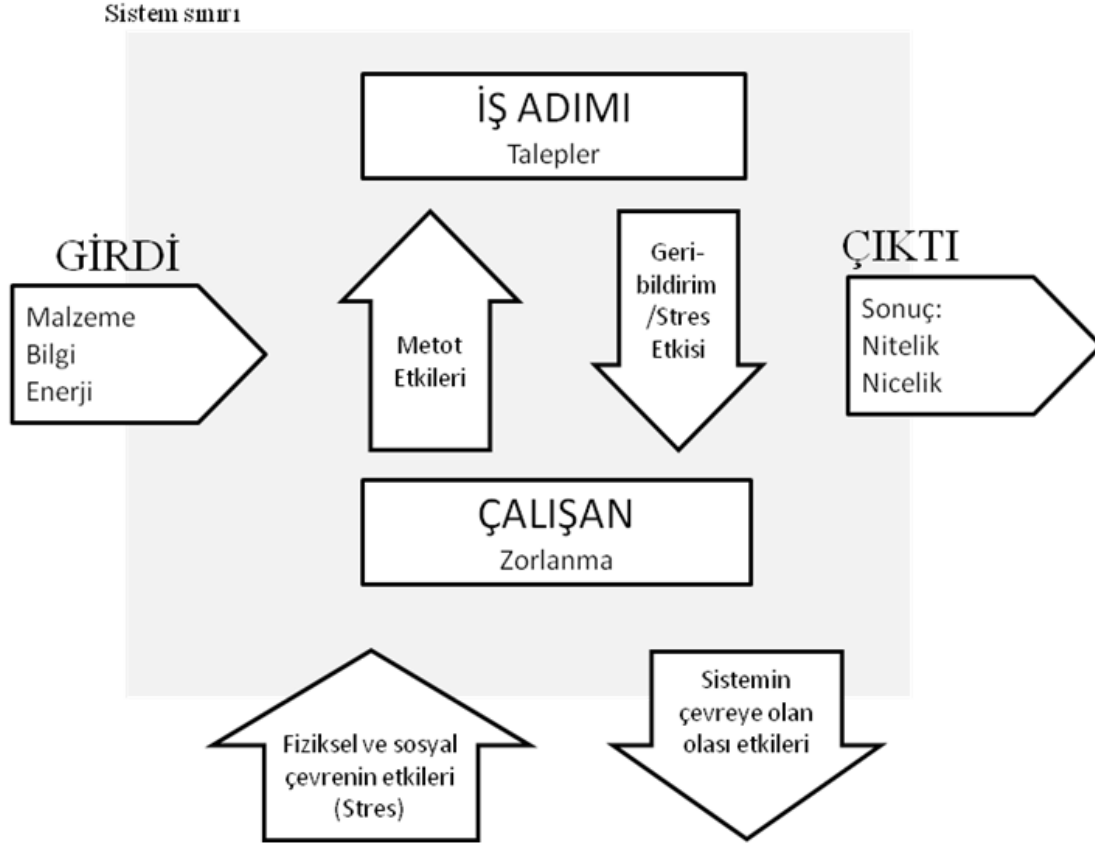
Jastrzebowski'nin 1857 yılında da belirttiği gibi Ergonomi biliminin temel felsefesi olan işin insan için oluşturduğu problemlerin nedenlerini ortaya koyma ve bunları çözme yaklaşımı doğrultusunda iş sistemlerinin verimliliğini, sistemin merkezinde yer alan insan ögesinin çalışma koşullarının rahatlığını ve güvenliğini de sağlayarak artırabilmek için, sistemin insan odaklı olarak, yani insanın sistemle yaptığı fiziksel ve fiziksel olmayan etkileşimlerin de göz önünde bulundurularak analiz edilmesi ve çeşitli performans faktörlerine göre ergonomik açıdan değerlendirilmesi gerekmektedir [17].

İnsan-makina sistemleri aslında insan ve iş sisteminin (human-at-work system) bir alt kümesidir. İnsan ve iş sistemi ancak birey organizasyonların bir parçası, elemanı olarak ele alınırsa somut bir anlam kazanır. Her organizasyon üretilen ürünler, hizmetler veya fikirler gibi spesifik çıktıları elde etmek, paylaşmak üzere bireylerin kendi aralarındaki etkileşimlerini tanımladıkları rollerden oluşur [18]. Literatür incelendiğinde Ergonomi'de iki temel seviyede etkileşim tanımlaması olduğu görülmektedir. Geleneksel Ergonomi veya Mikro-Ergonomi olarak da tanımlanan ilk seviye en uygun çalışma koşullarını sağlamaya yönelik olarak ergonomik parametrelerin ayarlanmasına, optimize edilmesine odaklanır. İkinci seviye, yani Makro-Ergonomi ise organizasyon bütünü içerisinde, organizasyonun parçalarından biri olan çalışanların refahı ve mutluluğuna odaklanır [19].

Mikro-Ergonomi uygulamalarının temel amaçları, yapılacak işi oluşturan öğeler olarak iş adımları, kullanılan ekipman, çevre koşulları gibi iş sistemi elemanlarının insan ile etkileşiminin analiz edilerek iş sisteminin performansının artırılmasını sağlamak, iş gören olarak insana etkiyen yüklenme seviyelerini düşürmek veya ortadan kaldırmaktır.

Bir iş sistemi olan insan-makina sistemini kavramsal olarak tanımlamak için birçok standart (örn. DIN 33400, ISO 6385 ve DIN EN 614-1) ortaya konmuştur. Bu kavramsal tanımlar ise gerek İş Etüdü, gerek Ergonomi alanlarında oldukça geniş olarak kullanılmaktadırlar. Giriş kısmında da belirtildiği üzere iş sistemleri olan insan-makina sistemleri, içinde bulundukları çevreyle madde, enerji ve bilgi tabanlı bir etkileşim içerisinde bulunan dinamik, sosyo-teknik ve açık sistemler olarak

tanımlanabilen, alt hiyerarşik sistemlere ayrıştırılabilen veya farklı üst seviyedeki sistemlerin alt seviyelerinde bulunabilen karmaşık yapılardır. Birbirleri ile ilişki içerisinde olan farklı hiyerarşik seviyedeki iş sistemleri, kapsam ve karmaşıklıkları çerçevesinde “mikro” veya “makro” yapıda tanımlanabilirler. Şekil 2.1’de bir iş sistemi olarak insan-makina sistemi yapısı görülmektedir [11].



Şekil 2.1 : İş sisteminin temel yapısı (Brauchler, 2001).

2.2 İnsan-Makina Sistemlerinin Analizi ve Ergonomik Değerlendirmenin Önemi

İşin yapısının, işyerinin, kullanılan ekipmanın, çevre koşullarının ve organizasyonun çalışan üzerindeki etkileri ile çalışanın fiziksel, mental yetenekleri ve fiziksel-sosyal ihtiyaçları arasında denge kurmayı hedefleyen tüm ergonomik çalışmalar iş görende oluşan yüklenme ve zorlanmaların analiz edilmesi, belirlenmesi ve ortadan kaldırılması ile doğrudan ilgilidir. Bu bağlamda iş gören üzerinde ortaya çıkan yüklenme ve zorlanmanın derecesini tespit etmek için de bazı analiz yöntemlerinin geliştirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Mevcut veya tasarlanmakta olan insan-makina sistemlerini, fizyolojik veya iş psikolojisi ölçüm yöntemlerini kullanarak,

öğeleri olan çalışanlar üzerinde oluşan yüklenme ve zorlanma faktörlerini analiz etmeye çalışan uzmanların pratik ve kişisel olanakları yetersiz kalabilmektedir. Bu yetersizliklerin üstesinden gelmek ve düşük maliyetli analizler gerçekleştirebilmek için daha etkin yöntemler geliştirilmesi gerekmektedir [20].

Geliştirilen analiz yöntemleri, insan-makina sistemlerini oluşturan tüm öğelerin birbirleri ile olan etkileşimini (fiziksel ve fiziksel olmayan faktörleri de göz önünde bulundurarak) ortaya koyabilecek nitelikte olmalıdır. Analiz sonucunda işin çalışan sağlığı ve güvenliği açısından barındırdığı risklerin de belirlenebilmesi gerekmektedir ki, bu riskler ortadan kaldırıldığında çalışan performansı, iyileştirilen ergonomik koşullara paralel olarak artırılabilir. Analiz yöntemlerinin sahip olması gereken en önemli özellik, iş sisteminin merkezinde yer alan çalışanlar üzerine aynı şekilde yansıyan, ancak çalışanların farklı fizyolojik, psikolojik özellikleri veya yetenekleri doğrultusunda farklı şekillerde etkiler bırakan, yani zorlanmalara sebep olan iç ve dış faktörleri, yani yüklenme faktörlerini ortaya koyabilmeleridir [21]. “Yüklenme” ve “Zorlanma” kavramları arasında bu şekilde bir ayrım yapılması, analiz yönteminin kullanımı ile belirli risk faktörlerinin objektif bir şekilde ölçümlenebilmesini mümkün kılar. Bu risk faktörlerinin farklı kişisel özelliklere sahip çalışanlarda yaratacağı olumsuz etkiler ve bunların önlenmesi ise ikinci büyük adım olarak ortaya çıkmaktadır.

Uygun olmayan duruş pozisyonları veya aşırı fiziksel çaba gerektiren çalışmalar yorgunluk ve rahatsızlığın yanı sıra uzun vadede kas, tendon, bağ, sinir ve kılcal damarlarda hasara da neden olabilir. Bu tür fiziksel hasarlar ve yaralanmalar kas iskelet sistemi rahatsızlıkları olarak adlandırılmaktadırlar. Kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının işletmelere dolaylı ve doğrudan maliyetleri söz konusudur. Doğrudan maliyetlere daha yüksek sağlık hizmeti maliyetleri ve işçi tazminatı primleri örnek verilebilir. Artan çalışan devir hızı, devamsızlık, işgücü kaybının fazla mesai ile telafisi bunlara bağlı olarak verimlilik, ürün kalitesi, ve çalışan motivasyonunda düşüş gibi faktörler ise dolaylı maliyetler çerçevesinde sıralanabilirler. Araştırmalar kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının doğrudan maliyetlerinin dolaylı maliyetlere oranının %25 olabileceğine işaret etmektedir [22,23].

Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları, Avrupa’da da en sık karşılaşılan ve milyonlarca çalışanı etkileyen meslek rahatsızlığı olarak ortaya çıkmaktadır. Avrupa İş Sağlığı ve

Güvenliği Ajansı tarafından 2008 yılında gerçekleştirilen bir araştırmanın sonuçları incelendiğinde, Avrupa Birliği ülkelerinde çalışanların %25'inin bel ve sırt ağrılarından, %23'ünün de kas ağrılarından şikayet ettikleri görülmektedir. Tüm üye ülkelerde işe devamsızlık probleminin başlıca nedeni de yine kas iskelet sistemi rahatsızlıkları olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde bazı ülkelerde çalışanlara ödenen tazminat maliyetlerinin %40'ı yine kas iskelet sistemi rahatsızlıklarından kaynaklanmakta, bu da neredeyse GSMH'nin %1,6'sına tekabül etmektedir. Bu rahatsızlıklar işletmelerin karlılıklarını olumsuz etkilemekte, hükümetlerin sosyal harcamalarını artırmaktadır [24,25].

2.3 İnsan-Makina Sistemlerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler

İş sistemlerinin tasarımı veya ergonomik açıdan değerlendirmesi yapılırken “yapılabilirlik”, “sürdürülebilirlik”, “uygunluk” ve “memnuniyet” olmak üzere 4 hiyerarşik boyutun mutlaka göz önünde bulundurulması gerekmektedir [12]. Öncelikle işin çalışanın kapasitesi ve özellikleri çerçevesinde “yapılabilir” olması sağlanmalıdır, ikinci adımda ise işin çalışan tarafından çalışma hayatı boyunca zarar görmeden yapılabilir nitelikte, yani “sürdürülebilir” veya katlanılabilir olması gerekmektedir. Üçüncü boyut olan “uygunluk” ise iş koşullarının sosyal paydaşlar olan işveren ve çalışanlar tarafından kabul görmesi anlamına gelmektedir. Sosyal paydaşların uzlaştığı çalışma koşullarının da “sürdürülebilir” olmasına dikkat edilmelidir. Son boyut olan “memnuniyet” ise çalışanın yaptığı işten tatmin olması ile ilgilidir. Görüldüğü üzere son iki boyut daha çok iş psikolojisi ile ilgili olup, kişiden kişiye farklılık gösterebilmektedir [20].

İş tasarımı ve çalışan üretkenliğine ilişkin sorunlar karmaşık ve çok değişkenli yapıdadır, bu nedenle söz konusu problemlerin çözümü için problemleri farklı boyutlarda ele alan ve analiz eden yaklaşımlar gerekmektedir. Mekanistik, motivasyonel, algısal ve biyolojik olarak sınıflandırılabilen farklı temel boyuttaki yaklaşımlar, iş sisteminin çıktılarını kendi perspektifleri açısından ele almaktadırlar [26]. Dolayısıyla insan-makina sistemlerinin analizi ve değerlendirilmesi çalışmalarındaki en büyük zorluk, bu çalışmaların fizyolojik, psikolojik ve sosyal yaklaşımları içeren disiplinler arası bir bakış açısı gerektiriyor olmalarıdır [27]. İş sistemlerinin analizinde kullanılacak yöntemler açısından örnek vermek gerekirse, kavramsal olarak İş Etüdü çalışan bireyi sistemin bir parçası veya üretimin bir girdisi

olarak ele alırken, Ergonomi ve Endüstriyel Psikoloji çalışan ve yapılan iş arasındaki etkileşime de odaklanır.

İş Etüdü bazlı iş analizleri, iş sistemlerinin teknik performansını veya iş fonksiyonlarını ele alır. Karmaşık iş süreçleri, çalışanların ve ekipmanların çalışılan obje ile olan mekansal ve zamansal etkileşimi çerçevesinde zaman aralıklarına, süreç adımlarına ve eylemlere ayrıştırılırlar [28]. Zaman ve hareket odaklı iş analizi yöntemleri ise iş süreçlerinin paralel veya sıralı yapılmasına odaklanır, standart zaman analizi çerçevesinde iş adımlarının gerçekleştirilmesi öncelikle odaklanılan faktördür. Bu tarz analiz yöntemleri iş sistemi içerisinde çalışanı mekanik bir öge olarak ele aldıklarından, ergonomik değerlendirme yöntemlerinin iş sisteminin bir ögesi olan çalışanın diğer öğelerle etkileşimine odaklanan yaklaşımı ile karşılaştırıldıklarında tek başlarına yetersiz kalmaktadırlar [11,29]. Organizasyonel analiz yöntemleri ise işletmedeki genel fonksiyonlara (Lojistik, Üretim, Muhasebe vb.) odaklanır. Bu ana iş grupları, organizasyonel bakış açısı ile alt fonksiyonlara ayrıştırılır. Bu yöntem ile işleri aktivite tipi (mental veya fiziksel), çalışma objesi (malzeme veya bilgi), ek fiziksel gereksinimler (ekipman), yer, zaman gibi beş faktör ile tanımlamak mümkün olmaktadır [30].

Ergonomik değerlendirme yöntemleri, çalışan üzerinde oluşan ve çalışan sağlığı açısından risk teşkil eden çeşitli türdeki yüklenmelerin, sistematik bir şekilde ortadan kaldırılması veya azaltılmasına yönelik ölçümlemesi ve değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerdir [31,32].

Her iş, çalışan üzerinde belli oranda mental ve fizyolojik yüklenme maruziyetine sebep olur [33]. Genelde yüksek oranda fizyolojik yüklenme içeren üretim odaklı işlerin ergonomik değerlendirmesinde benimsenecek yaklaşımların ise mutlaka vücut bölgelerinin maruz kaldığı biyomekanik yüklenme maruziyetleri sonucunda oluşabilecek kas iskelet sistemi rahatsızlıkları gibi risk faktörlerini ortaya koyabilecek argümanları içermesi gerekir. Özellikle sabit bir iş istasyonunda kısa süreli ve sık tekrarlı iş adımları içeren çalışma kapsamı için çok sayıda yöntem geliştirilmişken, bu çerçevede dışında kalan ve uzun takt sürelerinde, çeşitliliği yüksek iş adımları içeren değişken çalışma kapsamı için geliştirilen yöntem sayısının nispeten daha düşük olduğu görülmektedir [34].

Bir iş sistemi olan insan-makina sisteminde, sistemin çevreyle olan etkileşiminin çalışan üzerinde yarattığı diğer yüklenmeler, yani sıcaklık, gürültü, titreşim gibi çevresel yüklenmeler ve hem işin kendisinden, hem de çevre ile ilişkisinden kaynaklanan bilişsel, yani organizasyonel, sosyal ve psikolojik yüklenmeler de yine bir ergonomik değerlendirme yaklaşımının ölçümleyebilmesi, ilgili maruziyetlerin çalışan üzerinde yarattığı riskleri ortaya koyabilmesi gereken faktörlerdendir. Dolayısıyla iş analizi yaklaşımı ile insan-makina sistemlerinin değerlendirilmesinde, yukarıda bahsedilen mikro ve makro-ergonomik düzeylerdeki iş analizi ve değerlendirme yöntemlerinin uygun bir bileşeni oluşturulmalıdır [35]. Çizelge 2.1’de literatürde öne çıkan ve tez kapsamında incelenen bazı mikro ve makro-ergonomik değerlendirme yöntemleri yer almaktadır:

Çizelge 2.1 : Literatürde öne çıkan ergonomik değerlendirme yöntemleri.

Yöntem		Geliştiren	Amaç
AAWS	Automotive Assembly Worksheet	Schaub ve diğ. (1996)	Özellikle otomotiv imalat süreci kapsamında gerçekleştirilen üretim faaliyetlerine ait yüklenmelerin, iş adımları ve çevrim zamanları çerçevesinde, vücut bölgesi / eklem yeri bazında tespit edilmesi.
AET	Ergonomic Job Analysis Procedure	Rohmert ve Landau (1975)	Yüklenme-zorlanma prensibi çerçevesinde işin karakteristiklerinin ortaya konulması ve ergonomik risklerin belirlenmesine yönelik geniş spektrumlu bir iş sistemi analizi yöntemi.
EBA	Ergonomic Evaluation of Work Systems	Scmidtke (1975)	Yüklenme-zorlanma prensibi çerçevesinde iş sistemlerini etkileyen teknik ve çevresel faktörlerin çalışan üzerinde yarattığı zorlanmaların, yüklenme düzeyi, yüklenme süresi ve çalışan özelliklerinin bir fonksiyonu olarak düşünüldüğü ve sağlık risklerinin değerlendirildiği bir yöntem.
LMM	LeitMerkmalMethode	der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - BAuA	İş kapsamlarında yer alan kaldırma, taşıma, tutma, itme ve çekme gibi statik ve dinamik kassal çalışma ağırlıklı işlerin çalışan üzerinde yarattığı yüklenmelerin ilgili iş adımlarının süresi, gerektirdiği güç kullanımı ve çalışma esnasındaki vücut duruş pozisyonu gibi faktörler çerçevesinde tespit edilmesi.
LUBA	Postural Loading on the Upper Body Assessment	Lee ve Karwowski (1999)	Bel, boyun, kollar ve eller gibi vücut bölgeleri ve ilgili eklem yerlerinin farklı açılarda konumlarında oluşan statik duruş kaynaklı yüklenmelere deneysel bazda maruz bırakılan deneklerin görüşlerinden hareketle oluşturulan bir konfor endeksi kullanılarak gerçek çalışma alanlarında fizyolojik yüklenmelerin tespit edilmesi.
ManTRA	Manual Tasks Risk Assessment Tool	Limerick ve diğ. (2000)	İş adımlarının süresi, çevrim zamanı, güç kullanımı gereksinimi, hız gereksinimi, duruş pozisyonunun uygunsuzluğu, titreşim maruziyeti faktörlerinden hareketle ağırlıklı manüel işlerin çalışan üzerinde yarattığı yüklenmelerin tespiti.

Çizelge 2.1 (devam) : Literatürde öne çıkan ergonomik değerlendirme yöntemleri.

Yöntem		Geliştiren	Amaç
NQ	Nordic Questionnaire	Institutes of Occupational Health in the Nordic countries	Kas iskelet sistemlerinde oluşan fizyolojik yüklenmelerin ve bunlara bağlı olarak oluşan ağrı gibi rahatsızlıkların vücut bölgesi bazında çalışana yönlendirilmiş sorularla tespit edilmesi.
OCRA	Occupational Repetitive Actions	Occhipinti (2005)	Özellikle bel üstü uzuv ve eklem yerleri ile ilgili tekrarlı hareketlerin çok olduğu, kısa çevrim zamanları ile çalışılan iş kapsamlarının çalışan üzerinde yarattığı yüklenmelerin tespit edilmesi.
OWAS	Ovako Workig Posture Analysis	Heinsalmi (1978)	Vücut bölgesi bazlı uygun olmayan duruş pozisyonları kataloğundan faydalanılarak, ergonomik olmayan duruşların ve çalışma koşullarının tespiti, elimine edilmesi, ekipmanın ve çevresel faktörlerin iyileştirilmesi.
PAQ	Position Analysis Questionnaire	McCormick (1969)	Farklı işlerin sınıflandırılmasında vücut bölgelerinin pozisyonlarından kaynaklanan yüklenme düzeylerinin kullanıldığı geniş spektrumlu bir yöntem.
PATH	Posture, Activity, Tools and Handling	Buchholz (1996)	OWAS yöntemindeki vücut bölgesi bazında uygun olmayan duruş kataloğundaki pozisyonların iş örnekleme yöntemi ile tespiti, tespit edilen koşulların frekansına göre iyileştirme önceliklerinin belirlenmesi.
PLIBEL	Method for Identification of Ergonomic Hazards	Kammlert (1995)	Çalışma süresi, çevresel ve organizasyonel faktörlerin de göz önünde bulundurulması ile çalışan üzerinde oluşan fizyolojik yüklenmelerin oluşturduğu kas iskelet sistemi rahatsızlığı risklerinin tespit edilmesi.
QEC	Quick Exposure Check	David ve Li (2008)	Değerlendiricinin gözlemlediği veriler ve değerlendirilen çalışana yöneltilen önceden yapılandırılmış sorular çerçevesinde eklem yeri ve vücut bölgesi bazında yüklenmelerin tespit edilmesi.

Çizelge 2.1 (devam) : Literatürde öne çıkan ergonomik değerlendirme yöntemleri.

Yöntem		Geliştiren	Amaç
REBA	Rapid Entire Body Assessment	Hignett ve McAtamney (2000)	Vücudun tüm bölgelerinde ve eklem yerlerinde, olumsuz vücut duruş pozisyonlarından kaynaklanan fizyolojik yüklenmelerin vücudun genel dengesi, güç kullanımı gibi ek faktörler de göz önünde bulundurularak analiz edilmesi.
RULA	Rapid Upper Limb Assessment	McAtamney ve Corlett (1993)	Özellikle bel üstü vücut bölgelerinde ve ilgili eklem yerlerinde, olumsuz vücut duruş pozisyonlarından kaynaklanan fizyolojik yüklenmelerin vücudun genel dengesi, güç kullanımı gibi ek faktörler de göz önünde bulundurularak analiz edilmesi.
SI	Strain Index	Moore ve Garg (1994)	İşin gerektirdiği maksimum gücün şiddeti, uygulama süresi, frekansı, iş esnasında bilek/el pozisyonu, çalışma hızı, incelenen işin bir vardiyadaki toplam süresi gibi faktörlerden bir zorlanma göstergesi hesaplanması suretiyle özellikle el, bilek, ön kol ve dirsek bölgeleri ile ilgili kas iskelet sistemi rahatsızlığı risklerinin belirlenmesi.
TBS	Evaluation and design of progressive work content, Job Evaluation System	Baars ve diğ. (1981); Hacker ve diğ. (1983)	İşin yarattığı fizyolojik ve bilişsel yüklenme derecelerinin ortaya konulması .
VERA	Procedure for Identifying Regulation Requiements in Jobs	Volpert (1983)	İşlerin gerektirdiği mental kapasite ve planlama düzeyinin belirlenmesi.

2.4 İnsan-Makina Sistemlerinin Değerlendirilmesinde Bilgisayar Destekli

Yöntemler

İnsan-makina sistemlerinin fizyolojik, mental ve çevresel koşul yüklenmelerinin sürekli iyileştirme ve geliştirme yaklaşımı çerçevesinde azaltılmasına yönelik önceliklerin ve önlemlerin belirlenmesi, uygulanması; planlama, imalat, İSG uzmanları, işyeri hekimleri gibi farklı disiplinlerden süreç sorumlularının görüş ve önerilerinin ergonomik değerlendirme sürecine dahil edilmesi; ergonomik performansın periyodik olarak ölçülünerek takip edilmesi gibi aksiyonlar, ancak etkin bir ergonomik değerlendirme süreci ve bu süreci yönetebilmek için yapılandırılmış bir elektronik sistem altyapısının varlığı ile mümkün olabilir.

Günümüzde ergonomik açıdan uygun iş sistemleri tasarlanmasını mümkün kılan yazılımlar, büyük kurumsal firmalar tarafından ürün geliştirme süreci çerçevesinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Özellikle üç boyutlu sanal insan modellemesi teknolojisini kullanan RAMSIS, Jack, ERGOMan gibi karmaşık “insan simülasyon modeli / complex human simulation model” yaklaşımının kullanılmasıyla, ürünlerin veya üretim süreçlerinin daha tasarım aşamasında ergonomik kriterlere uygunluğu sağlanabilmektedir. Ancak ergonomik sistem tasarımında kullanılabilecek en ileri teknolojik araçlar olan bu yazılımların kullanılmasının çok büyük yatırım maliyetleri gerektirdiği de unutulmamalıdır.

Önceki bölümlerde de anlatılan birçok ergonomik değerlendirme yönteminin elektronik yazılım haline getirilmiş uygulamaları piyasada mevcut olup; hem tasarım hem de kullanım aşamalarında insan-makina sistemlerinin ergonomik performanslarının takibi mümkün olmaktadır.

2.5 Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Ergonomik değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar incelendiğinde, fizyolojik yüklenme ölçümü odaklı yöntemlerin doğrudan ölçüme, gözleme ve sübjektif yargılara dayalı olarak üç ana grupta sınıflandırıldığı görülmektedir [31]. Shoaf ve arkadaşları tarafından yapılan gruplandırma çalışmasında ise incelenen yöntemler “mikro değerlendirme”, “makro

değerlendirme” ve “kapsamlı değerlendirme” olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmışlardır [36].

Değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılmasına yönelik yapılmış çalışmalar incelendiğinde çok sayıda metodun belli kriterlere göre karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamış olup, metodların sahip olması gereken özelliklerin kriterler bazında tanımlandığı kaynaklara rastlanmıştır. Landau ve Brauchler ergonomik değerlendirme yöntemlerinin performanslarını teorik geçerlilik, ekonomiklik, sayısallaştırabilme, standartlaştırabilme, öğretilibilme, güvenilirlik gibi kriterlere göre karşılaştırılabileceğini belirtmişlerdir [11]. Ayrıca Mental Yüklenme ile ilgili ISO 10075-3 standardında da Mental Yüklenme yöntemlerinin sahip olmaları gereken kriterler nesnellik, güvenilirlik, geçerlilik, hassasiyet, doğrulanabilirlik olarak tanımlanmışlardır, ki bu kriterler aslında tüm ergonomik değerlendirme yöntemleri için genelleştirilebilir [37]. İşletmelerde ergonomi ile ilgili çalışan uzmanlar tarafından fizyolojik yüklenmenin tespitine yönelik kullanılan değerlendirme yöntemlerinin seçiminde rol oynayan faktörlerin irdelendiği bir araştırmada, özellikle kullanılan yöntemlerin seçiminde gerekli kaynaklar, ölçme ve değerlendirme hızı, farklı durum ve koşullarda kolayca kullanılabilirlik, değerlendirme boyutlarının kapsamı, geçerlilik, önlem almaya ve müdahaleye yönelik kullanım olanakları olmak üzere 6 kriterin ön plana çıktığı görülmektedir [38].

Jones ve Kumar tarafından yapılan bir çalışmada RULA (Rapid Upper Limb Assessment), REBA (Rapid Entire Body Assessment), ACGIH TLV (American Conference of Governmental Industrial Hygienists / Threshold Limit Values), SI (Strain Index), OCRA (Occupational Repetitive Actions) olmak üzere 5 adet ergonomik değerlendirme yöntemi kullanılarak aynı işi yapan 5 farklı çalışan üzerinde oluşan fizyolojik yüklenmeler belirlenmeye çalışılmıştır. 5 yöntemin ortaya koyduğu fizyolojik yüklenme düzeylerindeki farklılıklar, yöntemlerin benzer sonuçlar ortaya koyamadığını, göreceli olarak geçerlilik sağlamadığını göstermiştir [39].

Takala ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada 1965 ve 2008 yılları arasında bilimsel kaynaklar taranarak ergonomik Değerlendirme yöntemleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışan üzerindeki biyomekanik yüklenmelerin gözleme dayalı tanımlanmış bir süreç kapsamında ölçümlendiği 30 yöntem tespit edilmiş olup, tez kapsamında incelenen AET, OWAS, PLIBEL, PATH, QEC, REBA, LUBA

yöntemlerinin de bulunduğu 19 yöntem geçerlilik, tekrarlanabilirlik ve kullanıma yönelik kriterlere göre çalışma kapsamına alınmaya uygun bulunmuştur. Bu yöntemlerin ortaya koyduğu sonuçlar, video çekimleri ve uzman görüşlerinden elde edilen sonuçlar referans alınarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen gözlemsel yöntem sonuçları, referans sonuçlarıyla “orta” ve “iyi” derecede uyum göstermiş olup, en yüksek uyum büyük ölçekli vücut bölgelerinde oluşan fizyolojik yüklenmelerde görülmüş, bilek ve el yüklenmesi ile belin çevrilmesi ve yanlara doğru eğilmesinden kaynaklanan yüklenmelerin ölçümlemesinde düşük bir uyumluluk söz konusu olmuştur. Bu 19 yöntemin 7’sinde farklı gözlemciler arasındaki tutarlılık orta veya iyi derecede çıkmıştır. Bu gözlemsel yöntemlerin hiçbirisi diğerlerine göre kesin bir üstünlük sağlayamamış olup, görünür vücut bölgelerindeki yüklenmelerin tespitinde yeterli bir eğitimle başarı oranının ve tutarlılığın artırılabilceği ortaya çıkmıştır [40].

Genaidy ve arkadaşları tarafından yapılan İş Uyumluluğu Modeli çalışmasında AET, PAQ ve NASA-TLX iş analizi yöntemleri organizasyonel çevre, fiziksel çevre, sosyal çevre ve iletişim, mental iş boyutu, fizyolojik iş boyutu olmak üzere toplam 5 kategoride karşılaştırılmıştır [41]. Bu kategoriler ve alt kırımları da ergonomik değerlendirme modeli geliştirilmesi kapsamında kriterlerin belirlenmesi, kriter gruplarının teşkili ve kriterler arasındaki ilişkilerin oluşturulması çerçevesinde değerlendirilebilir.

Kas iskelet sistemi rahatsızlığı risklerinin tespitine yönelik saha uygulaması olan genel kabul görmüş metotların incelendiği ve sınıflandırıldığı başka bir çalışmada da yöntemler vücut duruşundan, yük kaldırma ve taşımadan, hareket tekrarlılığından, fizyolojik ve mental yüklenmeden, psikolojik ve sosyal yüklenmeden, zorlanma ve yorgunluktan kaynaklanan risklerin tespitine yönelik olarak sınıflandırılmışlardır [42]. Özellikle vücut duruşu bazlı fizyolojik yüklenmelerin tespitine yönelik yöntemlerin de “zaman” ve “olay” bazlı olarak iki temel grupta sınıflandırıldığı da literatürde göze çarpan başka bir sınıflandırma yaklaşımıdır [43].

Tez kapsamında yapılan araştırmalarda sanayide uygulanma ve literatürde referans alma sıklığı yüksek gözlemsel veriye dayalı fizyolojik yüklenme tespit yöntemlerinden REBA ve QEC üzerinde özellikle durulacak olup, tez kapsamında geliştirilen yöntemin geçerliliğinin (validation) irdelenmesi kapsamında bu iki yöntemden elde edilen sonuçlar kullanılacaktır.

McAtemney ve Hignett tarafından geliştirilen ve RULA'nın türevi olarak da tanımlanabilecek REBA yöntemi ile, vücudu bel altı kısımları da kapsayacak şekilde bölgelere ayırarak, ilgili eklem yerlerinin ve uzuvların hareket düzlemindeki açısal konumlarını, statik ve dinamik kassal çalışma koşullarını da göz önünde bulundurarak, kas iskelet sistemi rahatsızlıkları risklerinin tespitine yönelik ergonomik değerlendirmeler gerçekleştirmek mümkündür. Diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında, özellikle vücudun duruş pozisyonunu ve biyomekanik yüklenmeleri yüksek hassasiyette ve ek bir enstrüman kullanmadan, sadece gözlemsel veriyle tespit etmeye olanak sağlamanın yöntemin avantajlarından olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca OWAS, NIOSH gibi yöntemler, vücut duruşu analizi çerçevesinde geniş bir uygulama kapsamı sunmakla beraber, değerlendirme hassasiyeti ve detayı düşük kalabilmektedir. REBA ve benzeri yöntemler ile vücut duruşu analizinde yüksek bir hassasiyet sağlamak mümkün olmaktadır [44].

Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları risklerinin tespitine yönelik gözlemsel veriye dayalı denetim listesi formatında David ve Li tarafından geliştirilen QEC yöntemi ile bel, omuz/kol, el/bilek ve boyun bölgelerini içerecek şekilde vücut duruşu ve biyomekanik yüklenme faktörlerinin, titreşim, araç sürüşü, stres, kassal çalışma yüklenmesi ve çalışma temposu gibi ek faktörlerin de göz önünde bulundurularak belirlenmesi hedeflenmektedir [45]. Değerlendiricinin gözlemlediği verilerin yanı sıra, değerlendirilen çalışana yöneltilen sorular çerçevesinde yüklenmelerin tespitine yönelik subjektif algı ve bilgiler de ergonomik değerlendirme sürecinde kullanılmaktadır. Diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında, dört temel vücut bölgesi bazında maruz kalınan yük, uygulanan kuvvet, duruş, hareket sıklığı gibi fizyolojik faktörlerin çok geniş bir bilimsel literatür temeline dayandırılarak ergonomik risklerin değerlendirilmesi sürecine katılıyor olması, psikolojik risk faktörlerinin tespitine yönelik çalışanların görüşlerinin de dikkate alınması, yöntemin önemli avantajları olarak vurgulanmaktadır [31].

2.6 Fizyolojik Yüklenme ve Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıkları İlişkisi

İşle ilgili kas iskelet sistemi rahatsızlıkları, kas, eklem yerleri, tendonlar, bağ, sinir ve kemik dokuları ve bölgesel kan dolaşım sistemlerinde görülen, yapılan iş ve işin yapıldığı ortamın etkisiyle gelişen rahatsızlık olarak tanımlanabilir. İşle ilgili kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının birçoğu birikimli rahatsızlıklardır; yani uzun bir

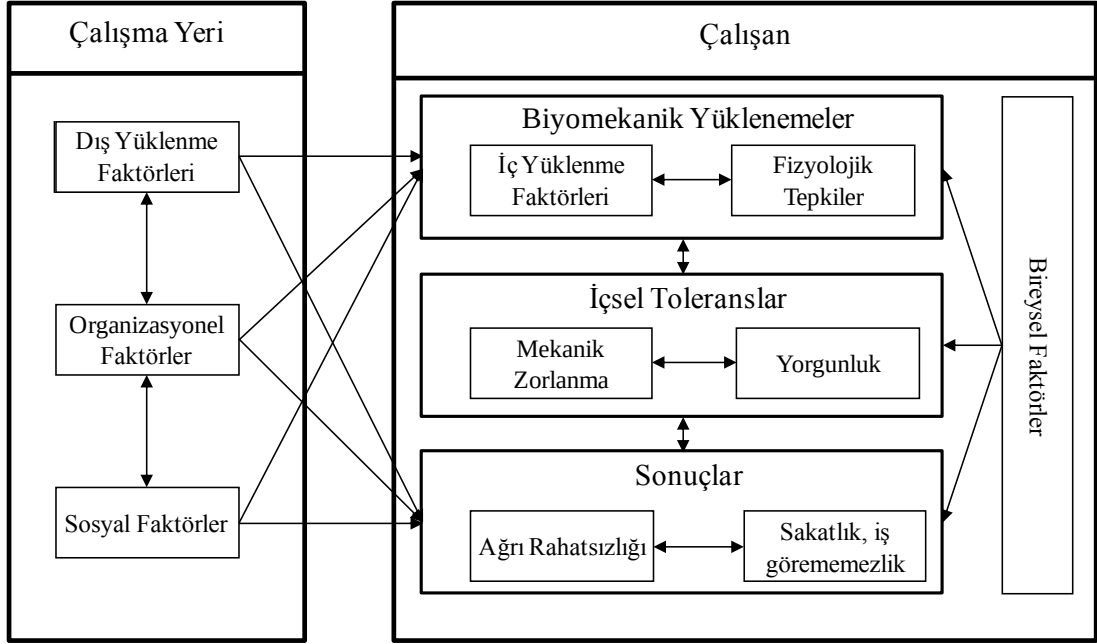
zamana yayılan yüksek ya da düşük yoğunluktaki yüklenmelere tekrarlı şekilde maruz kalmanın sonucunda ortaya çıkmaktadırlar. Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları akut travmalar veya iş kazaları sonucunda da oluşabilirler. Bu rahatsızlıklar genellikle sırt, boyun, omuzlar ve üst vücut uzuvlarını etkilemekle birlikte alt vücut uzuvlarını da etkileyebilirler. El bileğinde meydana gelen karpal tünel sendromu gibi bazı kas iskelet sistemi rahatsızlıkları iyi tanımlanmış ve kolayca teşhis edilebilen semptomları nedeniyle son derece belirgin bozukluklardır. Diğerlerinde ise sadece bir ağrı ya da rahatsızlık hissi bulunmakla birlikte, belirgin bir bozukluk göze çarpmayabilir [24].

Literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalardaki istatistiksel bulgular incelendiğinde, iş kaynaklı kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının maliyetinin oldukça büyük boyutlarda olduğu görülecektir. ABD Çalışma Bakanlığı verilerine göre, kas iskelet sistemi rahatsızlıklarından kaynaklanan doğrudan maliyetler yıllık yaklaşık 13 milyar Dolar'ı bulmaktadır ki, iş süresi kayıpları, verimlilik düşüşü, yeniden eğitim ve adaptasyon gibi dolaylı kayıplar da eklenirse toplam maliyetin yıllık 45-54 Milyar Dolar'a ulaştığı tahmin edilmektedir [46,48]. 1991 yılında yapılan bir araştırmaya göre Kuzey Avrupa ülkelerindeki tüm hastalıkların maliyetinin GSMH'ye oranı %15,8-22,2 aralığında hesaplanırken, sadece iş kaynaklı kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının GSMH'deki payının %2,7-5,2 aralığında olduğu belirlenmiştir. İngiltere'de 2030 yılında iş kaynaklı kas iskelet sistemi rahatsızlıklarında %9 artış olacağı ve bundan 7 milyon işçinin etkileneceği, psikolojik rahatsızlıkların da %5 artarak 4,2 milyon çalışanı etkileyeceği tahmin edilmektedir [48].

Tekrarlı ve ağır efor gerektiren, statik kas çalışması ağırlıklı, anatomik olarak doğal olmayan vücut duruşları, yüksek tempolu çalışma ve vücut hareketleri, dış kaynaklı güç ve titreşim maruziyetli işlerin iskelet, kas, sinir ve dolaşım sistemi dokuları açısından oldukça zararlı olduğu ve bu faktörlerin en az bir vücut bölgesinde iş kaynaklı kas iskelet sistemi rahatsızlığına yol açtığı bilinmektedir. Yapılan işlerde bu faktörlerden en az ikisinin mevcudiyeti, risk derecesini büyük oranda artırmaktadır. Araştırmalar bir iş gününün en fazla %25'lik kısmında bu risk faktörlerinden en az birine sürekli maruz kalan çalışanlarda, orta vadede kas iskelet sistemi rahatsızlığı ortaya çıkma olasılığının büyük oranda arttığını göstermektedir [49].

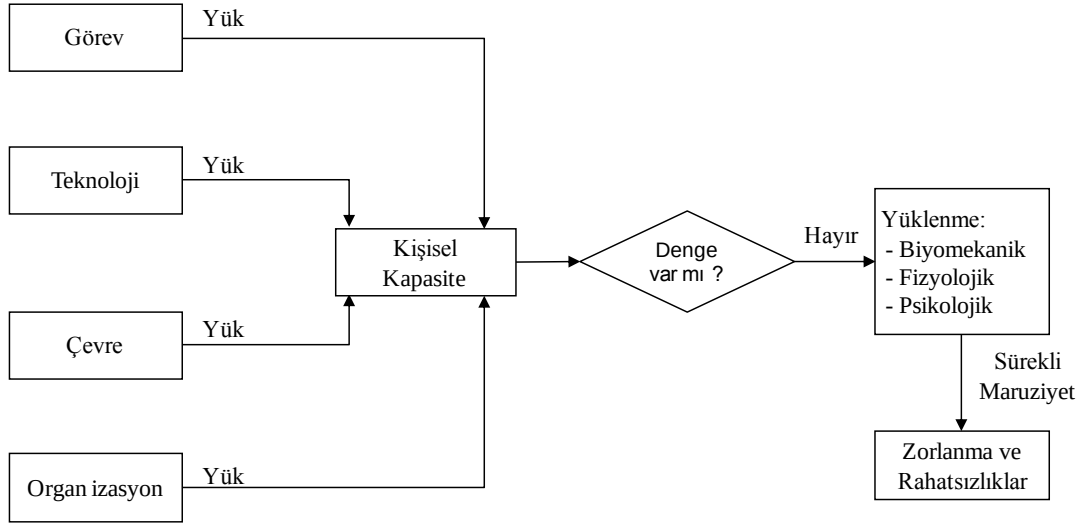
Literatürde ilgili kaynaklar incelendiğinde, ABD'deki Ulusal Araştırma Konseyi'ne bağlı Tıp Enstitüsü Kurumu tarafından tanımlanan ve Şekil 2.2'de gösterilen

modelde de görüleceği üzere, işle ilgili kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının ortaya çıkmasındaki en temel etmenlerin çalışma yeri ve çalışan olduğu görülecektir. Şimdiye kadar iş sistemlerinin analizinde insan odaklı yaklaşım çerçevesinde ele alınan sistem öğeleri arasındaki etkileşime odaklanma felsefesinin bu modelde de benimsendiği görülmektedir [50].



Şekil 2.2 : İş kaynaklı kas iskelet sistemi rahatsızlığının oluşumundaki etmenler.

Kas iskelet sistemi rahatsızlıklarını önlenmesine yönelik geliştirilen benzer bir yaklaşım da Şekil 2.3’de gösterilen “İş Sistemi Denge Modeli”dir. Bu modele göre yapılan işin oluşturduğu fizyolojik, mental, çevresel ve organizasyonel yüklenme koşulları, gereksinim duyulan teknolojik bilgi seviyesi gibi faktörlerden kaynaklanan yükler ile “kişisel kapasite” olarak da tanımlanan, iş görenin yetkinlik ve beceri kümesi arasında, çalışan aleyhine bir dengesizlik olması durumunda, çalışan üzerinde çeşitli boyutlarda fizyolojik ve psikolojik yüklenmeler meydana gelir. Bu yüklenmeler süreklilik arz edecek olursa, hem mental hem de fizyolojik zorlanmalar ve bunlara bağlı gelişebilecek rahatsızlıkların ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır. Bu modelin kontrol edilebilir öğeleri olan yük kaynakları ve kişisel kapasitede çeşitli değişiklikler yaparak, özellikle fizyolojik boyuttaki zorlanmaların yol açtığı kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının önüne geçilmesi, yani dengenin sağlanması mümkün olabilir; bu da yük kaynaklarının merkezinde azaltılması veya kişisel kapasitenin, yani iş görenin beceri ve yetkinliklerinin artırılması ile mümkün olabilir [10].



Şekil 2.3 : Kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının gelişim modeli (Rohmert, 1986).

3. BULANIK MANTIK VE UYGULAMA ALANLARI

3.1 Bulanık Kümeler Kuramı

Zadeh'in belirttiği üzere, bir sistemin karmaşıklığı arttıkça bireyin sistemin davranışını hassas ve anlamlı ifadelerle tanımlama yeteneği, ötesinde kesinlik ve anlamlılığın birbiriyle çelişir hale geldiği belli bir eşiğe kadar azalır. Karmaşıklık ve belirsizlik doğru orantılıdır ve karmaşık bir sistemler yumağı olan gerçek dünyanın karmaşıklığı belirsizliklerden kaynaklanmaktadır [51].

İster özel, ister iş yaşamında karşılaşılan pek çok durumu ve olguyu kesin tanımlarla ifade edebilmek, gerçek fiziksel dünyada etrafımızı saran belirsizlikler nedeniyle oldukça güçtür. Bir olguyu tarifleyen veya durumu tanımlayan ifadeler bir küme olarak düşünülecek olursa, bu kümenin sınırlarının belirgin olmayışı, yani net ve kesin sınırlardan yoksun oluşu, durumun veya olgunun ifade edilebilmesini, tanımlanmasını zorlaştırır, belirsiz bir hale getirir. “Klasik Kümeler Kuramı” ile gerçek hayattaki olguların, karmaşık sistemlerin analiz edilmesindeki bu zorluğu fark eden Zadeh tarafından 1965 yılında bu belirsizlikleri sayısallaştırmak ve öngörülebilir hale sokmak amacıyla “Bulanık Kümeler Kuramı” geliştirilmiş ve belirsizlik içeren sistemlerin analiz edilmesi çerçevesinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur [52-54]. Bulanık Kümeler Kuramı’nda, klasik yaklaşımda olduğu gibi belli bir kümeye kesin bir aidiyet (“kümeye ait” veya “kümeye ait değil”) söz konusu değildir; bunun yerine kümeye ait olma dereceleri (üyelik derecesi veya fonksiyonu) tanımlanmıştır. Kümeye ait olma durumu, yani mutlak aidiyet, “1” ile ifade edilirse, kümeye ait olmama durumu da “0” ile belirtilir. Burada kümeye ait olma veya olmama durumu Klasik Kümeler Kuramı’na göre kesin sınırları $\{0,1\}$ ifade etmektedir; sınırın belirginliğini yitirdiği durum ise, aidiyet derecesinin $[0,1]$ reel sayı aralığında kademeli olarak tanımlanabildiği bulanık yaklaşımdır [55].

Aşağıda Bulanık Kümeler Kuramı ile ilgili bazı tanımlara yer verilmiştir [55,56]:

- X evrensel bir küme olsun, X ’de tanımlı bir bulanık $\tilde{A}$ kümesine ait üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$ şeklinde ifade edilir.

- Bulanık kümeler üyelik fonksiyonlarının bileşkesi şeklinde ifade edilirler:

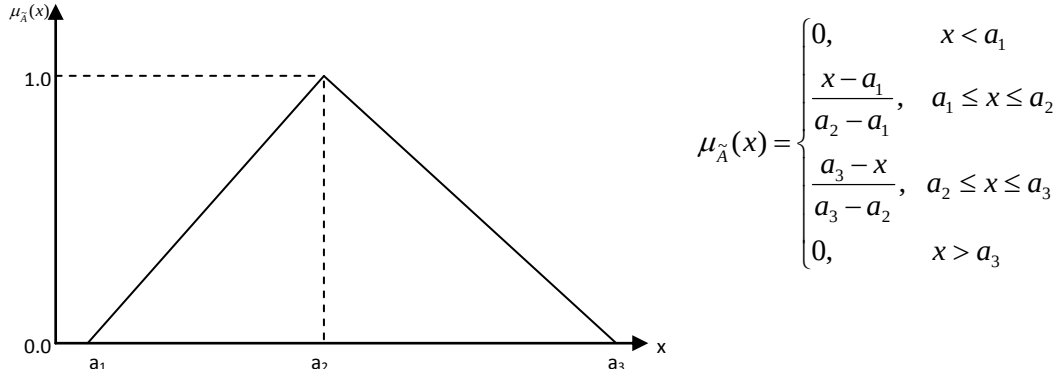
$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n} \right\} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i}.$$

- $\tilde{A}$ bulanık kümesinin desteği $Supp(\tilde{A}) : \{x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\}$ olarak ifade edilir.
- $\tilde{A}$ bulanık kümesinin özü $\{x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\}$ olarak ifade edilir. Herhangi bir x değeri için $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ oluyorsa $\tilde{A}$ “normal” bir bulanık kümedir.
- $\tilde{A}$ bulanık kümesinin sınırları $\{x \in X, 0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1\}$ olarak ifade edilir.
- $\tilde{A}$ bulanık kümesinin yüksekliği en büyük üyelik derecesidir, $h(\tilde{A}) = \sup_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x)$.
- $x_1, x_2 \in \mathfrak{R}; \lambda \in [0,1]$ olacak şekilde $\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2))$ şartı sağlanıyorsa $\tilde{A}$ kümesi konvektir.
- $\lambda \in [0,1]$ olmak üzere, $A_\lambda = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) > \lambda\}$ olarak ifade edilen küme, $\tilde{A}$ bulanık kümesinin λ -kesit kümesidir.

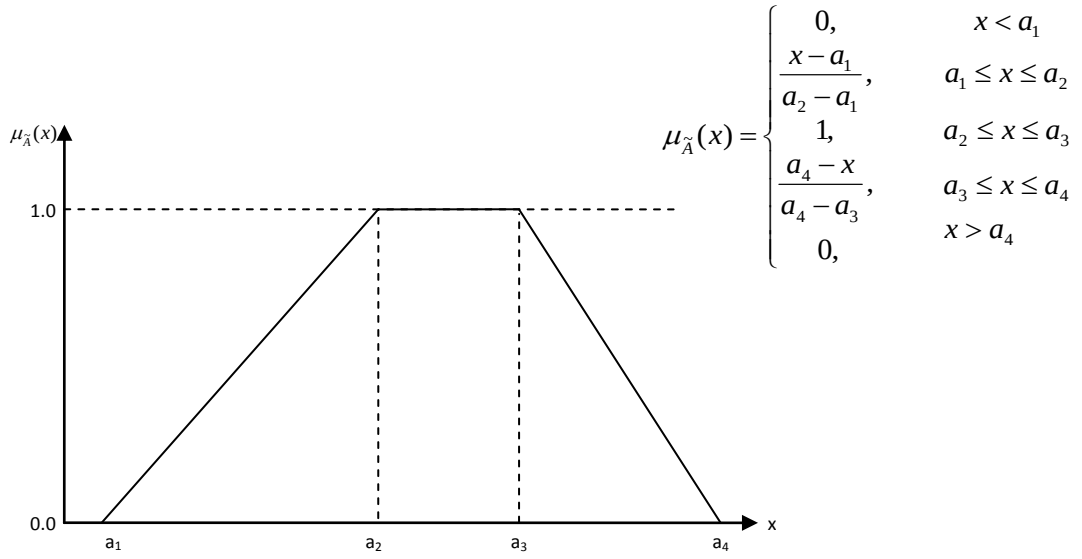
Aşağıda X 'de tanımlı $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeler için tanımlı temel işlemler yer almaktadır [55,56].

- Birleşim, $\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) = \max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x))$.
- Kesişim, $\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x))$.
- Tamlayan, $\mu_{\tilde{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x)$.

Normal ve konveks üyelik fonksiyonları $[0,1]$ kapalı aralığında sürekli iseler “bulanık sayı” olarak da tanımlanabilirler [55,57]. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de en sık kullanılan bulanık sayı tiplerinden “üçgensel bulanık sayı” ve “yamuk bulanık sayı” üyelik fonksiyonları yer almaktadır.



Şekil 3.1 : $\tilde{A}$ üçgensel bulanık sayısı (a_1, a_2, a_3).



Şekil 3.2 : $\tilde{A}$ yamuk bulanık sayısı (a_1, a_2, a_3, a_4).

3.2 Bulanık Mantık Kavramı

Mantıksal bir önermenin doğruluğunun Zadeh tarafından geliştirilen Bulanık Kümeler Teorisi'ndeki üyelik derecesi yaklaşımı ile, mutlak doğru veya yanlış kavramlarından oluşan klasik iki değerli Aristo mantığı boyutundan, sonsuz değerli mantık boyutuna taşınması, Bulanık Mantık felsefesinin temelini oluşturmaktadır. Bu çerçevede Bulanık Mantık, muhakeme ve hesaplama objeleri belirgin sınırları olmayan kavramsal ifadeler olan bir akıl yürütme ve hesaplama sistemidir; belirgin sınırların olmayışı ise “bulanıklık” kavramı ile ilişkilendirilmektedir [58]. Bulanık Mantık, belirsizliğin, eksik ve çelişen bilginin hüküm sürdüğü, özetle mükemmel olmayan bir ortamda akılcı karar verebilme ve fiziksel veya mental aktivitelerin herhangi bir ölçme veya hesaplama yapılmadan yerine getirilebilmesi gibi iki temel insani yeteneğin modellenmesi amacıyla geliştirilmiş bir yaklaşımdır [53].

Klasik Mantık yaklaşımında bir olayın gerçekleşmesi veya gerçekleşmemesi, bir kümeye ait olma veya olmama gibi kesin önermeler söz konusuysa, Bulanık Mantık yaklaşımında, mutlak ayırım veya zıtlık yerine kesin olmayan, kavramsal ifadeler çerçevesinde dereceli ve süreklilik gösteren bir aidiyet söz konusudur. Bulanık Mantık ifadelerine kişisel düşünce ve değerlendirmeleri içeren dilsel sınıflama ifadeleri (çok sıcak, biraz uzun, açık gri) örnek gösterilebilir. Örneğin, Klasik Mantık yaklaşımında mutlak siyah veya beyaz renk söz konusuysa, Bulanık Mantık yaklaşımında siyah ve beyazın farklı oranlarda karışımı olan sonsuz sayıda gri ton söz konusudur. Gerçek hayatta hiçbir karar veya eylem mutlak bilgiye veya kesinliğe dayalı olarak yapılamamaktadır; çünkü karar sürecini etkileyen faktörler de renk örneğinde olduğu gibi farklı tonlardadır. Bu bağlamda Bulanık Mantık, klasik iki değerli Aristo mantığının geniş kapsamlı bir genellemesi olarak da tanımlanabilir. İki değerli Klasik Mantık yaklaşımında sadece “0”, yani “mutlak yanlış” veya “1”, yani “mutlak doğru” ifadeleri mevcutken, çok değerli mantık yaklaşımının bir genellemesi olan Bulanık Mantık yaklaşımında ise her ifadenin, mantıksal önermenin doğruluk derecesi vardır, hatta dereceler bile bulanık olabilir [52,53].

Bulanık Mantık, bilgi tabanlı sistemlere bireysel muhakeme yeteneğinin uygulanabilmesini olanaklı kılan bir çıkarım modeli sağlamaktadır; yani düşünme ve karar verme gibi bilişsel faaliyetlerden kaynaklanan belirsizliklerin açıklanabilmesi için matematiksel bir altyapı sunmaktadır. Bu bağlamda Bulanık Mantık yaklaşımı günümüzde mühendislik, işletme, ekonomi, tıp gibi birçok temel bilim dalındaki karmaşık problemlerin modellenmesinde ve çözümünde kullanılmaktadır. Özellikle Bulanık Kümeler Teorisi’nin kesinlik ve hassaslık içermeyen karmaşık sistemlerin kalitatif ve kantitatif modellenmesi ve analiz edilmesinde sağladığı avantajlar, Yapay Zeka, Karar Verme, Uzman Sistemler, Doğrusal Programlama, Karar Destek Sistemleri, Ergonomi, Üretim Yönetimi, Kalite Yönetimi, Simülasyon, İnsan Kaynakları gibi Endüstri Mühendisliği’nin ilgilendiği bir çok alanda Bulanık Mantık yaklaşımının kullanımını yaygınlaştırmaktadır [59].

3.3 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler - Bulanık Çıkarım Süreci

Bulanık Çıkarım Süreci, karmaşık bir sistemin modellenmesi ve çözümlenmesi amacıyla, sistemle ilgili bilgileri içeren girdi vektörünün bir kural kümesi yardımıyla ve Bulanık Mantık işlemleri kullanılarak çıktı kümesine dönüştürüldüğü bir yöntem

olarak tanımlanabilir. Çok disiplinli doğası nedeniyle literatürde “Bulanık Kural Tabanlı Sistemler”, “Bulanık Uzman Sistemler”, “Bulanık Modelleme”, “Bulanık Mantık Denetleyicileri”, daha genel ifadeyle “Bulanık Sistemler” olarak da tanımlanan Bulanık Çıkarım Süreci, özellikle otomatik kontrol, veri sınıflama, karar analizi, uzman sistemler gibi pek çok alanda uygulanan bir yöntemdir [60,61].

Bulanık Çıkarım Süreci’nin temelini oluşturan ve dilsel ifadelerin, deneyim ve bilgi birikiminin modellenmesini sağlayan yapıtaşları “*EĞER-İSE*” mantıksal önermeleridir. Bu önermeler kural tabanlı mantıksal ifadeler veya çıkarımlar olarak da tanımlanmaktadır. “*EĞER koşul İSE sonuç*” ifadesinde yer alan koşul girdileri ve sonuç çıktıları bulanık kümelerden oluşuyorsa bu kurallar kümesi “Bulanık Kural Tabanlı Sistem” veya “Bulanık Uzman Sistem” olarak tanımlanır. Dolayısıyla bulanık kümeler ve bulanık işlem operatörleri, Bulanık Mantık yaklaşımının özne ve yüklemeleri olarak tanımlanabilir; “*EĞER-İSE*” kuralları ise Bulanık Mantık olgusunu meydana getiren koşulsal önermelerin formüle edilmesi için kullanılmaktadırlar. Bulanık kural tabanlı sistemleri diğer uzman sistemlerden ayıran en büyük farklılıklardan biri, bulanık kural tabanlı sistemlerin bireylerin kişisel deneyim ve bilgi birikimi çerçevesinde sözel olarak ifade ettikleri mantıksal önermeleri de bilgi kaynağı olarak kabul etmeleridir. Tüm bu sözel ifadelerden oluşturulan mantıksal önermelerin, yani kuralların birleşimi olan nihai sonucu, çıkarımı elde etmek için Bulanık Mantık operatörleri kullanılarak yapılan işleme “kuralların bileşkesi” veya yığını (aggregation of fuzzy rules) denmektedir [62].

Bulanık Çıkarım Süreci’ni daha hızlı ve basit bir şekilde gerçekleştirmek üzere çıkarım süreci işlemlerini grafiksel olarak ifade eden yöntemler geliştirilmiştir. Dilsel kural tabanlı bulanık sistemlerin analizinde en sık kullanılan grafiksel çıkarım yöntemleri Mamdani [61], Sugeno [63] ve Tsukamoto [64] yöntemleri olarak sıralanabilir. Her üç yöntem de Zadeh’in karmaşık sistemler ve karar verme süreçleri ile ilgili yaptığı Bulanık Mantık çalışmalarına dayanmaktadır [62]. İlk defa Bulanık Kümeler Kuramı’nı kullanarak bir buhar makinasını ve ısıtıcısını kontrol etmek amacıyla, deneyimli bir operatörden elde edilen dilsel ifadelerden oluşturulan kural kümesinin de kullanıldığı bir Bulanık Uzman Sistem tasarlayan Ebrahim Mamdani tarafından geliştirilen ve kendi adıyla anılan yöntem, en çok uygulama alanı bulmuş Bulanık Çıkarım Yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır [65].

Tez çerçevesinde geliştirilen Bulanık Uzman Sistem modelinde, çok uzun süreden beri birçok uzman sistem modellenmesinde kullanılmış ve kabul görmüş olması, dilsel ifadelerin bilgi tabanına matematiksel olarak kolaylıkla yansıtılabilmesi, özellikle bilgisayar kullanılarak modellenmesi daha kolay ve algoritmasının koşum hızının yüksek olması gibi nedenlerden ötürü Mamdani Bulanık Çıkarım Yöntemi'nden faydalanılmıştır.

Mamdani Bulanık Çıkarım Yöntemi'nde öncelikle her bir kuralda belirtilen bulanık küme biçimindeki koşullara ait girdi değerlerinden ve mantıksal önermelerden yola çıkarak yine bulanık küme biçiminde bir çıkarım, Bulanık Mantık işlemleri yapılarak elde edilir. Bulanık Çıkarım Süreci girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması, her bir kural için koşul önermesinde yer alan mantıksal işlemlerin uygulanması, her bir kural için koşul önermesinden sonuç çıkarımı, tüm kurallara ait sonuçların bileşkesinin alınması ve netleştirme (durulaştırma) olmak üzere beş adımdan oluşmaktadır.

X evrensel küme ve $x \in X$ ise, $\tilde{A}$ bulanık kümesi X 'in bir alt kümesi olarak $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$ üyelik fonksiyonu şeklinde ifade edilebildiği tanım kısmında belirtilmişti. Eğer Bulanık Uzman Sistem girdisi x , n adet faktörden oluşuyorsa bulanıklaştırma adımında n adet bulanık küme $\tilde{G}_1(x), \tilde{G}_2(x), \dots, \tilde{G}_n(x)$ için n adet üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{G}_i}, (i=1,2,\dots,n)$ oluşturulur. Bilgi tabanında ise bulanık küme şeklinde koşullardan $\tilde{G}_{ij}, (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,r)$ ve sonuçlardan $\tilde{C}_k, (k=1,2,\dots,s)$ oluşan “EĞER-İSE” mantıksal önerme biçiminde kurallar $(k=1,2,\dots,s)$ tanımlıdır.

$$EĞER (X_1 = \tilde{G}_{11}) VE (X_2 = \tilde{G}_{12}) VE \dots (X_r = \tilde{G}_{1r}) İSE (Y_1 = \tilde{C}_1) \quad (3.1)$$

.....

$$EĞER (X_1 = \tilde{G}_{m1}) VE (X_2 = \tilde{G}_{m2}) VE \dots (X_r = \tilde{G}_{mr}) İSE (Y_s = \tilde{C}_s) \quad (3.2)$$

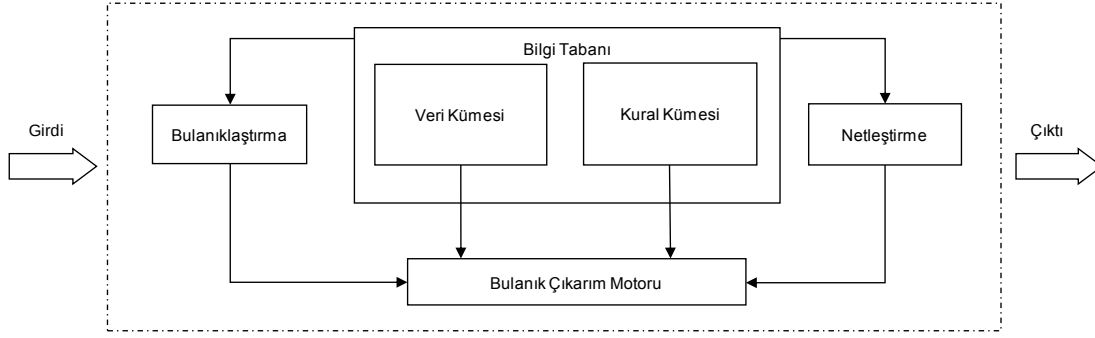
İkinci ve üçüncü adımda birden fazla koşul “VE” mantıksal operatörü ile birleştiriliyorsa ilgili koşulların üyelik fonksiyonları “MİN”, “VEYA” mantıksal operatörü ile birleştiriliyorsa “MAKS” işlemine tabi tutulurlar. Dördüncü adımda her bulanık kural için elde edilen bulanık küme biçimli çıkarımların bileşkesi alınır. Tüm çıkarım süreci grafiksel olarak ifade edilirse üçüncü ve dördüncü adımlarda yapılan

işlemler “*MAKS-MİN*” veya “*MAKS-ÇARPIM*” işlemleri olarak ifade edilebilirler. Dördüncü adımın sonucunda her bir kural için elde edilen bulanık kümelerin bileşkesi durumundaki nihai bileşke bulanık kümesi bu haliyle karar vericiler için problemin çözümü adına bir anlam ifade etmez. Grafiksel gösterimde bileşke çıktı üyelik fonksiyonu görünümünde bir bulanık sayıdır ve gerçek dünyada anlamlandırılması için çeşitli yöntemler kullanılarak kesin (crisp) bir değere çevrilmesi gerekmektedir. Ağırlık Merkezi (Centroid), En Büyüklerin Büyüğü (Largest of Maximum), En Büyüklerin Ortalaması (Middle of Maximum), En Büyüklerin Küçüğü (Smallest of Maximum) yöntemleri en sık kullanılan netleştirme yöntemleri olarak sıralanabilirler. Tez kapsamında geliştirilen Bulanık Uzman Sistem yaklaşımında kullanılan netleştirme yöntemi, bileşke üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezinin apsis değerinin hesaplanmasına olanak tanıyan ve literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında en doğru sonucu verdiği belirtilen Ağırlık Merkezi (Centroid) yöntemidir (3.3) [55,62].

$$M^* = \frac{\int_k y \times \mu_{\tilde{C}}(y) dy}{\int_k \mu_{\tilde{C}}(y) dy} \quad (3.3)$$

3.3.1 Bulanık uzman sistem modeli

Bulanık Çıkarım Süreci ve uzman sistem yaklaşımının bir arada kullanıldığı sistemler Bulanık Uzman Sistemler olarak tanımlanmaktadır. Uzman sistemler, zorluk ve karmaşıklıkları nedeniyle insan deneyimi ve bilgi birikimi gerektiren problemlerin çözümünde çeşitli bilgi kaynaklarını ve çıkarım süreçlerini kullanan, diğer bir deyişle insanın düşünme ve karar verme sürecini taklit ederek çözüm üreten bilgisayar destekli sistemlerdir [66]. Yapay Zeka uygulaması olarak da tanımlanabilen uzman sistemlere bilgiyi aktarmak için tanımlı bir çok yol vardır. Bu yollardan belki de en yaygın kullanılanı insanların bilgi aktarmada kullandığı doğal dilsel ifadelerdir [62]. Bir Bulanık Uzman Sistem, blok diyagram gösterimi ile modellenecek olursa (Şekil 3.3), bulanıklaştırma, bilgi tabanı, çıkarım motoru ve netleştirme olmak üzere 4 temel modülden oluştuğu görülecektir [67].



Şekil 3.3 : Bulanık Uzman Sistem modeli yapısı.

Bulanıklaştırma modülü bulanık sisteme girdi olarak tanımlanacak parametrelere ait “kesin (crisp)” değerleri, parametre için tanımlanmış üyelik fonksiyonları üzerinde konumlar, yani ilgili parametre için oluşturulmuş Bulanık Küme yapısında dilsel ifadelerle çevirir. Bilgi tabanı modülü, modelin yapıtaşı olarak da tanımlanabilecek, dilsel ifadelerden evrilmiş mantıksal önermelerin, yani kuralların ve kurallarda kullanılan üyelik fonksiyonlarının tanımlandığı yerdir. Çıkarım motoru modülü, kurallar kullanılarak Bulanık Çıkarım Süreci’nin yürütüldüğü temel karar verme ögesidir. Çıkarım sürecinin işletilmesi ile elde edilen bileşke çıktı da bulanık küme biçimindedir, yani her bir kuraldan elde edilen ve bulanık küme biçimindeki çıkarımların bileşkesi olan bir üyelik fonksiyonudur. Modellenen asıl sistemin nihai çıktısının ise bulanıklaştırma modülünün girdisi biçiminde, yani “kesin (crisp)” değer olması çoğunlukla gerekli olan ve istenen durumdur. Bu bağlamda netleştirme modülü bileşke bulanık girdiyi gerçek dünya çıktısına, yani “kesin (crisp)” değere dönüştüren sistem ögesidir, yani bulanıklaştırma modülünün ters fonksiyonu olarak çalıştığı söylenebilir [68].

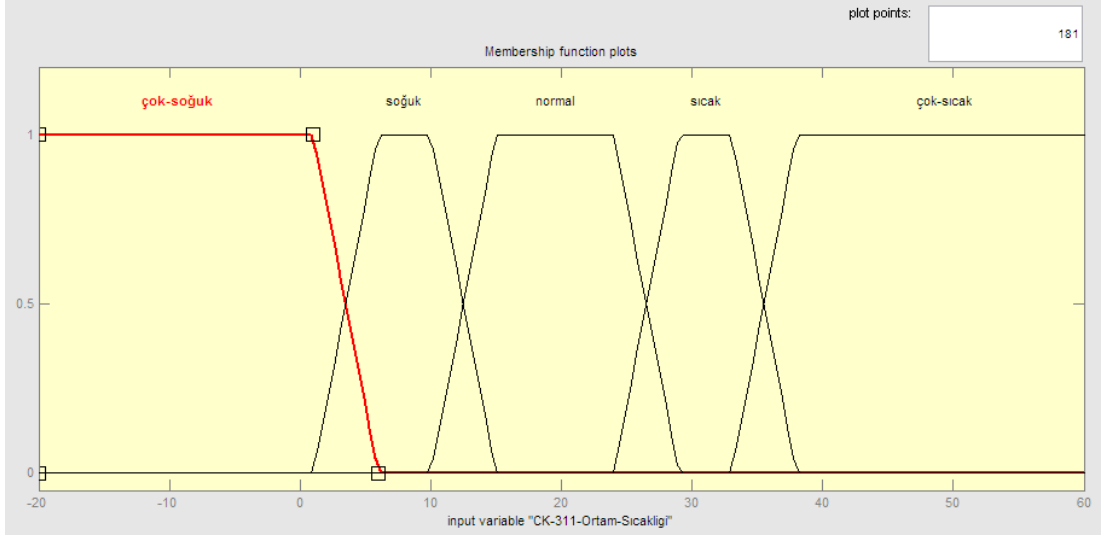
Bu yöntemin basit bir uygulaması, MatLab yazılımının Bulanık Mantık modülü (Fuzzy Logic Toolbox) kullanılarak bir sonraki kısımda gösterilmiştir.

3.3.2 Bulanık çıkarım süreci örnek uygulaması (MatLab)

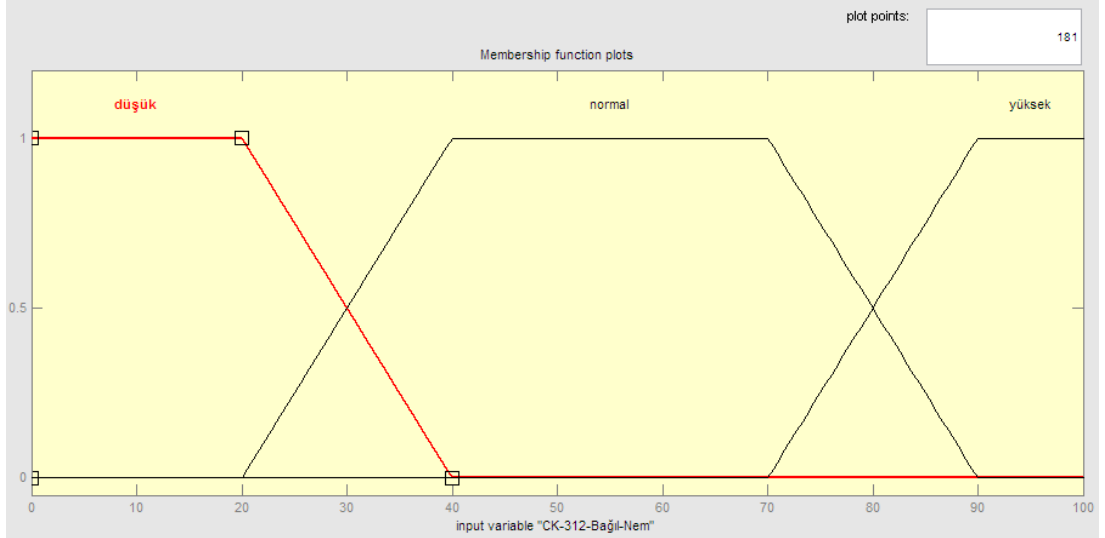
Bulanık Çıkarım Süreci, “Isıl Konfor / Thermal Comfort” konusu çerçevesinde “Hissedilen Sıcaklık” için MatLab kullanılarak aşağıda örneklendirilmiştir. Burada “Hissedilen Sıcaklık” faktörü, Fanger Isıl Konfor metodunda yer alan temel çevresel girdiler olan “Ortam Sıcaklığı”, “Bağıl Nem”, “Işınım Sıcaklığı” ve “Havalandırma” gibi çevresel faktörlerin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

3.3.2.1 Üyelik fonksiyonlarının her kriter için oluşturulması

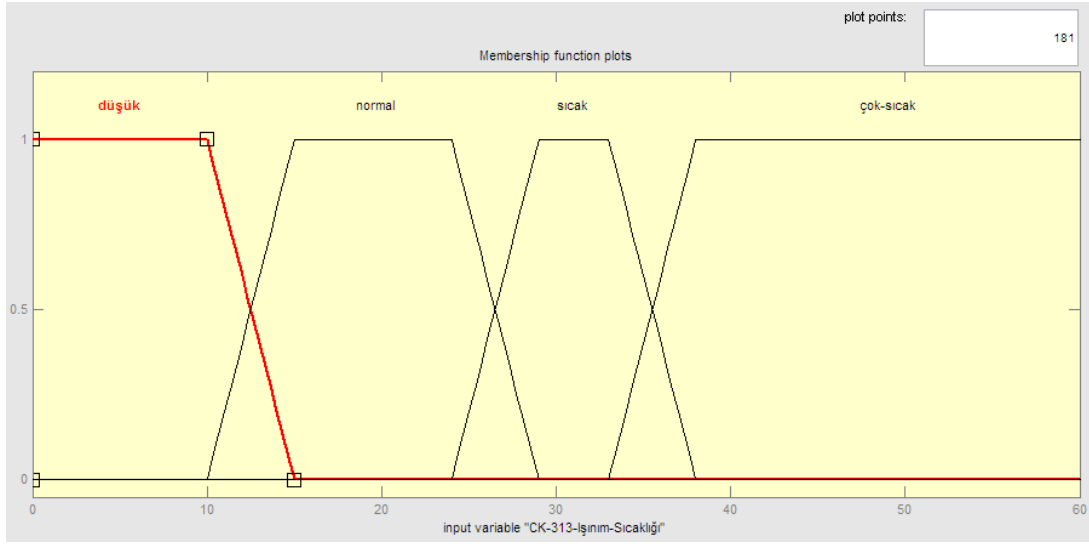
“Hissedilen Sıcaklık” faktörü ve alt faktörlerine ait (4 girdi, 1 çıktı, toplam 5 kritere ait) toplam 21 adet yamuk formasyonlu üyelik fonksiyonu aşağıda şekillerde tanımlanmıştır (Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8).



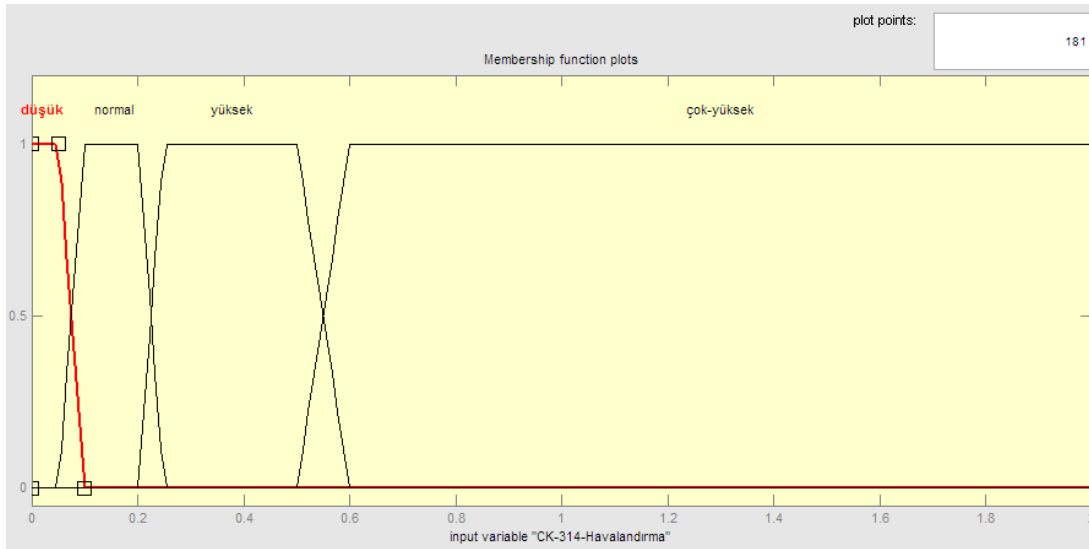
Şekil 3.4 : “Ortam Sıcaklığı” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (MatLab).



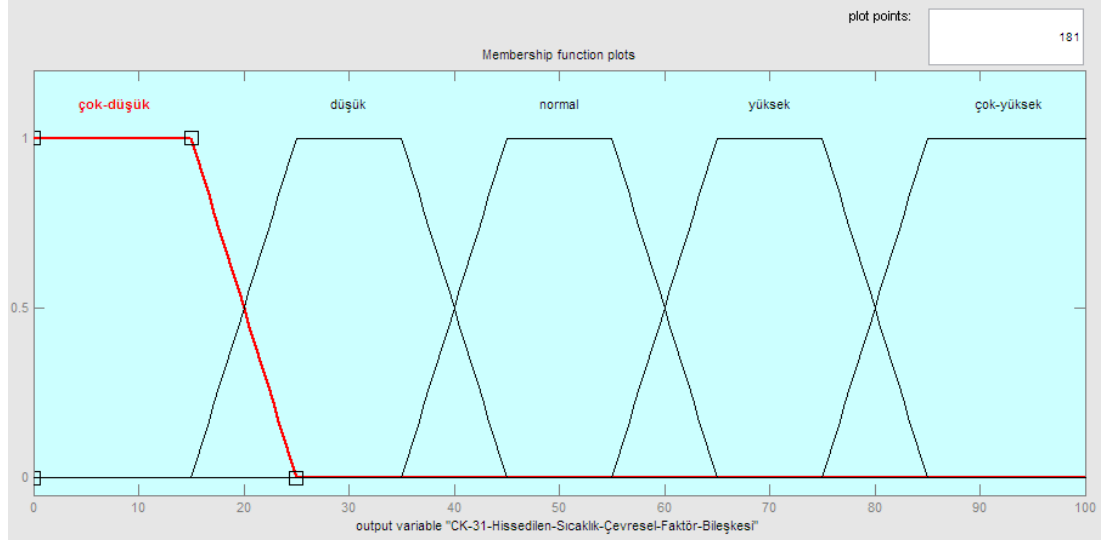
Şekil 3.5 : “Bağıl Nem” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (MatLab).



Şekil 3.6 : “Işınım Sıcaklığı” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (MatLab).



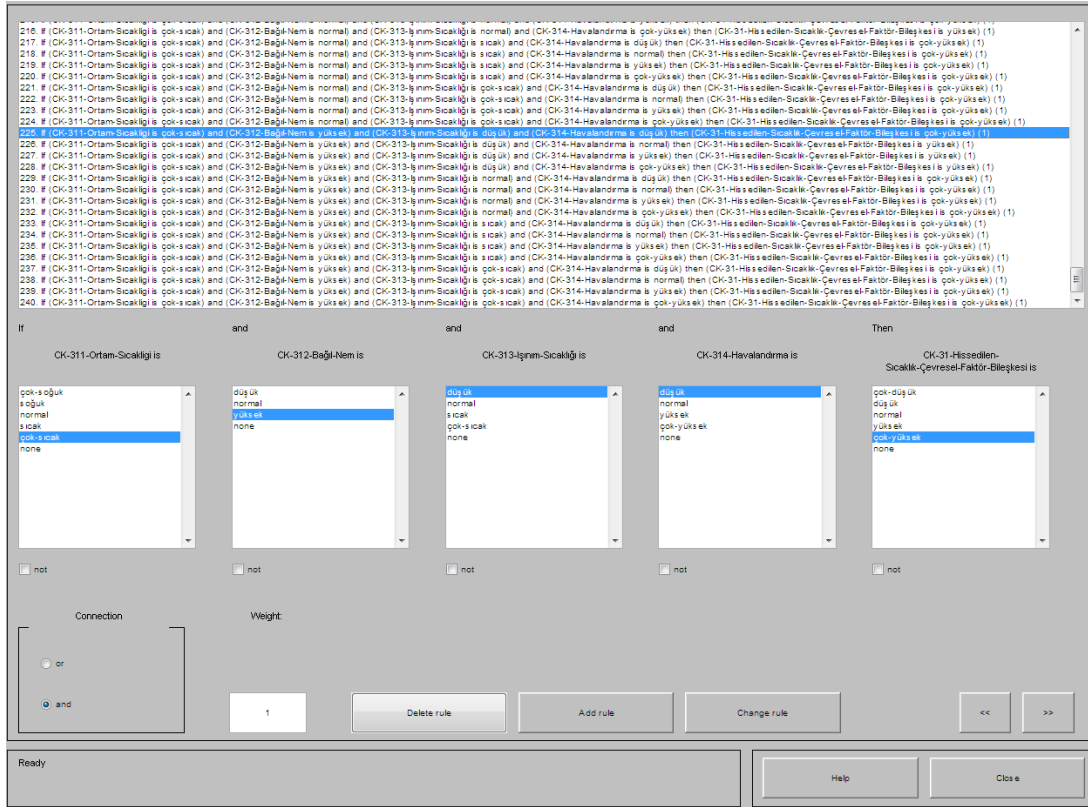
Şekil 3.7 : “Havalandırma” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (MatLab).



Şekil 3.8 : “Hissedilen Sıcaklık - Çevresel Faktör Bileşkesi” kriterine ait çıktı üyelik fonksiyonları (MatLab).

3.3.2.2 Kural kümesinin oluşturulması

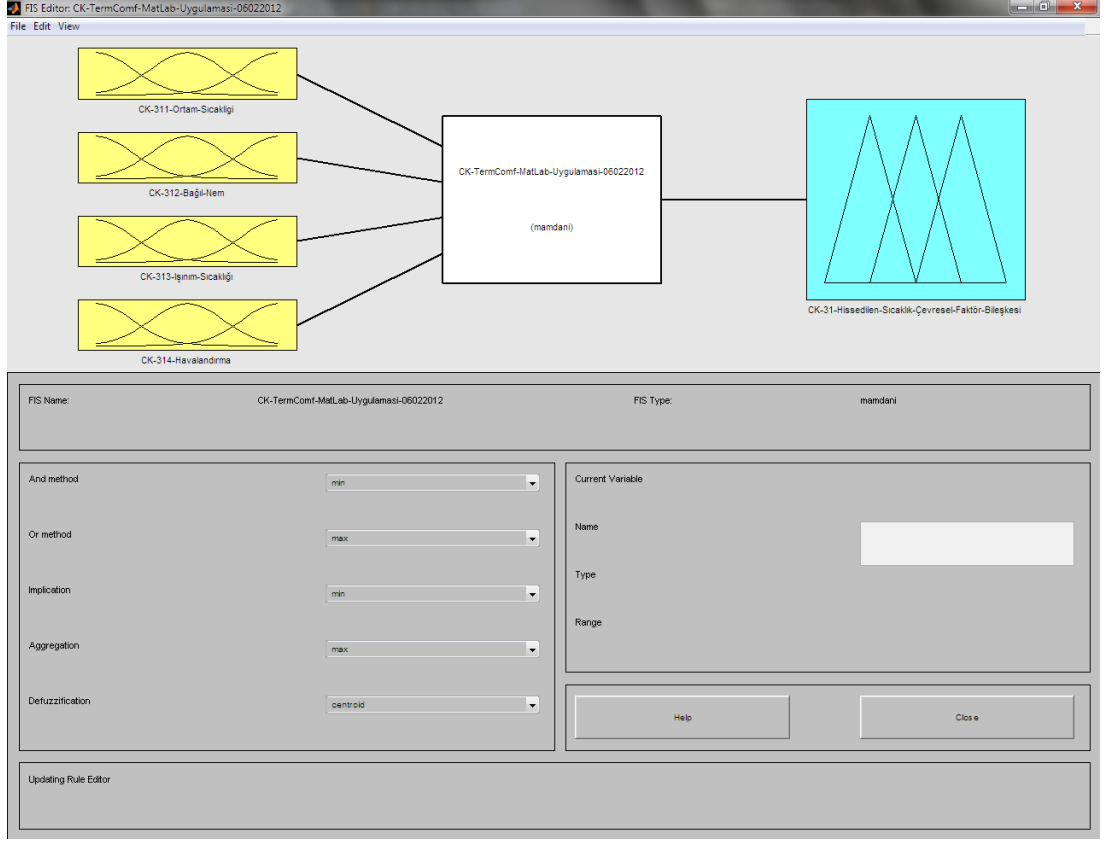
Girdi ve çıktı faktörlerine ait üyelik fonksiyonları oluşturulduktan sonraki adım her faktörün farklı düzeyde algılanışını ve bunların çıktıda meydana getirdiği değişikliği ifade edeceğimiz sözel ifadelerden oluşan koşulların, yani kural kümesinin oluşturulmasıdır. Şekil 3.9’de de görüleceği üzere kullanılacak Bulanık Mantık operatörleri “VE”, “VEYA” ve “DEĞİL” ifadeleridir. Kurallara ağırlık vermek suretiyle bazı kuralların diğerlerine göre sonuç üzerinde daha fazla etkili olmaları sağlanabilmektedir.



Şekil 3.9 : “Hissedilen Sıcaklık” faktörünün modellenmesinde kurallar kümesinin oluşturulması (MatLab).

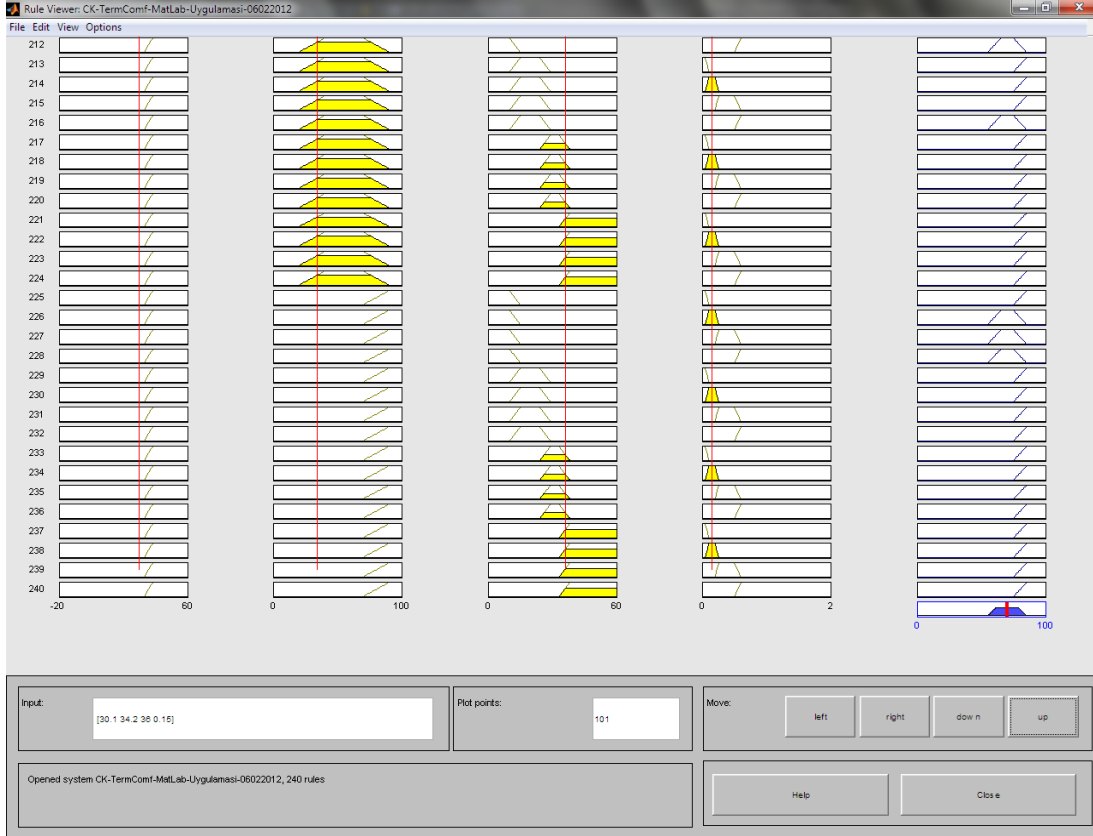
3.3.2.3 Modelin bileşke üyelik fonksiyonunun oluşturulması

Şekil 3.10’de de görüldüğü üzere kullanılan çıkarım yöntemi Mamdani olarak seçilmiştir. “VE” mantıksal operatörü için “*MİN*”, “VEYA” için “*MAKS*”, bileşke için ise “*MAKS*” yöntemi seçilmiştir, dolayısıyla bulanık kural tanımlamalarında, koşullar “VE” operatörü ile ilişkilendirilmişlerse, ilgili bileşke fonksiyonu “*MAKS-MİN*” yöntemi ile oluşturulacaktır.



Şekil 3.10 : “Hissedilen Sıcaklık” kriter grubuna ait Bulanık Çıkarım Modeli.

Netleştirme işlemi çerçevesinde 4 kriter için değerler Şekil 3.11’de görüldüğü gibi seçildiği zaman bileşke fonksiyonların oluşturduğu üyelik fonksiyonunun iki boyutlu geometrik alanının “Ağırlık Merkezi (Centroid)” yöntemine göre tespit edilen ağırlık merkezinin apsisi kestiği kesin (crisp) değer sonucu verir.



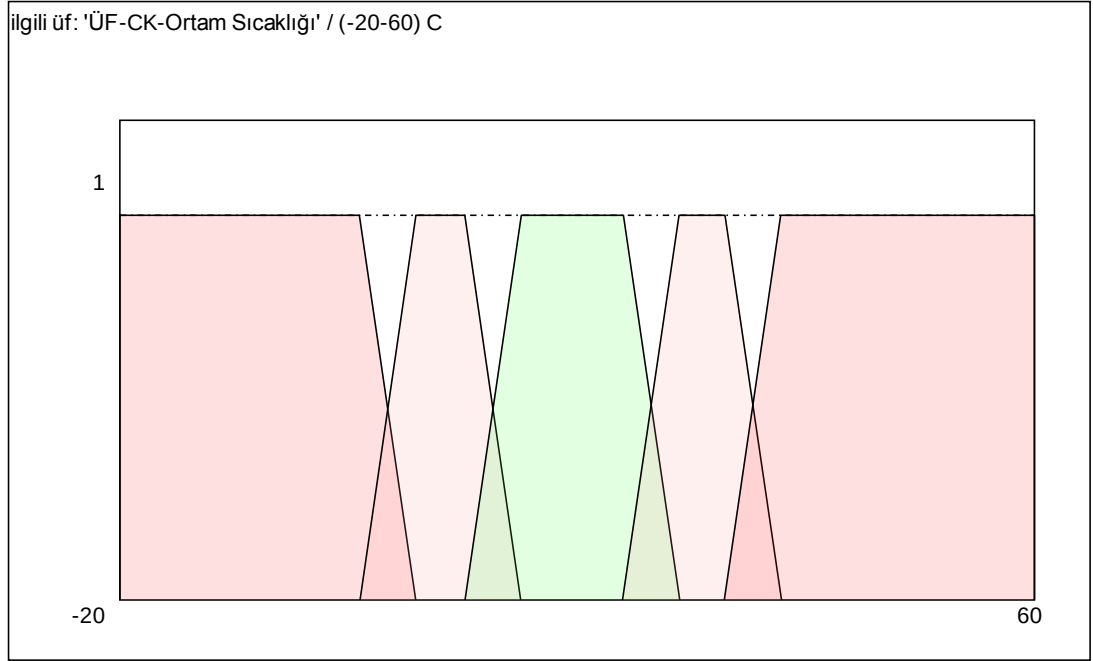
Şekil 3.11 : “Hissedilen Sıcaklık” kriter grubuna ait bileşke üyelik fonksiyonu.

3.3.3 Bulanık çıkarım süreci örnek uygulaması (FuzzyErgonomics)

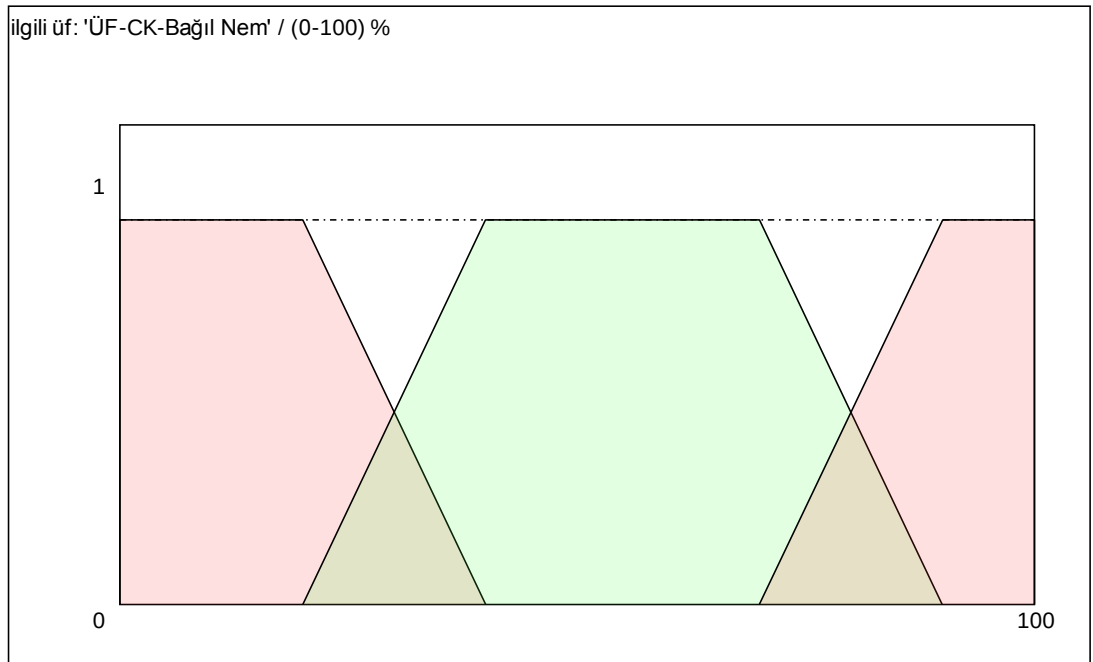
Önceki bölümde “Isıl Konfor / Thermal Comfort” konusu çerçevesinde “Hissedilen Sıcaklık” için MatLab kullanılarak örneklenen Bulanık Çıkarım Süreci, bu kez de tez kapsamında geliştirilen “FuzzyErgonomics” yazılımı ile gösterilecektir. Yine “Hissedilen Sıcaklık” faktörünün modellenmesinde Fanger Isıl Konfor metoduna göre temel çevresel girdiler olan “Ortam Sıcaklığı”, “Bağıl Nem”, “Işınım Sıcaklığı” ve “Havalandırma” kriterleri kullanılacaktır.

3.3.3.1 Üyelik fonksiyonlarının her kriter için oluşturulması

Hissedilen Sıcaklık faktörünün çevresel alt faktörleri için “FuzzyErgonomics” yazılımı yardımı ile tanımlanan ve MatLab’da oluşturulan modeldeki üyelik fonksiyonları ile aynı parametrelere sahip üyelik fonksiyonları ekli şekillerde yer almaktadır.

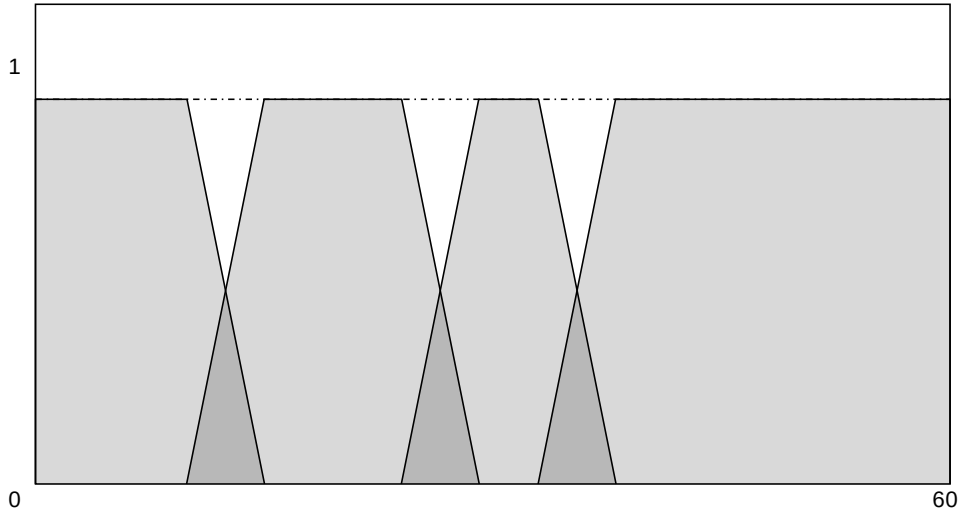


Şekil 3.12 : “Ortam Sıcaklığı” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (FuzzyErgonomics).



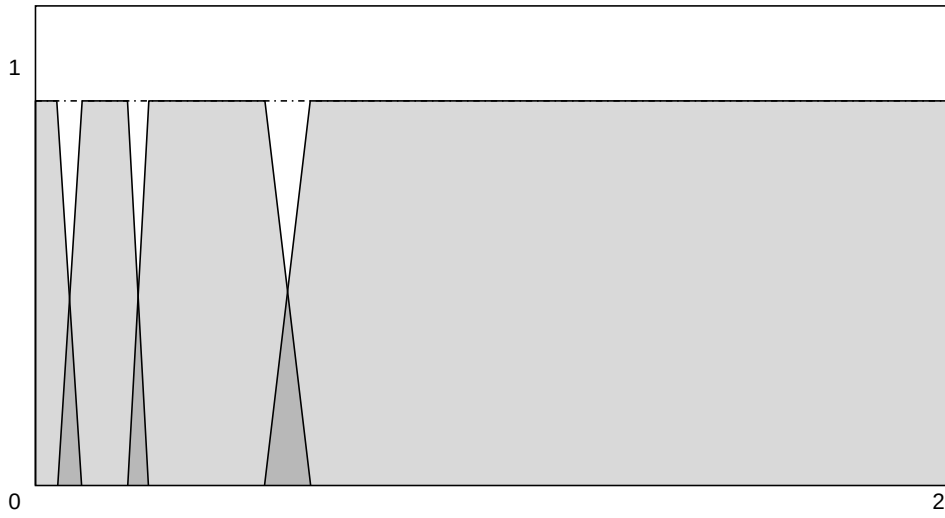
Şekil 3.13 : “Bağıl Nem” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (FuzzyErgonomics).

İlgili üf: 'ÜF-CK-Işınım Sıcaklığı' / (0-60) C

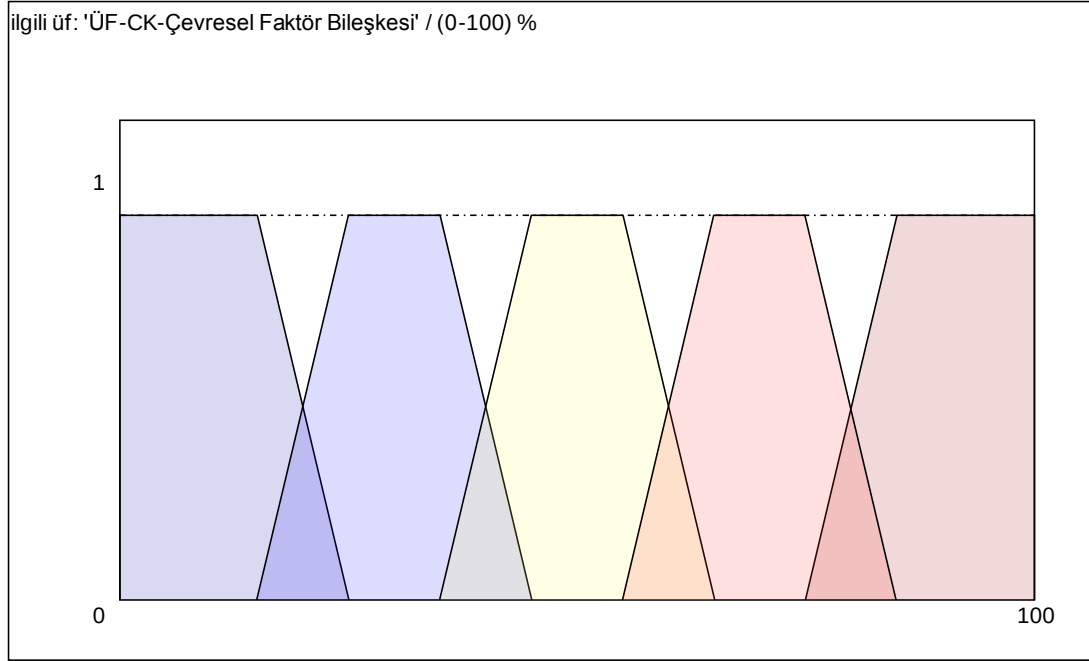


Şekil 3.14 : “Işınım Sıcaklığı” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (FuzzyErgonomics).

İlgili üf: 'ÜF-CK-Havanın Akış Hızı' / (0-2) m/s



Şekil 3.15 : “Havalandırma” kriterine ait girdi üyelik fonksiyonları (FuzzyErgonomics).



Şekil 3.16 : “Hissedilen Sıcaklık - Çevresel Faktör Bileşkesi” kriterine ait çıktı üyelik fonksiyonları (FuzzyErgonomics).

Yukarıda yer alan kriterler incelendiğinde MatLab modelinde olduğu gibi (4 girdi, 1 çıktı, toplam 5 kritere ait) toplam 21 adet yamuk şekilli üyelik fonksiyonu oluşturulduğu görülecektir.

3.3.3.2 Kural kümesinin oluşturulması

Girdi ve çıktı faktörlerine ait üyelik fonksiyonları oluşturulduktan sonraki adım, her faktörün farklı düzeyde algılanmasının ve bu algılamaların çıktıda meydana getirdiği değişikliklerin tanımlanabileceği sözel ifadelerden oluşan koşulların, yani kural kümesinin oluşturulmasıdır. Burada da MatLab uygulamasında oluşturulan kurallar “FuzzyErgonomics” yazılımı yardımı ile tekrar tanımlanmışlardır.

http://localhost/ergonomi/anasayfa.asp Ergonomik Değerlendirme ...

Dosya Düzen Görünüm Şık Kullanılanlar Araçlar Yardım

uzzy ergonomics

Sayın Emre Mercan, aşağıdaki işlemleri gerçekleştirmeye yetkilisiniz.

İşlem Seçenekleri

Sistem Yönetim Menüsü

Sistem Yönetim Menüsü

Kısm Tanımlama
İstasyon Tanımlama
Kriter Grubu Tanımlama
Kriter Tanımlama
Checklist Tanımlama
Üyelik Fonksiyonu Yönetimi
Form Tanımlama

Checklist için Kural Listesi Oluşturma [Hiyerarşi Şeması Göster](#)

Checklist Kodu Termal Konfor
Checklist Tanımı Termal Konforun Değerlendirilmesi

Tüm Kademeler

Kriter Listesi (9 adet)

CK-3 | Hissedilen Sıcaklık
CK-311 | Çevresel Faktör Bileşkesi
CK-311 | Ortam Sıcaklığı
CK-312 | Bağıl Nem
CK-314 | Havalandırma

Alt Kriter Listesi

1.kademe CK-31 Alt Kriter Listesi (4 adet)

CK-311 - 44 | Ortam Sıcaklığı
CK-312 - 46 | Bağıl Nem
CK-314 - 52 | Havalandırma
CK-313 - 48 | Işınım Sıcaklığı

CL-ÜF ilişkilendirmesi eksik
KR-ÜF ilişkilendirmesi eksik

Toplu Kural Listeleme ve Süzme

CK-311	CK-312	CK-314	CK-313	CK-31
çok soğuk/çok soğuk/olumsuz	düşük/düşük normal/normal	düşük/düşük normal/normal	düşük/düşük normal/normal	çok soğuk/çok soğuk/olumsuz
normal/normal	yüksek/yüksek	yüksek/yüksek	sıcak/olumsuz	normal/kabul edilebilir
sıcak/olumsuz			çok sıcak/çok ılık	

Kural Listesi (280 kural listelenmiştir)

Sayfa açılırken kurallar yüklensin mi Evet

104) 2884: IF (Ortam Sıcaklığı = soğuk) and (Bağıl Nem = normal) and (Havalandırma = çok yüksek) and (Işınım Sıcaklığı = sıcak) THEN (Çevresel Faktör Bileşkesi = soğuk) Agirlik:(1)

105) 2883: IF (Ortam Sıcaklığı = soğuk) and (Bağıl Nem = normal) and (Havalandırma = çok yüksek) and (Işınım Sıcaklığı = çok sıcak) THEN (Çevresel Faktör Bileşkesi = soğuk) Agirlik:(1)

106) 2882: IF (Ortam Sıcaklığı = soğuk) and (Bağıl Nem = yüksek) and (Havalandırma = düşük) and (Işınım Sıcaklığı = düşük) THEN (Çevresel Faktör Bileşkesi = soğuk) Agirlik:(1)

107) 2881: IF (Ortam Sıcaklığı = soğuk) and (Bağıl Nem = yüksek) and (Havalandırma = düşük) and (Işınım Sıcaklığı = normal) THEN (Çevresel Faktör Bileşkesi = soğuk) Agirlik:(1)

108) 2880: IF (Ortam Sıcaklığı = soğuk) and (Bağıl Nem = yüksek) and (Havalandırma = düşük) and (Işınım Sıcaklığı = sıcak) THEN (Çevresel Faktör Bileşkesi = soğuk) Agirlik:(1)

109) 2879: IF (Ortam Sıcaklığı = soğuk) and (Bağıl Nem = yüksek) and (Havalandırma = düşük) and (Işınım Sıcaklığı = çok sıcak) THEN (Çevresel Faktör Bileşkesi = normal) Agirlik:(1)

110) 2878: IF (Ortam Sıcaklığı = soğuk) and (Bağıl Nem = yüksek) and (Havalandırma = normal) and (Işınım Sıcaklığı = düşük) THEN (Çevresel Faktör Bileşkesi = soğuk) Agirlik:(1)

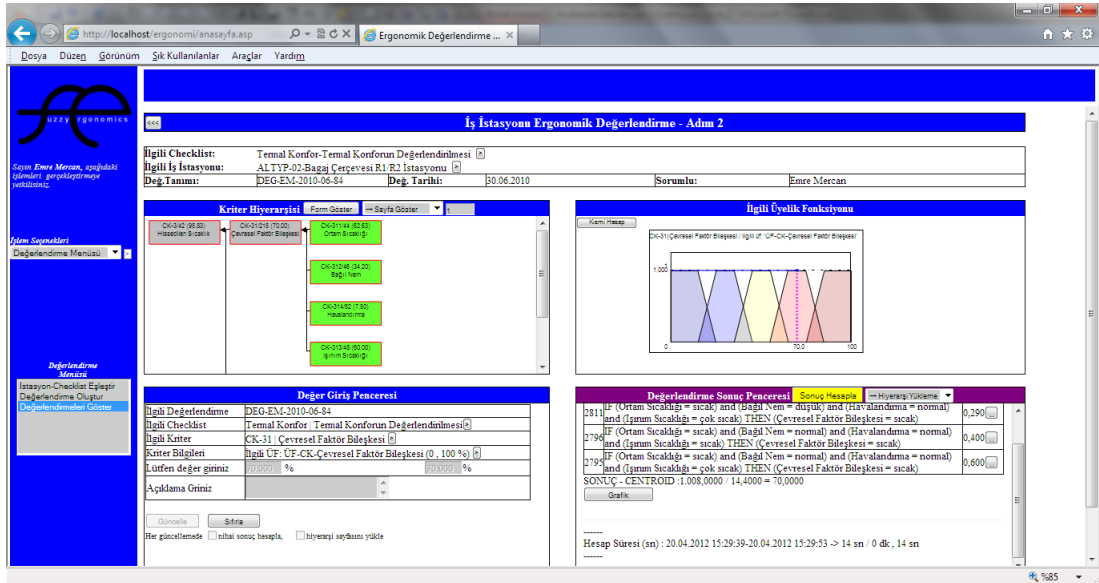
111) 2877: IF (Ortam Sıcaklığı = soğuk) and (Bağıl Nem = yüksek) and (Havalandırma = normal) and (Işınım Sıcaklığı = normal) THEN (Çevresel Faktör Bileşkesi = soğuk) Agirlik:(1)

Şekil 3.17 : “Hissedilen Sıcaklık” faktörünün modellenmesinde kurallar kümesinin oluşturulması (FuzzyErgonomics).

MatLab uygulamasında olduğu gibi “FuzzyErgonomics” uygulamasında da Bulanık Mantık operatörleri kullanılabilinmekte ve kurallara ağırlık verilebilmektedir; bu sayede bazı kuralların sonucu diğerlerine göre daha çok etkilemeleri sağlanabilmektedir.

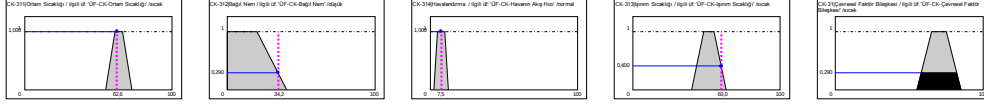
3.3.3.3 Modelin bileşke üyelik fonksiyonunun oluşturulması

“FuzzyErgonomics” yazılımında sadece Mamdani Bulanık Çıkarım Yöntemi kullanılmaktadır. “VE” mantıksal operatörü için “*MIN*”, “VEYA” için “*MAKS*”, bileşke için ise “*MAKS*” yöntemi seçilmiştir. Yani bulanık kural tanımlamalarında koşullar hep “VE” operatörü ile ilişkilendirilmişse, birbirlerine bağlanmışlarsa, ilgili bileşke fonksiyonu “*MAKS-MIN*” yöntemi ile oluşturulacak demektir. 4 kriter için değerler Şekil 3.18’de görüldüğü gibi seçildiği zaman bileşke fonksiyonların oluşturduğu geometrik alanın “Ağırlık Merkezi (Centroid)” yöntemine göre tespit edilen ağırlık merkezinin apsisi kestiği nokta sonucu verir (Şekil 3.19).

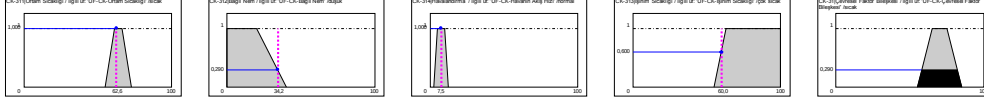


Şekil 3.18 : “Hissedilen Sıcaklık” kriter grubuna ait Bulanık Çıkarım Modeli.

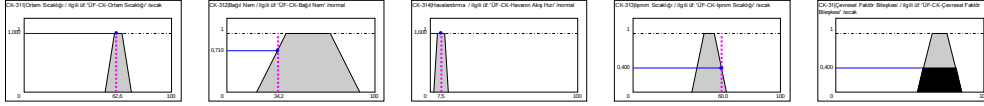
EĞER (Ortam Sıcaklığı = sıcak) VE (Bağıl Nem = düşük) VE (Havalandırma = normal) VE (Işınım Sıcaklığı = sıcak) İSE (Çevresel Faktör Bileşkesi = sıcak)



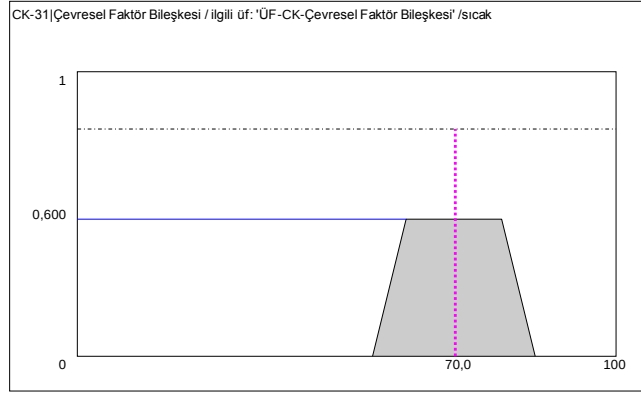
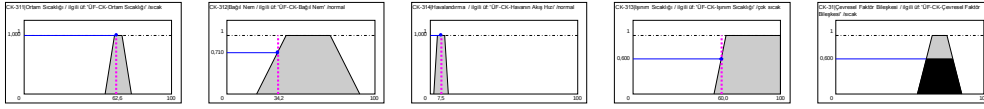
EĞER (Ortam Sıcaklığı = sıcak) VE (Bağıl Nem = düşük) VE (Havalandırma = normal) VE (Işınım Sıcaklığı = çok sıcak) İSE (Çevresel Faktör Bileşkesi = sıcak)



EĞER (Ortam Sıcaklığı = sıcak) VE (Bağıl Nem = normal) VE (Havalandırma = normal) VE (Işınım Sıcaklığı = sıcak) İSE (Çevresel Faktör Bileşkesi = sıcak)



EĞER (Ortam Sıcaklığı = sıcak) VE (Bağıl Nem = normal) VE (Havalandırma = normal) VE (Işınım Sıcaklığı = çok sıcak) İSE (Çevresel Faktör Bileşkesi = sıcak)



Şekil 3.19 : “Hissedilen Sıcaklık” kriter grubuna ait bileşke üyelik fonksiyonu (FuzzyErgonomics).

3.4 Bulanık Mantık Yaklaşımının Ergonomi’de Kullanımı

Literatür incelendiğinde Bulanık Mantık yaklaşımının Antropometri, insan-makina etkileşimi, çalışanların karşı karşıya kaldığı fizyolojik ve mental yüklenmeye bağlı sağlık risklerinin tespiti gibi temel Ergonomi konularında da uygulandığı görülmektedir [59]. Otomasyonun sanayi, hizmet ve bilişim sektörlerinin her alanında yaygınlaşması ile eski tip fiziksel aktivite ölçümü temelli performans değerlendirme yöntemleri de yetersiz kalmaya başlamıştır; dolayısıyla mental ağırlıklı işler için performans ölçümlemesinde de Bulanık Mantık yaklaşımından faydalanmak bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Özellikle sayısal olarak ölçülenemeyen kalitatif mental faktörlerin dilsel olarak ifadelendirilmesinde

Bulanık Mantık yaklaşımı kullanılması ile bu faktörlerin sayısallaştırılması mümkün olmaktadır [69]. Literatürde rastlanan bazı örnekler aşağıda sıralanmıştır:

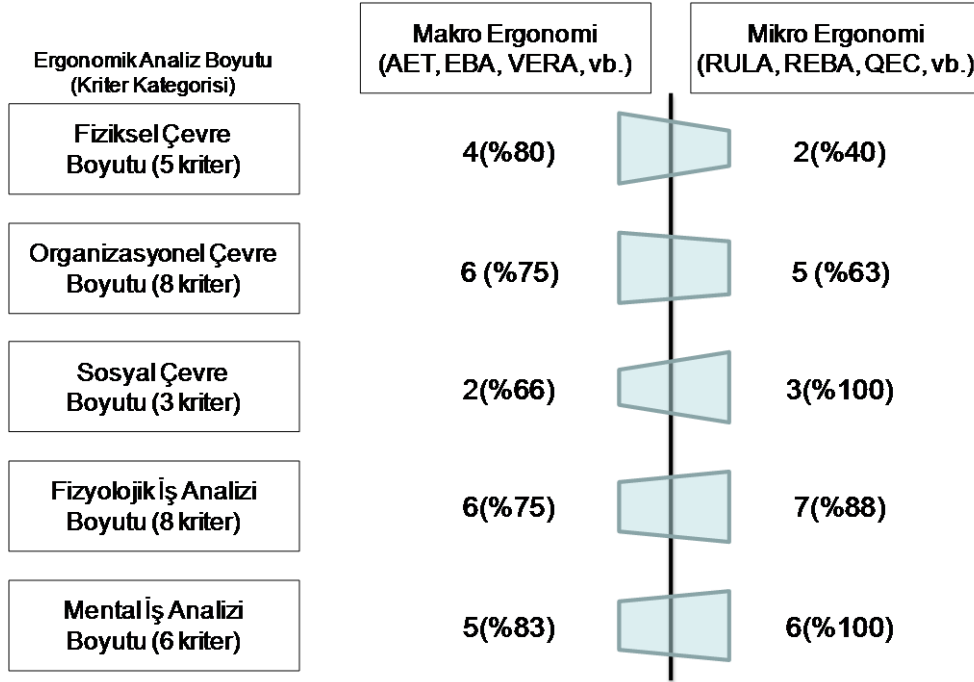
- Genaidy ve Karwowski tarafından yapılan çalışmada paket dağıtımı sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede çalışan deneyimli erkek ve kadın işçilerden oluşan bir gruba 10'lu Borg skalası ile ifade edilen ağırlık tanımlamaları ile ilgili bir anket uygulaması yapılmıştır. Katılımcılardan skalada yer alan “çok ağır”, “ağır” gibi sözel ifadeleri kilogram cinsinden alt ve üst ağırlık limitlerini içerecek şekilde belirtmeleri istenmiş, toplanan veriler analiz edilerek üyelik fonksiyonları oluşturulmuş, bu sayede çalışanların sözel ağırlık ifadelerinin sayısallaştırılması sağlanmıştır. Bu sayede Bulanık Çıkarım Süreci yaklaşımı kullanılarak ağırlık düzeylerine bağlı ergonomik risk analizi yapılması çerçevesinde kullanılabilecek üyelik fonksiyonları geliştirilmiştir [70].
- Ntuen tarafından yapılan çalışmada elektronik devre kartı üreten bir işletmede deneyimli ve deneyimsiz olarak sınıflandırılabilen iki grup kalite kontrol elemanı 9 ay boyunca gözlemlenmiştir. Algılama, dikkat ve karar verme kriterlerine göre her bir kriterde yaşadıkları (hissettikleri) zorlanma derecesini değerlendirmelerine olanak sağlayan testler uygulanmıştır. Bu veriler kullanılarak bulanık üyelik fonksiyonları oluşturulmuş ve iş yükü ölçümleri bu şekilde sayısallaştırılarak kontrolörlerin performans ölçümünde kullanılmıştır [71].
- Kaya ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, ayakta ve oturma pozisyonunda olmak üzere toplam 18 antropometrik ölçü, yaşları 15 ile 18 arasında değişen 387 denkten toplanmıştır. Regresyon Yöntemi yerine “ANFIS-Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System” yöntemi kullanılarak antropometrik ölçüler tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahmin amacıyla 6 antropometrik ölçü (omuz genişliği, kalça genişliği, diz hizası yüksekliği, kalça-diz mesafesi, diz altı yükseklik ve genel yükseklik) seçilmiştir. Sonuçları tahmin etmek için gerekli parametre sayısının cinsiyete göre değişkenlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca her iki cinsiyetin antropometrik ölçülerinin

tahmininde ANFIS yönteminin regresyona göre daha iyi performans sağladığı gösterilmiştir [72].

- Nunes tarafından Bulanık Çıkarım Süreci yaklaşımı kullanılarak geliştirilen ergonomik değerlendirme modeli ve bu modeli destekleyen uzman sistem yazılımı ile iş istasyonlarının tasarımı veya iyileştirmeler sonrası yeniden yapılandırılması süreci çerçevesinde 32 adet kas iskelet sistemi rahatsızlığına yönelik risklerin öngörülebilmesi hedeflenmiştir. Modelin yapılandırılmasında kullanılan 103 faktör vücut duruşu, tekrarlı hareketler, uygulanan kuvvet, ortam soğukluğu, titreşim ve psiko-sosyal kriter grupları altında sınıflandırılmıştır [73,74].
- Azadeh ve arkadaşları tarafından Bulanık Uzman Sistem yaklaşımı çerçevesinde gaz rafinerilerindeki risk faktörleri iş sağlığı, iş güvenliği, çevresel ve ergonomik olmak üzere 4 kriter kategorisinde tanımlanmış ve ilgili kriter kategorileri bazında performansın ölçülmesi amacıyla bulanık kural tabanlı bir model geliştirilmiştir [75].
- Nanda ve arkadaşları tarafından Bulanık Çıkarım Süreci yaklaşımı çerçevesinde açık maden ocaklarında kullanılan çeşitli makina ve ekipman türlerinin kombinasyonunu göz önünde bulunduran bir gürültü tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model kullanılarak hem Mamdani, hem de Sugeno Bulanık Çıkarım yöntemleri ile gürültü değerleri öngörülmüştür. Gerçek ölçüm değerleri ile öngörülen değerler karşılaştırıldığında Sugeno yönteminin gerçek değerleri daha az hata ile tahmin ettiği gözlemlenmiştir [76].

4. ERGONOMİK DEĞERLENDİRME MODELİ

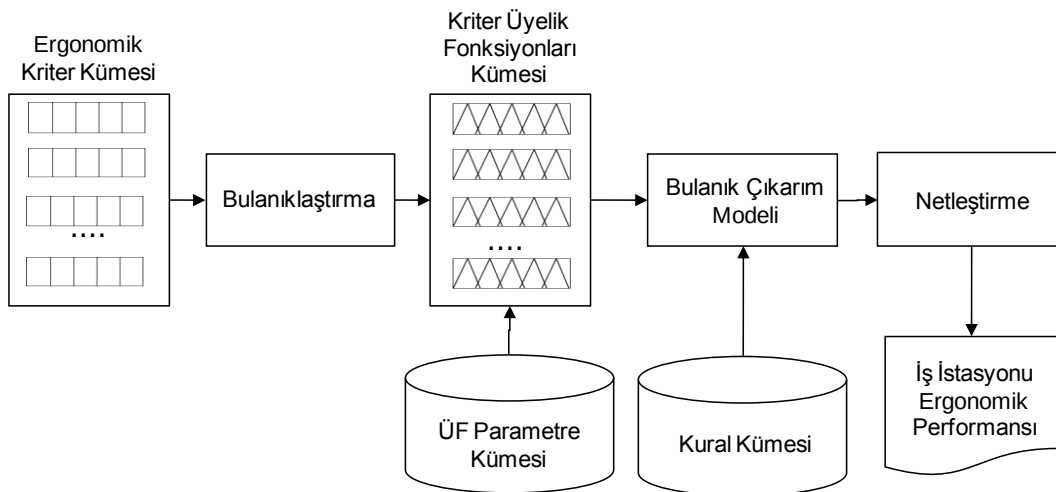
İncelenen analiz ve değerlendirme yöntemlerinde, insan-makina sistemlerinin Makro ve Mikro-Ergonomi düzeylerinde ele alındıkları gözlemlenmektedir. İnsan-makina sistemlerinin analizinde kullanılan yöntemler incelendiğinde organizasyonel çevre, fiziksel çevre, sosyal çevre, mental iş analizi ve fizyolojik iş analizi olmak üzere 5 farklı temel boyutta değerlendirmelerin yapıldığı veya iş sistemlerinin modellendiği gözlemlenmiştir [77]. Makro ve mikro-ergonomik değerlendirme yöntemlerinin modellenmesinde söz konusu temel boyutların hangi düzeyde ve detayda ele alındığına yönelik yapılan çalışmada, organizasyonel ve fiziksel çevre boyutları makro-ergonomik değerlendirme yöntemleri açısından daha ön planda tutulurken, mikro-ergonomik değerlendirme yöntemlerinin daha çok psiko-sosyal ve fizyolojik iş analizi boyutları üzerinde yoğunlaştıkları görülmüştür. Makro ve mikro-ergonomik değerlendirme yöntemlerinin söz konusu ergonomik kriter kategorilerine göre karşılaştırması Şekil 4.1’de yer almaktadır [41].



Şekil 4.1 : Makro ve Mikro-Ergonomi yöntemlerinin karşılaştırılması.

Ergonomik analiz ve değerlendirme yöntemlerinin ortak noktasının, çalışanlar üzerinde oluşan farklı boyutlardaki tüm yüklenmelerin sayısallaştırılarak ölçülebilir ve karşılaştırılabilir hale getirilmesi olduğu görülmektedir.

Tez çalışmasının en temel adımı olan Bulanık Çıkarım Yöntemi tabanlı bir uzman sistem geliştirilmesi kapsamında literatürde yer alan analiz ve değerlendirme yöntemlerinin en güçlü yanlarının tespit edilerek kullanılması söz konusu olmuştur. Bulanık Uzman Sistem yaklaşımı kullanılmasının en temel sebepleri, bir otomatik kontrol tekniği veya karar destek sistemi olarak Bulanık Uzman Sistem yaklaşımının insan hatasını minimize etmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği uzmanları, işyeri hekimi, işletme ve üretim mühendisleri, ilk kademe imalat yöneticileri gibi üretimle doğrudan veya dolaylı ilişki içerisinde olan uzman veya yöneticilerin görüş, bilgi birikimi ve tecrübelerinin bilgi tabanı çerçevesinde depolanması, belirsizlik içeren büyük oranda veri yığınlarının anlamlandırılması, doğrusal olmayan fonksiyonların veya keyfi karmaşıklık içeren sistemlerin modellenenilmesi, herhangi bir girdi-çıkııı veri grubunun fonksiyon bağımlı veya bağımsız eşlenerek ilişkilendirilebilmesi gibi hem uzman sistem hem de Bulanık Mantık yaklaşımlarının avantajlarından faydalanabilmek olarak sıralanabilir. Bir ergonomik değerlendirme sisteminin çok farklı boyutta ve sayıda kriterin ele alınması gerekliliğinden kaynaklanan karmaşık yapısı, aynı zamanda hem kalitatif, hem kantitatif, hem bilimsel doğruluk, hem de kişisel deneyim içeren veri yığınlarının kullanımını gerektirmesi gibi nedenlerden dolayı, Bulanık Mantık tabanlı uzman sistem yaklaşımı çerçevesinde ele alınmasının uygun olacağı düşünülmüştür [60,67].



Şekil 4.2 : Ergonomik değerlendirme uzman sistemi yapısı blok diyagramı.

Şekil 4.2’de yer alan akış şemasında tez kapsamında geliştirilen Bulanık Çıkarım Yöntemi tabanlı uzman sistemin işleyişi anlatılmıştır.Öncelikle değerlendirmede kullanılacak olan kriter (faktör) kümesinin oluşturulması söz konusudur. İncelenen ergonomik analiz ve değerlendirme yöntemlerinden faydalanılarak bu kümede yer alan, yani değerlendirme modelinin iskeletini oluşturan ergonomik değerlendirme boyutları ve bunlara bağlı olarak da hiyerarşik kriter grupları oluşturulmuştur.

Daha sonra kriterler için sözel değerlendirme ifadelerini içerecek şekilde üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonları genelde üçgensel veya yamuk olarak ifade edilmiş olup, ilgili sayısal parametreler bilimsel kaynaklardan taranarak belirlenmiştir. Söz konusu bilgilere literatürde rastlanmamışsa parametreler sezgisel olarak belirlenmiştir. Bazı kriterler için incelenen kaynaklarda farklı parametreler tespit edilmişse veya aynı zamanda bir uzman / uzman grubu görüşü söz konusuysa aynı kriterler için farklı üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Sezgisel olarak belirlenen üyelik fonksiyonu parametreleri için işletmede çalışan deneyimli işçi, postabaşı ve yöneticilerin görüşleri alınmış olup, bu veriler de yine modeli destekleyen elektronik sistemdeki veritabanında depolanmıştır. Yani bu parametrik veriler uzman sistem olarak tanımlanabilecek modelin bilgisayar uygulamasına ait “Bilgi Tabanı”nda depolanmışlardır.

Üyelik fonksiyonları kümesinde ise değerlendirmede kullanılan kriterlere ait üçgen veya yamuk şekilli üyelik fonksiyonları yer almaktadır. Bir kriter için birden fazla üyelik fonksiyonu parametre seçeneği tanımlamak mümkün olabilmektedir. Örneğin, Isıl Konfor çerçevesinde “Hissedilen Sıcaklık” faktörünün belirlenmesinde çevresel koşulları belirleyen temel girdiler “Ortam Sıcaklığı”, “Bağıl Nem”, “Işınım Sıcaklığı” ve “Havalandırma” kriterleri olarak tanımlanmaktadır. “Ortam Sıcaklığı” faktörünün sınır değerleri -20°C ile +60°C arasında düşünülecek olursa, 20-26°C arası literatürde “normal” olarak tanımlanırken, ilgili iş istasyonundaki prosesleri iyi bilen, tecrübeli çalışanlar tarafından 18-22°C arası “normal” olarak tanımlanabilmektedir. Bu algılamalar cinsiyete, coğrafi bölgeye veya sektöre göre dahi değişiklik gösterebilir. Bu bağlamda parametre kümesi kullanımı ile değerlendirmeyi farklı üyelik kümesi kombinasyonları ile gerçekleştirmeyi mümkün kılan bir model tasarlanmıştır.

Kural kümesinde, Bulanık Çıkarım Süreci’nde kullanılan “EĞER-İSE” kuralları (koşulları) yer almaktadır. Yine Isıl Konfor’u etkileyen “Çevresel Faktör Bileşkesi”

örneği üzerinden gidecek olursak, ekli kuralı tanımlamak mümkündür: “*EĞER* (*‘Ortam Sıcaklığı’=‘çok sıcak’*) *VE* (*‘Bağıl Nem’=‘yüksek seviyede’*) *VE* (*‘Işınım Sıcaklığı’=‘çok yüksek’*) *VE* (*‘Havalandırma’=‘çok düşük’*) *İSE* (*‘Çevresel Faktör Bileşkesi’=‘çok yüksek’*)”.

Kural sayısının tespiti ise modeli kurgulayan karar vericilere bağlı olup teorik olarak kriterde yer alan düzey (üyelik fonksiyonları) sayılarının çarpımı kadar kural tanımlanabilir. Farklı kural kombinasyonları oluşturarak bunları daha sonra kullanmak üzere kural kümesinde muhafaza etmek mümkün olacağından, değerlendirmelerde farklılık ve esneklik sağlanabilir. Bulanık Çıkarım Yöntemi tabanlı uzman sistemlerde kuralların ağırlıklandırılması da mümkün olup, farklı ağırlık kombinasyonları da kural kümesinde tanımlanabilmektedir.

Ergonomik kriter, üyelik fonksiyonu parametreleri ve kural kümelerinden faydalanılarak çeşitli kombinasyonlarda ergonomik kriter grupları; farklı üyelik fonksiyonu kombinasyonlarında farklı kural grupları oluşturulmasının değerlendirme modelinin esnekliği açısından önemi önceki kısımlarda ortaya konuldu. Özellikle maruz kalınan fizyolojik yüklenmeler, vücut bölgelerinin konumu veya hareketleri, maruz kaldıkları statik veya dinamik kassal çalışma gibi faktörlere bağlı olarak oluşturulacak kriter kombinasyonları ile iş istasyonlarının Ergonomi ve İSG açısından risk değerlendirmesi gerçekleştirilebilir ve ne tür meslek hastalıkları risklerinin söz konusu olduğu ortaya konulabilir; sonrasında iş istasyonları içerdikleri risklere göre sınıflandırılabilirler.

Yine yeni kriter grupları oluşturularak incelenen işler ve iş istasyonları mental ve fiziksel ağırlıklı iş kapsamında olup olmama durumlarına göre sınıflandırılabilir, ilgili iş istasyonlarında çalışacak kişilerde aranması gereken temel yetkinlikler (çalışan profili) ortaya konulabilir. Tez kapsamında ise çevresel, fizyolojik ve mental koşullar açısından maruz kalınan yüklenmelerin büyüklüğü üzerinde odaklanılmıştır.

4.1 Ergonomik Değerlendirme Modeli İçin Yaklaşımların İrdelenmesi

İncelenen yöntemler arasında Rohmert ve Landau tarafından geliştirilen “*Arbeitwissenschaftliches Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse (AET)*” yöntemi, ele aldığı ergonomik kriterlerin sayısı ve kapsamı, bir çok sektörde uygulanmış olması, diğer İş Analizi ve Değerlendirme yöntemleri ile ilgili

çalışmalarda en çok atıfta bulunulan metotlardan olması gibi nedenlerden ötürü tez kapsamında yüklenme modellerinin geliştirilmesi sürecinde en çok yararlanılan ve üzerinde durulan yöntemlerden biri olmuştur. İş Sistemi Analizi, İş Adımı Analizi ve İş Gereksinimleri Analizi olarak üç kısımdan ve bu kısımlar altında toplam 216 alt başlıktan oluşan AET yöntemi genelde iş sistemlerinin değerlendirilmesi, karakterize edilmesi ve sınıflandırılmasında kullanılmıştır [29,78-80].

Özellikle insan-makina sistemlerinin farklı boyutlarıyla (fizyolojik, zihinsel, çevresel koşullar, iş organizasyonu, İş Sağlığı ve Güvenliği, vb.) ele alınması ve değerlendirilmesinde genel bir bakış açısı ve standardizasyon sağlayan AET ve benzeri makro-ergonomik yöntemlerin bütünleşik bakış açısı tez kapsamında geliştirilen değerlendirme modelinin ve sisteminin de temelini teşkil etmiştir.

İncelenen yöntemler arasında ise fizyolojik yüklenme açısından AAWS, QEC, RULA, REBA, LUBA, OCRA vb. yöntemler özellikle Mikro Ergonomi çerçevesinde oldukça detaylı yöntemler olarak tespit edilmişlerdir. Literatürde rastlanan birçok duruş analizi yönteminde de karşılaştırma ve referans olarak bu yöntemlerden faydalanılmıştır. Bu tarz yöntemlerde, vücudun ve diğer uzuvların belli pozisyonlarda konumları, bu konumlardaki bekleme süreleri ve maruz kaldıkları kuvvetler de dikkate alınarak çalışan üzerinde işin yarattığı yüklenme düzeyleri belirlenmeye çalışılmaktadır.

4.2 Ergonomik Değerlendirme Modelinin Geliştirilmesi

şekil 4.1’de de belirtildiği gibi model geliştirilirken en önemli ve ilk adım “ergonomik değerlendirme uzman sistemi yapısı” çerçevesinde öncelikle modelin temelini oluşturan ve değerlendirmede kullanılacak boyutları ve kriterleri belirlemektir. İkinci olarak uzman sistemi Bulanık Çıkarım Süreci temeline oturtabilmek için söz konusu kriterlerle ilgili sözel ifadeleri oluşturmak için kullanılacak sayısal parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir.

4.2.1 Kriterlerin belirlenmesi ve kriter hiyerarşilerinin oluşturulması

Ergonomik değerlendirme modelinde ele alınacak temel kriter grupları, bu grupların altında yer alan alt kriterler, daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi AET ve diğer benzer iş analizi yöntemlerinden faydalanılarak tespit edilmiş veya geliştirilmişlerdir. İş Sistemlerinin Analizi, İş Adımlarının Analizi ve Gereksinim Analizi olmak üzere

3 ana bölümden oluşan ve 216 adet alt başlığa göre değerlendirme ve analiz yapmaya olanak tanıyan AET yöntemi, özellikle işlerin gruplandırılmasında ayrıntılı bir yöntem olarak öne çıkmakta, birçok analiz ve değerlendirme yöntemine baz teşkil etmektedir. Bu kriterlerin 143 adedi iş sisteminin merkezi durumundaki çalışan üzerinde odaklanırken, 31 adedi iş adımlarının analizine, kalan 42 adedi ise iş gereksinimlerinin (job demand) analizine odaklanmaktadır. Son gruptaki 42 faktörün 17'si doğrudan işin gerektirdiği fizyolojik yüklenmenin ölçülmesi ile ilgilidir [80]. AET yöntemi ile iş karakteristikleri çok detaylı ve geniş bir spektrumda ortaya konabilmektedir. Özellikle yapılan işlerin çeşitli alt kriterlere göre sınıflandırılması ve karakterize edilmesi için kullanılan bu yöntem, biyomekanik yüklenmeler bağlamında derinlemesine analiz imkanı sağlamamaktadır [40]. Ancak yine de tez kapsamında geliştirilen modelin çerçevesinin oluşturulmasında, yani kriterlerin belirlenmesi, kriter gruplarının oluşturulması, kriter grupları içerisinde kriterlerin birbirleri ile olan ilişkisinin belirlenmesinde faydalanan yöntemlerden biri olmuştur. Geliştirilen modelde incelenen tüm yöntemlerde belirtilen başlıkların hepsini kullanmaya gerek olmayacak; zira odaklanılması gereken kriterler, genelde imalat ağırlıklı iş ortamında bulunan iş sistemlerinin analiz edilmesinde kullanılabilecek, hızlı bir şekilde ölçümlenebilen veya gözlemlenebilen kriterler olacaktırlar. Modelde kullanılacak kriter grupları, alt kriterler ve bu kriterlerin birbirleri ile ilişkileri belirlendikten sonra bu kriterlerin ölçülme yöntemleri tespit edilecektir. Kriterle ilgili literatürde bulunan sayısal parametre değerlerinin bulanıklaştırılmasının yanı sıra özellikle literatürde hakkında bilgiye rastlanmayan kalitatif veya kantitatif kriterlerin ölçülmesine çalışılmış ve ilgili Bulanık Mantık yöntemleri kullanılarak üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Tüm bu kriterlerin üyelik fonksiyonlarının tespiti ile sayısallaştırılmalarının sağlanması, odaklanılan ana kategoriyle ilgili ergonomik risklerin (çalışan üzerinde oluşan yüklenme ve zorlanma) ortaya konulabilmesi açısından önemlidir.

Daha önce de belirtildiği gibi geliştirilen modellerin temelini Bulanık Çıkarım Yöntemi tabanlı uzman sistem yaklaşımı oluşturmaktadır; bu da öncelikle kriter ve ilgili kriter gruplarının belirlenerek kriterlerin birbirleri ile hiyerarşik ilişkilerinin ortaya konulmasını gerektirmektedir. Sonraki kısımlarda modeli teşkil eden kriter grupları, bu grupları oluşturan faktörler ve aralarındaki hiyerarşik ilişkiler üzerinde durulacaktır. Modeli oluşturan üç ana kriter grubu ve toplam 366 kriterin dağılımı

Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Her kriter, bağlı olduğu kriter grubunun “ana kriter kodu” ve ardından gelen hiyerarşik yapıdaki sırasına ve düzeyine göre belirlenmiş sayılardan oluşan alfa-nümerik bir kodla tanımlanmış olup, tez çerçevesinde bu kodlarla ifade edileceklerdir.

Çizelge 4.1 : Ana kriter grupları ve sahip oldukları alt kriter sayıları.

Ana Kriter	Açıklama	Alt Kriter Sayısı
FK	Fizyolojik Yüklenme	274
CK	Çevresel Yüklenme	43
MY	Mental Yüklenme	49

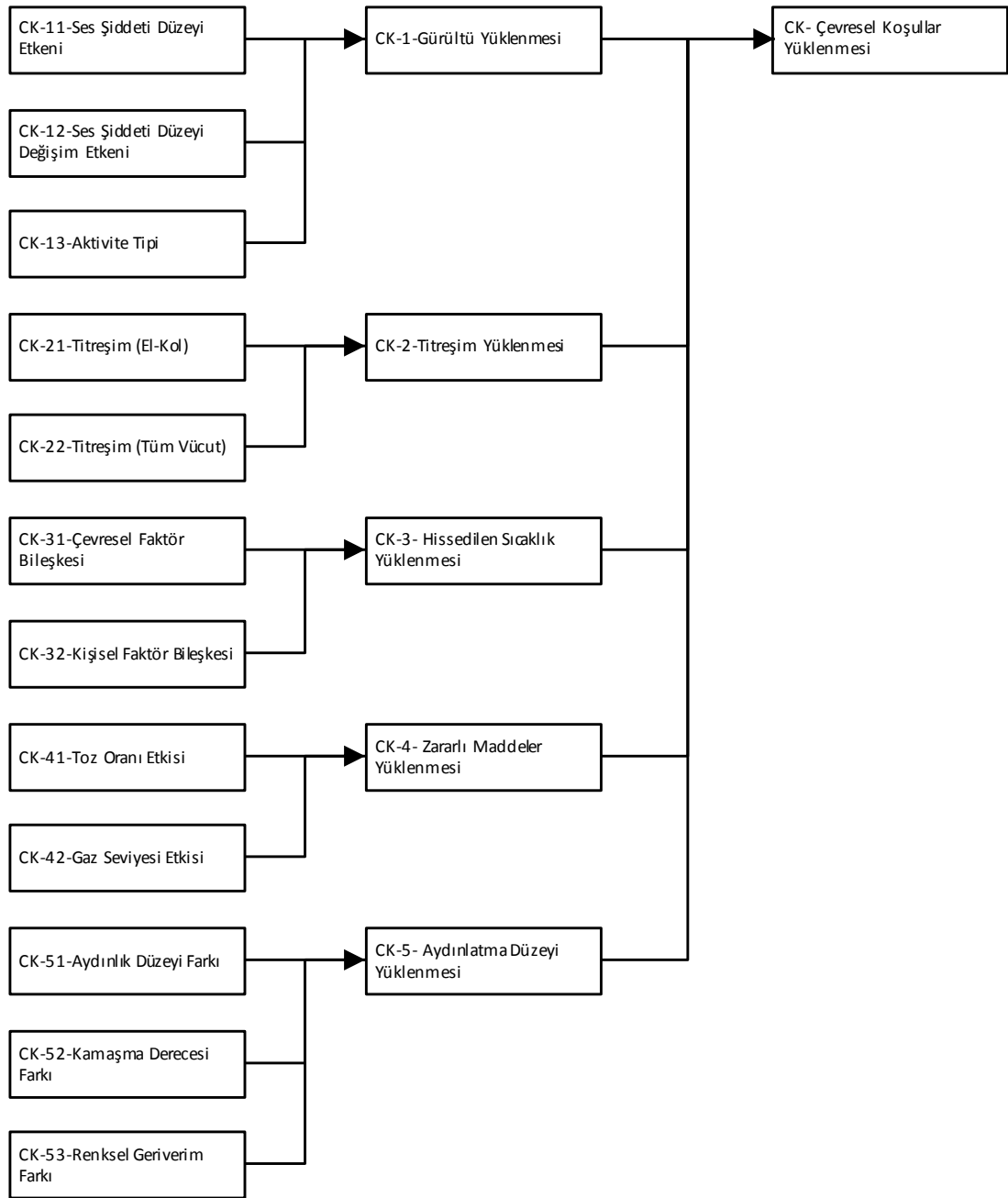
4.2.1.1 Çevresel yüklenme modeli kriter hiyerarşisi yapısı

Ergonomi, insan karakteristiklerinin sistem tasarımına uyarlanması olarak da tanımlanabilir. Bu bağlamda insan-makina sisteminin temel ögesi olan çalışanın içerisinde bulunduğu çevresel faktörlerle ne şekilde fizyolojik etkileşimde bulunduğu da ergonomik bakış açısı çerçevesinde incelenmesi gereken bir husustur [81]. Literatürdeki kaynaklar ve standartlar incelendiğinde çevresel koşulların yarattığı yüklenmelerin 5 alt faktör grubunda (Gürültü, Titreşim, Hissedilen Sıcaklık, Zararlı Maddeler ve Aydınlatma yüklenmeleri) ele alınması gerektiği görülmektedir. Çalışan üzerinde oluşan çevresel yüklenme bu 5 faktör grubunun bileşke yüklenmesidir. Tüm bu alt faktörlerle ilgili uluslararası uzman grupları detaylı dokümantasyon ve çalışmalar yapmakta, ancak bunlar genelde insan odaklılıktan ziyade, üretim süreci veya ürün odaklı olmaktadır. Çevresel faktörlerin Ergonomi perspektifinde çalışan üzerindeki bütünsel etkileri üzerine çalışmalar halen olması gerektiği kadar yaygın değildir. Özellikle ilki 1984 yılında Bristol’da gerçekleştirilen “International Society for Environmental Ergonomics” grubu toplantısından sonra bu konuda çalışmalar yaygınlaşmış, çevresel faktörlerin çalışan sağlığı ve performansı üzerindeki fizyolojik etkileri ile ilgili çok sayıda model geliştirilmiştir [81]. Özellikle ISO (International Standards Organisation) ve CEN (European Standards Organisation) kurumlarının çevresel ergonomik faktörler üzerine yaptıkları çalışmalar, uygulamaya dayalı bilimsel çalışmalar açısından önemli literatür kaynaklarını teşkil etmektedirler. “ISO/TC159 SC5” çalışma grubu, çevresel ergonomik faktörlerle ilgili uluslararası standartları üretmekle görevlendirilmiş bir teknik komitedir. Bu komitenin sıcaklık, aydınlatma ve gürültülü ortamlarda sinyal ve iletişim konularına odaklanmış alt çalışma grupları da bulunmaktadır [82].

Kriter grubu olarak “Çevresel Yüklenme (CK)” kapsamında, tez çerçevesinde toplam 43 çevresel ergonomi kriteri ele alınmak üzere seçilmiştir. Bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişki yapısı 4 kademeye kadar dallanabilmektedir. “Çevresel Yüklenme (CK)” modelini oluşturan 0-2 hiyerarşik düzeyler arasındaki kriterlerin listesi (Çizelge 4.2) ve bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişki yapısı (Şekil 4.3) aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Çevresel Yüklenme ana kriter grubu ve alt kriterleri (0-2 hiyerarşik düzeyler arasında).

Kriter Kodu	Düzyey	Açıklama	Kriter Kodu	Düzyey	Açıklama
CK	0	Çevresel Yüklenme	CK-4	1	Zararlı Maddeler
CK-1	1	Gürültü Yüklenmesi	CK-41	2	Toz Oranı
CK-11	2	Gürültü Düzeyi Faktörü	CK-42	2	Gaz Seviyesi
CK-12	2	Ses Şiddeti Düzeyi Değişim Etkeni	CK-43	2	Buhar Oranı
CK-13	2	Aktivite Tipi	CK-5	1	Aydınlatma
CK-2	1	Titreşim Yüklenmesi	CK-51	2	Aydınlık Düzeyi Farkı (E)
CK-21	2	Titreşim (El-Kol)	CK-52	2	Kamaşma Derecesi Farkı (UGR)
CK-22	2	Titreşim (Tüm Vücut)	CK-53	2	Renksel Geriverim Farkı (Ra)
CK-3	1	Hissedilen Sıcaklık			
CK-31	2	Çevresel Faktör Bileşkesi			
CK-32	2	Kişisel Faktör Bileşkesi			



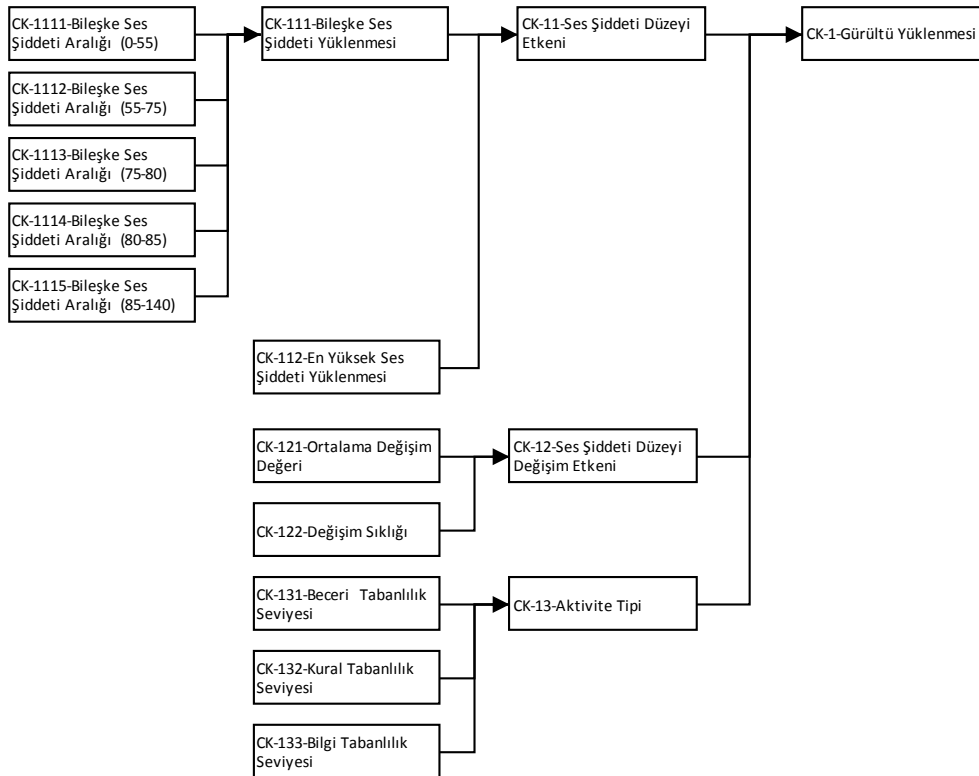
Şekil 4.3 : Çevresel Yüklleme ana kriter grubu ve alt kriterlerinin 0-2 hiyerarşik düzeyler arasında gösterimi.

Gürültü yüklmesi modeli

Gürültü Yüklmesi kriter grubunun Bulanık Çıkarım Modeli'ni oluşturan kriterlerinin listesi (Çizelge 4.3) ve bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişki yapısı (Şekil 4.4) aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : “Gürültü Yüklenmesi (CK-1)” ve alt kriterleri.

Kriter Kodu	Düzyey	Açıklama
CK-1	1	Gürültü Yüklenmesi
CK-11	2	Gürültü Düzeyi Faktörü
CK-111	3	Bileşke Gürültü Düzeyi (A tipi filtre)
CK-1111	4	Bileşke Ses Şiddeti Aralığı (0-55 dB)
CK-1112	4	Bileşke Ses Şiddeti Aralığı (55-75 dB)
CK-1113	4	Bileşke Ses Şiddeti Aralığı (75-80 dB)
CK-1114	4	Bileşke Ses Şiddeti Aralığı (80-85 dB)
CK-1115	4	Bileşke Ses Şiddeti Aralığı (85-140 dB)
CK-112	3	En Yüksek Gürültü Düzeyi (C tipi filtre)
CK-12	2	Ses Şiddeti Düzeyi Değişim Etkeni
CK-121	3	Ortalama Ses Şiddeti Değişim Değeri
CK-122	3	Ses Şiddeti Değişim Sıklığı
CK-13	2	Aktivite Tipi
CK-131	3	Beceri Tabanlılık Seviyesi
CK-132	3	Kural Tabanlılık Seviyesi
CK-133	3	Bilgi Tabanlılık Seviyesi



Şekil 4.4 : “Gürültü Yüklenmesi (CK-1)” ve alt kriterlerinin hiyerarşik gösterimi

Gerek modeli oluşturan kriterlerin belirlenmesi, gerekse bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişkilerin oluşturulması ve üyelik fonksiyonlarına temel teşkil eden

parametrik verilerin tespitinde kullanılan standartlar ekli çizelgede (Çizelge 4.4) yer almaktadır.

Çizelge 4.4 : “Gürültü Yüklenmesi (CK-1)” ile ilgili incelenen standartlar.

Standart Kodu	Standart Tanımı
ISO 11690-1	Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery (noise control strategy, noise control measurements, sound propagation and noise prediction in workrooms)
ISO 11690-2	
ISO 11690-3	
ISO 3740	Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources
ISO 9612	Acoustics - Determination of occupational noise behaviour
TRLV Lärm (Allgemeines, 1-3)	Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung
LSA 01-400	Lärmschutz Arbeitsblatt; Ermittlung des Lärmexpositionspegels am Arbeitsplatz, Institut für Arbeitsschutz (Deutschland)
IEC 60804	Integrating-averaging sound level meters.

Çeşitli kaynaklarda gürültü yüklenmesine etkiyen faktörler oldukça detaylı olarak incelenmiştir. Özellikle ilgili standartlar temel alındığında, gürültü düzeyi ve maruz kalınan süre iki temel faktör olarak ortaya çıkmaktadır [83]. IEC 60804 (yerine 2000 yılından beri IEC 61672 kullanılmaktadır) standardında da belirtildiği üzere kulağın maruz kaldığı sınır enerji değeri aynı olacak şekilde, her 3 dB’lik artışın, izin verilecek maruziyet süresi limitini yarıya düşürdüğü görülmekte; bu da gürültü düzeyi ve maruziyet süresi arasındaki ilişkinin önemini vurgulamaktadır [84,85].

Gürültü düzeyi kavramının da oldukça farklı şekillerde tanımlandığı görülür ki; en sık kullanılan gürültü düzeyleri A tipi ve C tipi olarak tanımlanmışlardır. A tipi ağırlık eğrisi insan kulağının frekansa bağlı duyarlılığını en iyi yansıtan gürültü düzeyi tipidir. C tipi ise genelde darbe gibi ani oluşan ve süreklilik arz etmeyen gürültü düzeylerinin ölçülmesinde kullanılır. ISO 9612 standardına göre ölçüm stratejisi belirlendikten sonra belli bir zaman aralığı için eşdeğer gürültü düzeyi (belli bir süre için L_{p,A,eqT_e} ; 8 saat mesai süresi için $L_{EX,8h}$) ve ani gürültü çerçevesinde en yüksek ses düzeyi ($L_{p,C,peak}$) parametrelerinin ölçülmesi önerilmektedir [86]. Standartta uygun olarak bu iki temel gürültü düzeyi parametresi gürültü modeline kriter olarak eklenmiştir. $L_{EX,8h}$ ölçümü için gerekli donanım olmadığı için takt süresi içerisinde gerçekleştirilen iş adımları süresince ölçümler alınmış, iş adımlarına ait gürültü düzeyi değerlerinin, iş adımlarının toplam takt süresindeki payına göre

eşdeğer gürültü düzeyine etkisini belirleyen bir modelleme stratejisi benimsenmiştir. “Bileşke Gürültü Düzeyi Kriteri - A tipi filtre (CK-111)” altında yer alan alt kriterler çalışma zamanının yüzdesel oran olarak ne kadarının hangi bileşke ses aralığında veya aralıklarında geçirildiği bilgilerini modele yansıtmaktadırlar.

Bu aralıkların belirlenmesi ile ilgili ülkeden ülkeye değişen çok sayıda farklı uygulama ve yaklaşım mevcut olup; ISO 11690-1 standardında A tipi bileşke gürültü düzeyinin endüstriyel işlerde 75-85 dB(A), büro işlerinde 45-55 dB(A), konsantrasyon gereken işlerin görüldüğü yerlerde de 45 dB(A) değerini aşmaması önerilmektedir. Literatürde çeşitli kaynaklarda 80-85 db(A) aralığının üstündeki gürültü maruziyetinin uzun vadede işitme kaybı riskini artırdığı belirtilmektedir [87]. Alman TRLV standardına göre günlük maruziyet aralığı A tipi bileşke gürültü için 80-85 dB(A), C tipi ani gürültü maruziyeti için 135-137 dB(C) aralığında koruyucu donanımın çalışanların isteğine bağlı kullanım için hazır bulundurulması, işverenin çalışanları gürültü ve zararları konusunda eğitime, bilgilendirme ve işitme kaybını önlemeye yönelik iş hekimliği uygulamaları yapma yükümlülükleri öngörülmektedir [88].

Modelde yer verilen diğer bir faktör de “Ses Şiddeti Düzeyi Değişim Etkeni (CK-12)”dir. Bu faktör “Ortalama Ses Şiddeti Değişim Değeri (CK-121)” ve “Ses Şiddeti Değişim Sıklığı (CK-122)” faktörlerine bağlı olarak belirlenmektedir. Ses şiddeti düzeyindeki değişimin belli bir değeri aştığında insanda yarattığı tepki ve rahatsızlıklara ilişkin literatürde rastlanan çalışmalar, bu faktörlerin modele dahil edilmesine dayanak teşkil etmektedir [89].

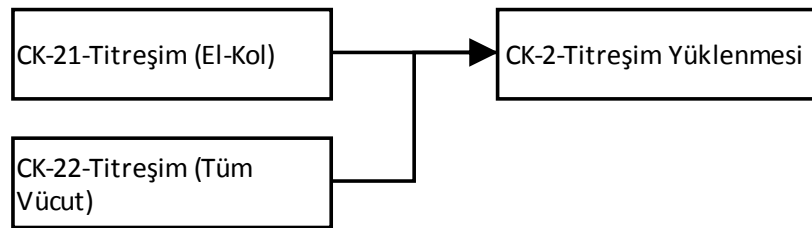
ISO 11690-1 standardında ve diğer birçok kaynakta bilişsel ağırlıklı ve dikkat gerektiren işlerde daha düşük gürültü seviyelerinin olması gerektiği vurgulanmaktadır. “Aktivite Tipi (CK-13)” kavramı yapılan işlerin bilişsel ağırlığını ortaya koyan bir kriterdir. Rasmussen’in Bilgi İşleme Modeli’ne göre yapılan her iş, belli oranlarda beceri, kural ve bilgi tabanlı olmakta ve belli düzeylerde bilişsel (mental) yüklenmeye sebep olmaktadır [90]. Dolayısıyla aktivite tipi yüksek düzeyde bilişsel yüklenme içeriyorsa, gürültünün çalışan üzerinde yarattığı yüklenmenin de nispeten daha yüksek olması beklenmelidir.

Titreşim yüklenmesi modeli

Çizelge 4.5 : “Titreşim Yüklenmesi (CK-2)” ve alt kriterleri.

Kriter Kodu	Düzy	Açıklama
CK-2	1	Titreşim Yüklenmesi
CK-21	2	Titreşim (El-Kol)
CK-22	2	Titreşim (Tüm Vücut)

Titreşim Yüklenmesi kriter grubunun Bulanık Çıkarım Modeli’ni oluşturan kriterlerinin listesi (Çizelge 4.5) ve bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişki yapısı (Şekil 4.5) aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : “Titreşim Yüklenmesi (CK-2)” ve alt kriterlerinin hiyerarşik gösterimi.

Modeli oluşturan kriterlerin belirlenmesi, bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişkilerin oluşturulması ve üyelik fonksiyonlarına temel teşkil eden parametrik verilerin tespitinde kullanılan standartlar ekli tabloda (Çizelge 4.6) listelenmiştir.

Çizelge 4.6 : “Titreşim Yüklenmesi (CK-2)” kriter grubu ile ilgili standartlar.

Standart Kodu	Standart Tanımı
ISO 5349-1	Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements
ISO 2631-1	Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements
EG/44/2002	Physical Agents Vibration Directive of European Union
TRLV Vibration (Allgemeines, 1-3)	Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung

Düşük veya yüksek frekans düzeylerinde uzun süreli titreşim maruziyetinin çalışan sağlığı, performansı ve konforu üzerindeki olumsuz etkileri üzerine literatürde çok sayıda araştırmaya rastlanmaktadır. Üretim sürecinde karşılaşılan titreşimler, araç, tezgah veya el aleti kullanımına bağlı olarak genelde eller, kollar ve vücutta meydana gelen titreşim maruziyeti olarak sınıflandırılmaktadır. Titreşimden kaynaklanan yüklenmeyi etkileyen faktörler, titreşimin frekansı (Hz), şiddeti (m/s^2), maruziyet

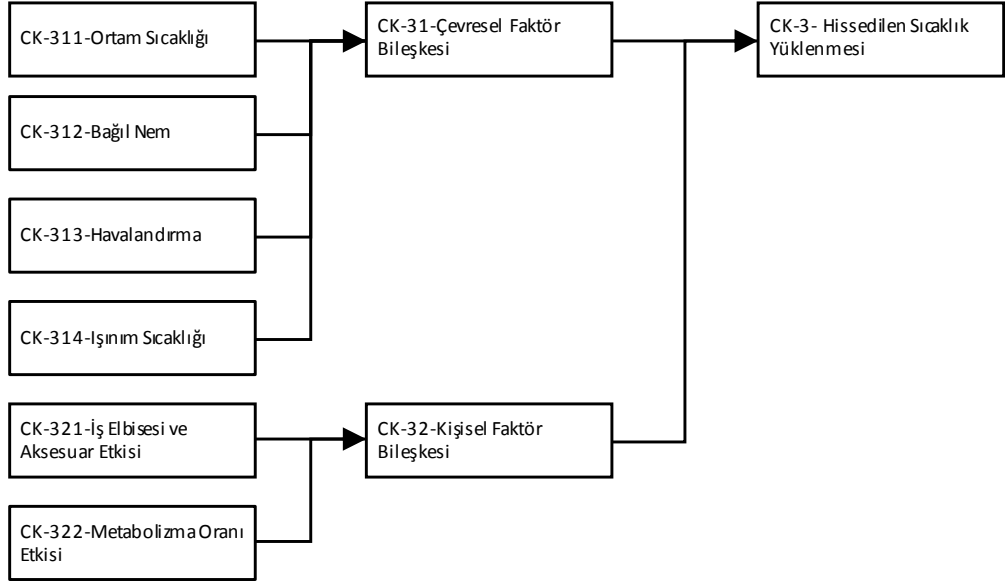
süresi ve yönü olarak özetlenebilir [91-93]. Titreşim yüklenmesi, tüm yönlerde oluşan titreşim şiddetlerinin 8 saatlik vardiya süresine göre hesaplanan günlük bileşke maruziyetidir. Alman İş Sağlığı ve Güvenliği mevzuatına göre (LärmVibrations-ArbSchV) tüm vücut titreşim maruziyeti yatay ekseninde $0,5-1,15 \text{ m/s}^2$, dikey ekseninde $0,5-0,8 \text{ m/s}^2$, el-kol titreşim maruziyeti $2,5-5,0 \text{ m/s}^2$ arasında ise işletmeler, teknik ve organizasyonel önlemlerin alınması, çalışanların titreşim yüklenmesinin oluşumu, etkileri ve olası risklerden korunma hakkında bilgilendirilmeleri, çalışanlar üzerinde oluşabilecek risklerin önlenmesine yönelik sağlık kontrolleri yapılması yükümlülükleri altına girerler [94]. Bu bilgiler ışığında tez kapsamında geliştirilen modelde Titreşim Yüklenmesi için kriterler “Titreşim (El-Kol) - (CK-21)” ve “ Titreşim (Tüm Vücut) - (CK-22)” olarak belirlenmiştir.

Hissedilen sıcaklık yüklenmesi modeli

Hissedilen Sıcaklık veya Isıl Konfor Yüklenmesi kriter grubunun Bulanık Çıkarım Modeli’ni oluşturan kriterlerinin listesi (Çizelge 4.7) ve bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişki yapısı (Şekil 4.6) aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 : “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ve alt kriterleri

Kriter Kodu	Düzey	Açıklama
CK-3	1	Hissedilen Sıcaklık
CK-31	2	Çevresel Faktör Bileşkesi
CK-311	3	Ortam Sıcaklığı
CK-312	3	Bağıl Nem
CK-313	3	Işınım Sıcaklığı
CK-314	3	Havalandırma
CK-32	2	Kişisel Faktör Bileşkesi
CK-321	3	İş Elbisesi ve Aksesuar Etkisi
CK-322	3	Metabolizma Oranı Etkisi



Şekil 4.6 : “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ve alt kriterlerinin hiyerarşik gösterimi.

İnsanın sıcaklığı algılaması, vücudunun ısı dengesiyle doğrudan ilişkili bir olgudur. Bu denge, giysi ve fiziksel aktivite gibi kişisel etmenler ile hava sıcaklığı, nem, havanın hızı ve ısıtım sıcaklığı gibi çevresel etmenlere bağlıdır [95, 96]. Hissedilen sıcaklık, yani ısı konfor, çevreden duyulan ısıl memnuniyet şeklinde tanımlanmakla birlikte, his ve duygular ile de ilgili bir kavramdır. İşyerindeki klima şartları iş görenlerin sağlık ve performans durumlarını etkileyen önemli ergonomik faktörlerdendir. Uygun olmayan klima şartlarının yol açtığı olumsuz etkiler dikkatte azalma, iş tatmininde azalma, reaksiyon hızında azalma, iş performansında azalma, motivasyon düşüşü, iş kazası sayısında artış, devamsızlık artışı olarak sıralanabilir [97].

Termal çevresel koşulların insan üzerindeki etkilerini ölçümlemeye yönelik bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler deneysel, ölçüme dayalı ve analitik olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılabilirler. Deneysel yöntemlerde, yapılan deneylerle denek gruplarının farklı koşul kombinasyonlarına verdikleri tepkiler kaydedilir ve gerçek koşulların değerlendirilmesinde referans olarak kullanılır. Ölçüme dayalı veya çıkarımsal yöntemlerde, insanın çevresel şartları algılamasını simüle eden yapay cihazlar veya algılayıcılar kullanılır, “WGT-Wet Globe Temperature” yönteminde olduğu gibi bunların termal koşullarda gösterdiği değerlerin insan tarafından da gösterileceği kabul edilir. Analitik yöntemlerde ise, Anlık Isı Enerjisi Dengesi modeli örneğinde olduğu gibi insanın ısı dengesine etki eden tüm termal faktörlerin birbirleri ile etkileşimi matematiksel olarak modellenir ve çıkarımlar bu modellere

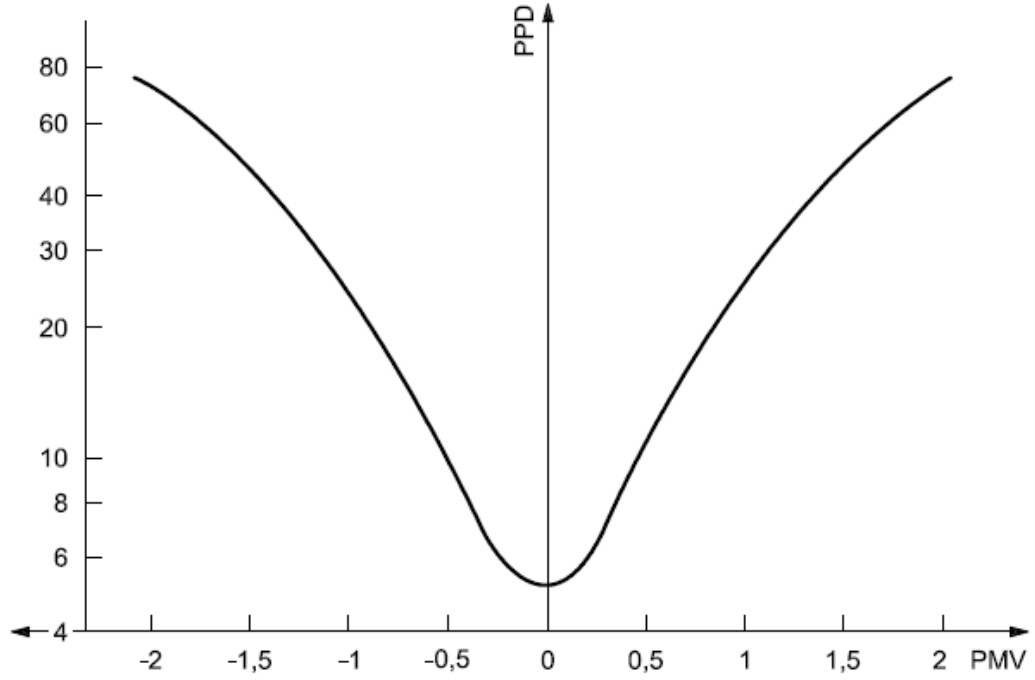
göre yapılır [81]. Modeli oluşturan kriterlerin belirlenmesi, bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişkilerin oluşturulması, üyelik fonksiyonlarına temel teşkil eden parametrik verilerin tespitinde kullanılan standartlardan bazıları ekli çizelgede (Çizelge 4.8) yer almaktadır.

Çizelge 4.8 : “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” kriter grubu ile ilgili standartlar.

Standart Kodu	Standart Tanımı
ASHRAE 55P	Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
ISO 7730	Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria
ISO 7933	Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain
ISO 8996	Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate
ISO 9886	Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements
ISO 10551	Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales
ISO 11399	Ergonomics of the thermal environment - Principles and application of relevant International Standards
ISO 7243	Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)
ISO 7726	Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities
DIN 33403-3	Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße
DIN 33403-5	Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen

ISO 7730 standardının da baz aldığı Fanger Isıl Konfor Modeli, günümüzde kullanılan en gelişmiş analitik ısı konfor modeli olarak tanımlanmaktadır. Fanger tarafından geliştirilen PMV (Predicted Mean Vote / Tahmin Edilen Ortalama Isıl Duyum) yöntemi ile bir grup insanın ortalama bireysel ısı duyarlılıkları ölçülerek 7’li bir skalada ifade edilebilmektedir (-3:çok soğuk; -2:soğuk; -1:serin; 0:normal; +1:ılık; +2:sıcak; +3:çok sıcak). Şekil 4.7’de de görüleceği üzere Fanger tarafından geliştirilen PDD (Predicted Percentage Dissatisfied / Tahmin Edilen Memnuniyetsizlik Oranı) oranı yöntemi ile belli ısı şartlarından memnun olmayanların

yüzdesel oranı PMV parametresinin bir fonksiyonu olarak hesaplanabilmektedir [95, 98].

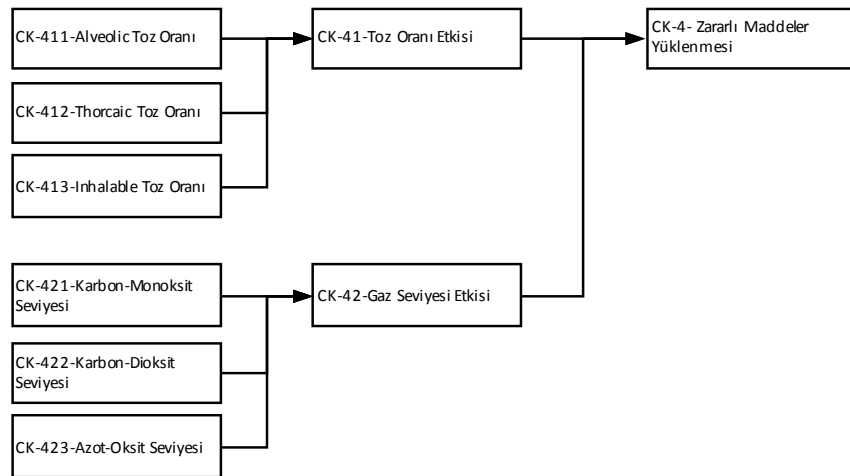


Şekil 4.7 : PMV-PPD arasındaki ilişki (ISO 7730).

Tez kapsamında “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” kriter grubu ve bağlı alt kriterler Fanger Isıl Konfor Modeli faktörleri baz alınarak belirlenmiştir.

Zararlı maddeler yüklenmesi modeli

Zararlı Maddeler Yüklenmesi kriter grubunun Bulanık Çıkarım Modeli’ni oluşturan kriterlerinin listesi (Çizelge 4.9) ve bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişki yapısı (Şekil 4.8) aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : “Zararlı Maddeler (CK-4)” ve alt kriterlerinin hiyerarşik gösterimi

Çizelge 4.9 : “Zararlı Maddeler (CK-4)” ve alt kriterleri.

Kriter Kodu	Düzey	Açıklama
CK-4	1	Zararlı Maddeler
CK-41	2	Toz Oranı
CK-411	3	Toz Oranı (alveolic/respirable)
CK-412	3	Toz Oranı (thoracic)
CK-413	3	Toz Oranı (inhalable)
CK-42	2	Gaz Seviyesi
CK-421	3	Karbonmonoksit Seviyesi
CK-422	3	Karbondioksit Seviyesi
CK-423	3	Azot-Oksit Seviyesi
CK-43	2	Buhar Oranı

Modeli oluşturan kriterlerin belirlenmesi, bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişkilerin oluşturulması ve üyelik fonksiyonlarına temel teşkil eden parametrik verilerin tespitinde kullanılan standartlar ekli tabloda (Çizelge 4.10) listelenmiştir.

Çizelge 4.10 : “Zararlı Maddeler (CK-4)” kriter grubu ile ilgili standartlar.

Standart Kodu	Standart Tanımı
ISO 7708	Air quality - particle size fraction definitions for health-related sampling
DIN EN 481	Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles
TRGS 900	Technical Regulations for Hazardous Substances (Technische Regel für Gefahrstoffe)

Özellikle otomotiv endüstrisindeki çalışma ortamlarında zararlı maddeler denildiğinde toz ve gaz formundaki kirlетici maddeler akla gelmektedir. Toz, üretim süreci esnasında veya sonucunda havaya karışan katı parçacıklar olarak tanımlanabilir. Tozun taşıdığı zarar riski, kimyasal yapısı, kütlesi ve boyutuna bağlıdır. Literatür incelendiğinde tozların sınıflandırılmasının genel olarak parçacık boyutuna ve solunan tozun vücuda alındığı organa göre yapılmaktadır. Solunum esnasında havada bulunan 100 mikron ve daha küçük çaplı parçacık oranlı toz şeklinde maddelerin, Avrupa Birliği ülkelerinin çoğunda İş Sağlığı ve Güvenliği mevzuatlarına göre ölçümlenerek takip edilmeleri söz konusudur. Bronşiyal toz, 10 mikron ve daha küçük çaplı parçacık ihtiva etmektedir, burun ve boğazdan geçerek akciğer bronşlarına ulaşabilen bir toz türüdür. Alveoler toz, 5 mikron ve daha küçük çaplı parçacık içermektedir ve bu türde tozlar alveollere kadar ulaşabilirler. Parçacık çapı ile ilgili sınır değerler çeşitli kaynaklarda farklı olmakla birlikte tozun

sınıflandırılması ayrışma bölgelerine göre (burun ve geniz, bronşlar, alveoller) olmaktadır [99-101]. Dolayısıyla oluşturulan yüklenme modelinde de “Toz Oranı Etkisi (CK-41)” kriterini etkileyen ve solunan havadaki toz miktarını mg/m^3 cinsinden ifade eden alt kriterler, vücutta ayrıştıkları bölgeye göre belirlenmişlerdir.

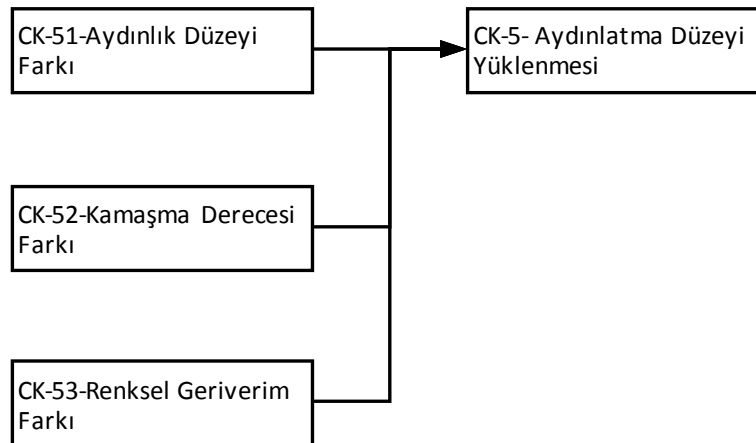
Literatürde zararlı gazlar sınıfında kabul edilen ve otomotiv sanayinde de sık karşılaşılan, tez çalışmasının uygulama kısmının yapıldığı tesislerde de emisyon ölçümleri takip edilen zararlı maddelerden olan Karbondioksit, Karbonmonoksit ve Azot-Oksit gazlarının havada bulunma oranlarının modelde alt kriter olarak tanımlanması söz konusu olmuştur [101]. Bu üç alt kriterin bileşke yüklenmesi de bir üst seviyedeki “Gaz Seviyesi Etkisi (CK-42)” kriterini etkilemektedir.

Aydınlatma yüklenmesi modeli

Aydınlatma Yüklenmesi kriter grubunun Bulanık Çıkarım Modeli’ni oluşturan kriterlerinin listesi (Çizelge 4.11) ve bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişki yapısı (Şekil 4.9) aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.11 : “Aydınlatma Yüklenmesi (CK-5)” ve alt kriterleri

Kriter Kodu	Düzyey	Açıklama
CK-5	1	Aydınlatma Yüklenmesi
CK-51	2	Aydınlık Düzeyi Farkı ($ E - E_r $)
CK-52	2	Kamaşma Derecesi Farkı ($ UGR - UGR_r $)
CK-53	2	Renksel Geriverim Farkı ($ R - R_r $)



Şekil 4.9 : “Aydınlatma Yüklenmesi (CK-5)” ve alt kriterlerinin hiyerarşik gösterimi.

Modeli oluşturan kriterlerin belirlenmesi, bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişkilerin oluşturulması ve üyelik fonksiyonlarına temel teşkil eden parametrik verilerin tespitinde kullanılan standartlar ekli çizelgede (Çizelge 4.12) yer almaktadır.

Çizelge 4.12 : “Aydınlatma Yüklenmesi (CK-5)” kriter grubu ile ilgili standartlar.

Standart Kodu	Standart Tanımı
ISO 8995	Principles of visual ergonomics - The lighting of indoor work systems
DIN EN 12464-1	Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Arbeitsstätten in Innenräumen
DIN EN 12464-2	Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Arbeitsplätze im Freien

Standartlar incelendiğinde sektör ve iş grubu bazında aydınlatma parametreleri ile ilgili aralık veya minimum değerlerin tavsiye edildiği görülmektedir. Modelde “Aydınlık Düzeyi Farkı (CK-51)” kriteri olarak belirtilen “Aydınlık Düzeyi” faktörü, bir yüzeye gelen ışık akısının yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır ve birimi lux olarak belirlenmiştir. ISO 8995 standardı incelendiğinde sürekli iş görülen alanlarda aydınlatma düzeyinin 200 lux’ten düşük olmaması belirtilmiş olup; çalışma alanının ve yapılan işin türüne göre aydınlatma parametreleri için alt sınırlar tanımlanmıştır. Metal iş sektörüne giren bir çok çalışma kapsamı bulunan otomotiv sektörü açısından ilgili standart incelendiğinde, örneğin sac ve boru parça imalatı ve alt/üst yapı işçiliklerinin 300-500 lux, dikkat gerektiren elektrik ve mekanik montaj gibi iş kapsamlarının 300-750 lux, astar ve son kat boya işçiliklerinin ise 750-1000 lux aralıklarında aydınlatma düzeyi gereksinimleri olduğu görülmektedir [102-104]. Dolayısıyla uygulama esnasında İş Sağlığı ve Güvenliği tetkik raporlarında yapılan ölçümler ile ilgili iş istasyonunda yapılan işlerin türüne göre standartta belirtilen alt sınır değeri arasındaki fark kriter olarak tanımlanmıştır; aynı yaklaşım “Kamaşma” ve “Renksel Geriverim” faktörleri için de söz konusudur.

4.2.1.2 Fizyolojik yüklenme modeli kriter hiyerarşisi yapısı

Kriter grubu olarak “Fizyolojik Yüklenme Koşulları” ele alınırsa, model çerçevesinde 274 kriter tanımlandığı görülür. Bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişki yapısı 6 kademeye kadar dallanabilmektedir. Kriter gruplarının, kriterlerin belirlenmesinde ve hiyerarşik yapının oluşturulmasında faydalanan üç temel kaynak fizyolojik yüklenmeyi ölçümlemek üzere geliştirilen yöntemler (AAWS, LMM,

LUBA, ManTRA, OCRA, OWAS, QEC, REBA, RULA, vb.), ilgili ISO, CEN ve DIN standartları, biyomekanik ve anatomi ile ilgili bilimsel yayınlardır.

Üretim sistemleri ve makinaların tasarımında ergonomik bakış açısının benimsenmesi ve bu bakış açısını yansıtan standartların oluşturulması, bu standartlara uyulması, çalışanın İSG açısından maruz kaldığı risklerin bertaraf edilerek yaşam ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi yolunda önem taşımaktadır [105]. ISO, DIN ve CEN tarafından geliştirilen standartlar, özellikle vücudun bel üstü bölgelerinde meydana gelebilecek bölgesel kas iskelet sistemi rahatsızlıkları riski oluşturan biyomekanik yüklenmeler üzerine odaklanmaktadır. DIN EN 614-1 standardında, üretim sistemlerinin tasarımı sürecinde çalışanların antropometrik özellikleri, vücut duruşları, vücut hareketleri, fiziksel güçleri ve zihinsel yetenekleri gibi faktörlerin mutlaka dikkate alınması gereği vurgulanmaktadır [106]. ISO 14738 standardı özellikle ayakta durma, oturma, çömelme gibi farklı duruş pozisyonları için çeşitli antropometrik tasarım parametrelerini belirlemektedir [107]. ISO 11226 standardı, statik çalışma ağırlıklı iş adımlarının temel vücut bölgelerindeki eklemlerin açısız konumları ve bu konumlarda kaldığı süre ile ilgili kabul edilebilir aralıkları belirlemektedir [108]. DIN 1005-4 standardında ise eklem hareket sıklığı ile ilişkilendirilmiş statik ve dinamik kassal çalışma, eklem ve vücut bölgelerinin açısız konumları çerçevesinde belirlenmiş duruş pozisyonları faktörleri, insan-makina sistemi performansı çerçevesinde ele alınmaktadır [109]. Tekrarlı ve yüksek hızlı işlerde vücut üzerinde oluşan yüklenmelerden kaynaklanan riskleri değerlendirmek üzere ISO 11228-3 standardı gerekli süreç adımlarını ve dikkate alınması gereken kriterleri tanımlamaktadır [110]. NASA'nın insan-sistem etkileşimini düzenleyen NASA-STD-3001 standardının "Antropometri ve Biyomekanik" kısmında yer alan biyomekanik parametreler de özellikle vücut bölgesi bazında ROM (Range of Motion / Eklem Açıklığı Aralığı) değer aralıklarının tespitinde geniş ve detaylı bir bilgi kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır [111]. Fizyolojik yüklenmeyi ölçümlemek üzere geliştirilecek gözlemsel ergonomik değerlendirme yöntemlerinin söz konusu standartların temel aldığı bilgi kaynaklarına dayandırılmalarının en rasyonel yaklaşım olacağı aşıkardır.

Vücut bölgesi bazlı fizyolojik yüklenmenin, maruz kalınan veya uygulanan güç/kuvvet seviyesi, tekrarlanma sıklığı ve süresi olmak üzere üç temel boyutu vardır. Bu boyutlara organizasyonel faktörler olarak dinlenme ve çalışma süreleri de

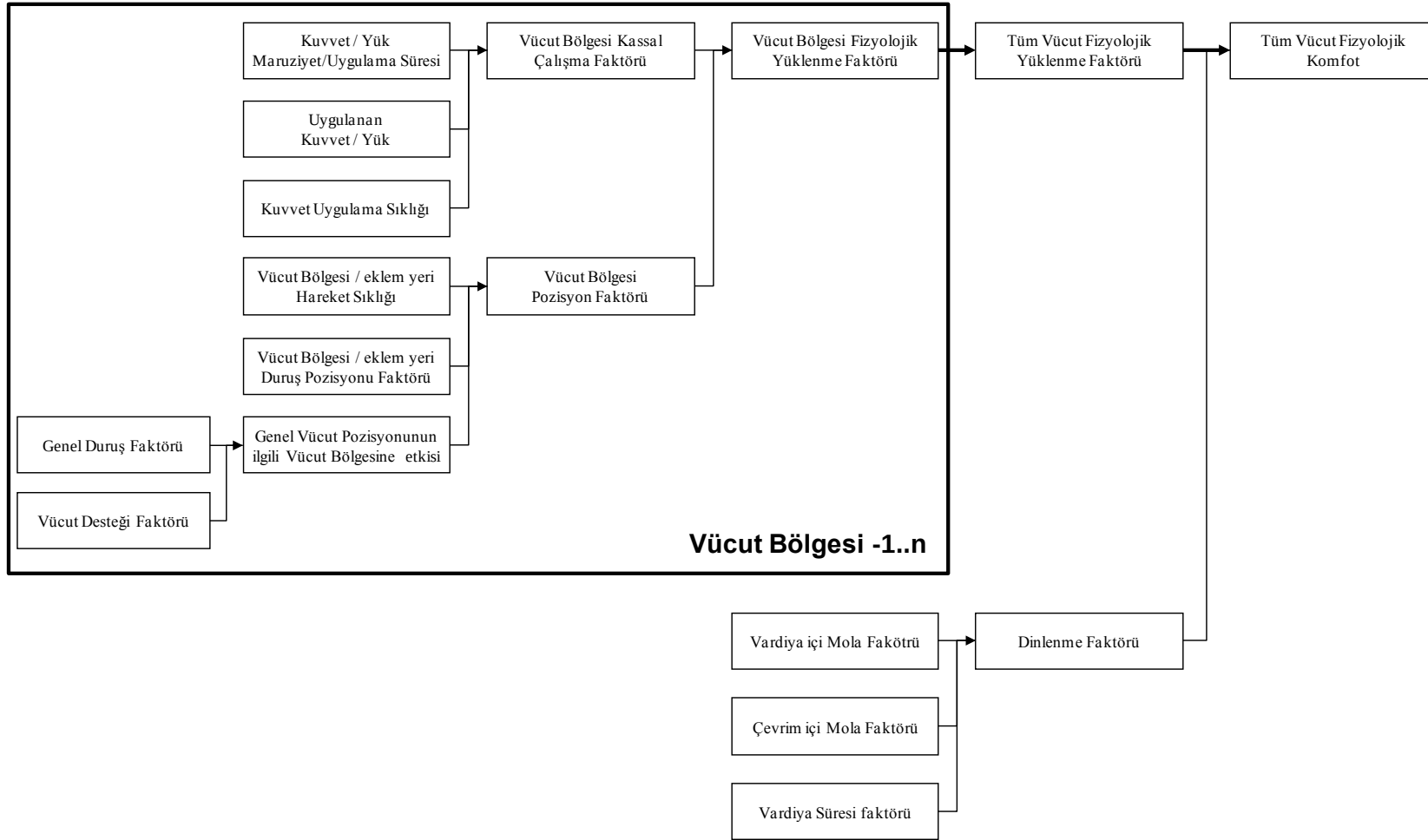
eklenebilir. Gözlemsel yöntemlerin karşılaştırılmasında bu boyutlara ilişkin en kesin ve doğru veriler özellikle eklem yerlerinin ROM sınır değerlerine göre konumu, dış kuvvetler, antropometrik veriler ve EMG (Electromyography / Elektromiyografi) ölçüm değerleri gibi parametrelerin doğrudan ve gerçek zamanlı ölçümlerinden faydalanılarak eklem yerinde oluşan iç kuvvetlerin biyomekanik hesabından elde edilir [112]. Fizyolojik yüklenmenin açıklanması ve ölçülenmesini konu alan akademik çalışmalar incelendiğinde en sık değinilen temel risk faktörlerinin tekrarlılık, mekanik hareket frekansı, güç kullanımı, vücut eklemlerinin veya bölgelerinin duruş pozisyonu ve dinlenme periyotları olarak sıralandığı görülmektedir [105,113].

Tez kapsamında geliştirilen ve vücudu dört ana kısımda (baş/boyun, gövde/bel, kollar/üst uzuvlar, bacaklar/alt uzuvlar) ele alan Fizyolojik Yüklenme modelini oluşturan kriterler (Çizelge 4.13) ve aralarındaki ilişkilerin tanımlandığı kriter hiyerarşisi, ilgili ISO ve DIN standartları ile AAWS, LMM, LUBA, ManTRA, OCRA, OWAS, QEC, REBA, RULA, vb. “Vücut Duruş ve Hareket Analizi” yöntemlerinden faydalanılarak belirlenmiştir. Bu yöntemler sayesinde vücut bölgelerinin belli pozisyonlarda duruşları, bu pozisyonlarda bekleme süreleri, eklemlerin hareket sıklığı ve uygulanan kuvvetler de dikkate alındığında maruz kaldıkları fizyolojik yüklenme düzeylerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır.

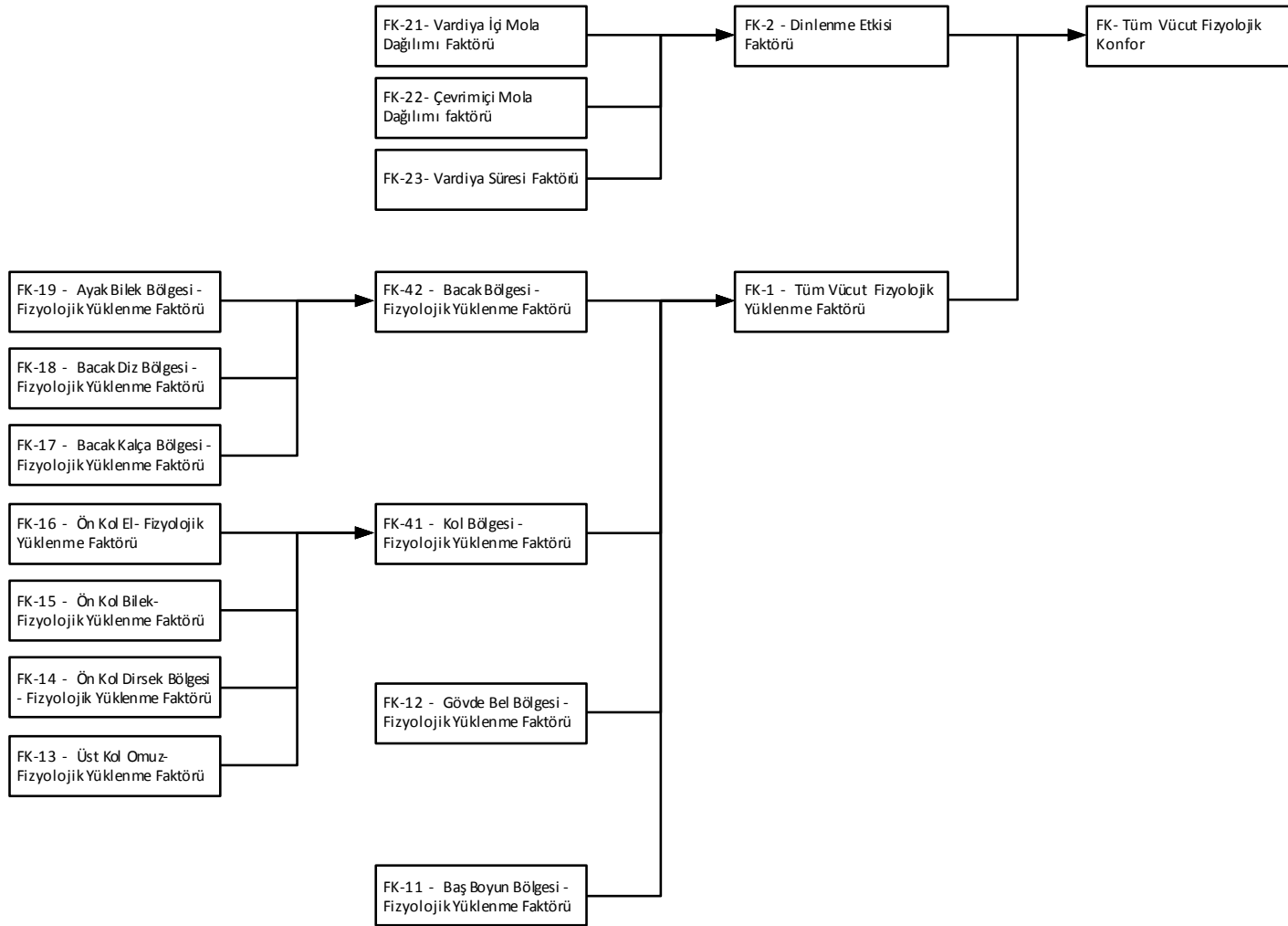
Çizelge 4.13 : Fizyolojik Yüklenme koşulları ana kriter grubu ve alt kriterleri (0-2 hiyerarşik düzeyler arasında).

Kriter Kodu	Düzy	Açıklama
FK	0	Fizyolojik Yüklenme
FK-1	1	Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü
FK-11	2	Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü
FK-12	2	Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü
FK-41	1	Kol Bölgesi Yüklenmesi
FK-13	2	Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü
FK-14	2	Ön Kol Dirsek - Fizyolojik Yüklenme Faktörü
FK-15	2	Ön Kol Bilek - Fizyolojik Yüklenme Faktörü
FK-16	2	Ön Kol El - Fizyolojik Yüklenme Faktörü
FK-42	1	Bacak Bölgesi Yüklenmesi
FK-17	2	Bacak Kalça Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü
FK-18	2	Bacak Diz Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü
FK-19	2	Ayak Bilek Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü
FK-2	1	Dinlenme Etkisi Faktörü
FK-21	2	Vardiya İçi Mola Faktörü
FK-22	2	Çevrim İçi Mola Faktörü
FK-23	2	Vardiya Süresi Faktörü
FK-3	1	Toplam İşlem Süresi

Tez kapsamında oluşturulan modelin genel çerçevesi vücut bölgelerinin oluşturduğu bileşke fizyolojik yüklenme ve dinlenme koşullarından kaynaklanan yüklenme faktörlerinin nihai etkileşimi doğrultusunda “Fizyolojik Yüklenme (FK)” düzeyinin tespit edilmesi olarak özetlenebilir. Bu etkileşim ve kriterlerin hiyerarşik konumlanması Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Fizyolojik yüklenme modeli kapsamında belirlenen vücut bölgesi bazlı fizyolojik yüklenme kriterleri hiyerarşisi de Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : Fizyolojik Yüklenme modeline ilişkin genel yaklaşım.



Şekil 4.11 : Fizyolojik Yükleme ana kriter grubu ve alt kriterlerinin 0-2 hiyerarşik düzeyler arasında gösterimi.

“Fizyolojik Yüklenme (FK)” ana kriter grubundaki “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” alt grubuna bağlı “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü” örnek alınarak alt kriterleri Çizelge 4.14’te listelenmiştir ve kriterler arasındaki hiyerarşik yapı Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14 : “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” kriter grubu.

Kriter Kodu	Düzyey	Açıklama
FK-12	2	Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü
FK-121	3	Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü
FK-1211	4	Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Süresi
FK-1212	4	Gövde Bel Bölgesi - Uygulanan Kuvvet
FK-1213	4	Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Sıklığı
FK-122	3	Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Faktörü
FK-1221	4	Gövde Bel Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı
FK-1222	4	Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü
FK-12221	5	Gövde Bel Bölgesi - Sagittal Düzlemde Konumu
FK-12222	5	Gövde Bel Bölgesi - Frontal Düzlemde Konumu
FK-12223	5	Gövde Bel Bölgesi - Medial Rotasyonu
FK-1223	4	Gövde Bel Bölgesi - Genel Vücut Pozisyonu Etkisi
FK-12231	5	Genel Duruş Faktörü
FK-122311	6	Ayak alanı teması ile dayanma yüzeyine aktarılan vücut yükü oranı
FK-122312	6	Kalça alanı teması ile dayanma yüzeyine aktarılan vücut yükü oranı
FK-122313	6	Diz alanı teması ile dayanma yüzeyine aktarılan vücut yükü oranı
FK-122314	6	El teması ile dayanma yüzeyine aktarılan vücut yükü oranı
FK-12232	5	Vücut Desteği Faktörü
FK-122321	6	Gövde alanı teması ile dayanma yüzeyine aktarılan vücut yükü oranı
FK-122322	6	Baş alanı teması ile dayanma yüzeyine aktarılan baş ağırlığı oranı
FK-122323	6	Dirsek teması ile dayanma yüzeyine aktarılan vücut yükü oranı

etkileyen faktörlerin üzerinde yeterince durulmadığı gözlemlenmiştir. Vücut bölgesi bazlı Fizyolojik Yüklenme modeli çerçevesinde, diz üstü, oturarak, yaslanarak, tek ayak üzerinde durarak veya dirsekleri bir yüzeye dayayarak çalışmak gibi çeşitli karakteristik vücut duruşlarının da modellenmesine olanak tanıyan kriterler tanımlanmıştır. “Genel Vücut Pozisyonunun ilgili Vücut Bölgesine Etkisi” kriteri ile birinci seviyeden alt kriterleri olan “Genel Duruş Faktörü” ve “Vücut Desteği Faktörü” kriterleri kullanılarak asimetrik çalışma koşullarının vücut bölgesi bazında fizyolojik yüklenmeye olumlu veya olumsuz etkilerini yansıtmak mümkün hale gelmiştir.

4.2.1.3 Mental yüklenme modeli kriter hiyerarşisi yapısı

Kriter grubu olarak “Mental Yüklenme Koşulları” ele alınırsa, model çerçevesinde 49 kriter tanımlandığı görülür. Bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişki yapısı 5 kademeye kadar dallanabilmektedir.

Mental yüklenme konsepti, özellikle otomasyon sistemlerinin imalat süreçlerinde daha fazla yer alması ve çalışanlar üzerinde oluşan bilgi işleme gereksinimi gibi etmenlerle birlikte, en az yönetsel işlerde olduğu kadar üretim iş kapsamlarında da önem kazanmış, bu bağlamda iş değerlendirme ve analizi yöntemlerinin fizyolojik yüklenme ağırlıklı bakış açısını değiştirmiştir [117]. ISO 10075-2 standardında Mental Yüklenme, kişisel, teknik, örgütsel ve sosyal etmenlerin karmaşık etkileşimi çerçevesinde çalışanda oluşan psikolojik etki olarak tanımlanmaktadır [118].

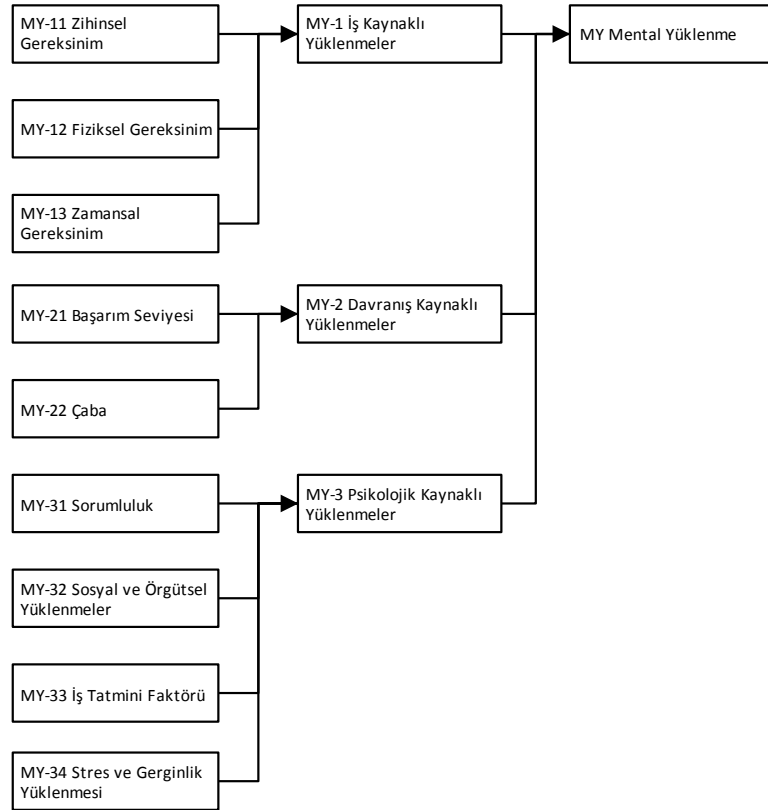
İnsan-makina sistemlerinin ergonomik performansında fiziksel işyükü kadar Mental Yüklenme kavramı da büyük önem taşımaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve bilgisayar kullanımının artması ile birlikte kassal çalışma bazlı fiziksel işlerden bilgi işleme bazlı zihinsel işlere geçiş hızlanmıştır. Bu bağlamda iş içeriği ve arayüzlerin tasarımı ve güncellenmesi ile zihinsel işyükünün optimize edilmesi, zihinsel yüklenme etkilerinin minimize edilmesi çerçevesinde zihinsel işyükünün ölçülmesi, Ergonomi bilimiyle uğraşanların ilgisini giderek artan şekilde çekmektedir [119].

Tez kapsamında Mental Yüklenme modeli geliştirilirken ISO 10075 (Ergonomic Principles to mental work load) standardından faydalanılmıştır [120]. DIN EN 614 standardı da özellikle ekipman veya tezgah tasarımı ile yapılacak işin tasarımı arasındaki ilişkiden hareketle dikkate alınması gereken mental iş yükü faktörlerine

işaret etmektedir [106]. Mental Yüklenme kriter grubunun Bulanık Çıkarım Modeli'ni oluşturan kriterlerinin listesi (Çizelge 4.15) ve bu kriterler arasındaki hiyerarşik ilişki yapısı (Şekil 4.13) aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.15 : Mental Yüklenme ana kriter grubu ve alt kriterleri (0-2 hiyerarşik düzeyler arasında)

Kriter Kodu	Düzyey	Açıklama
MY	0	Mental Yüklenme
MY-1	1	İş Kaynaklı Yüklenmeler
MY-11	2	Zihinsel Gereksinim
MY-12	2	Fiziksel Gereksinim
MY-13	2	Zamansal Gereksinim
MY-2	1	Davranış Kaynaklı Yüklenmeler
MY-21	2	Başarım Seviyesi
MY-22	2	Çaba
MY-3	1	Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler
MY-31	2	Sorumluluk
MY-32	2	Sosyal ve Örgütsel Yüklenmeler
MY-33	2	İş Tatmini Faktörü
MY-34	2	Stres ve Gerginlik Yüklenmesi



Şekil 4.13 : Mental Yüklenme ana kriter grubu ve alt kriterlerinin 0-2 hiyerarşik düzeyler arasında gösterimi.

İnsan-makina sistemlerinde, çalışanlar üzerinde oluşan mental yüklenmelerin değerlendirilmesi için geliştirilen yöntemler incelendiğinde, mental yüklenme etmenlerinin, çalışanların sübjektif değerlendirmesinin tespitine yönelik anket çalışmaları çerçevesinde ölçümlenmeye çalışıldığı gözlemlenmiştir. Literatürde özellikle öne çıkan ve tez kapsamında geliştirilen modelin oluşturulmasında da büyük ölçüde faydalanılan üç yöntem Çizelge 4.16’da listelenmiştir.

Çizelge 4.16 : Mental Yüklenme Modelinin geliştirilmesinde faydalanılan yaklaşımlar.

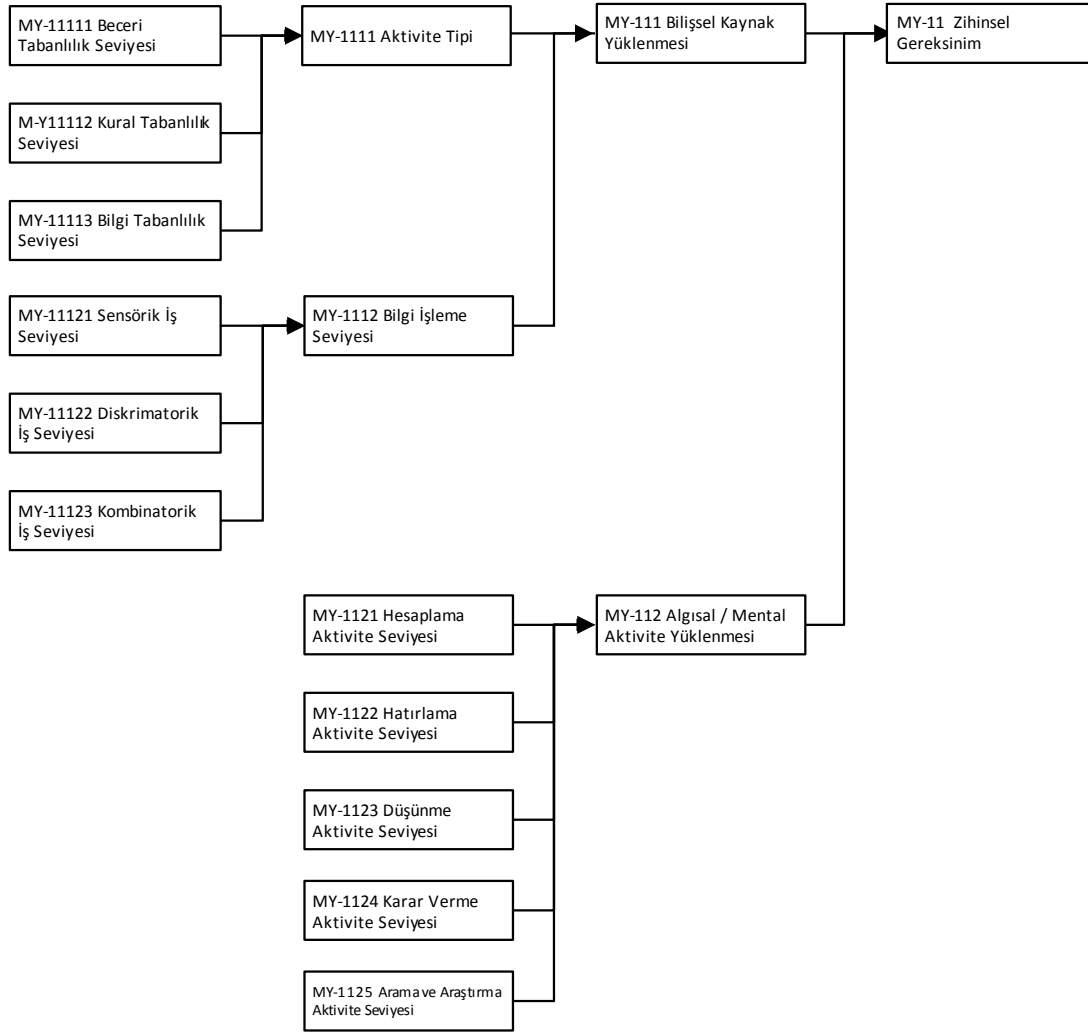
Yöntem	Amaç
NASA TLX (NASA Task Load Index)	NASA tarafından geliştirilen bu yöntem ile altı farklı etmeden (zihinsel gereksinim, fiziksel gereksinim, zaman gereksinimi, çaba, başarımlı ve stres düzeyi) hareketle bileşke zihinsel yüklenme tespit edilmektedir.
SWAT (Subjective Workload Assessment Technique)	ABD Hava Kuvvetleri Medikal Araştırma Laboratuvarı tarafından geliştirilmiş olan yöntem ile zaman baskısı, zihinsel çaba ve fizyolojik yüklenme etmenlerinin bileşkesinden hareketle mental yüklenmenin tespit edilmesi hedeflenmiştir.
WP - Workload Profile	Wickens’in Çoklu Kaynak Modeli yaklaşımından hareketle geliştirilen bu yöntemde algılama, tepki verme, harekete geçme, görsel, işitsel ve sözel bilgi işleme gibi farklı etmenler ölçümlenmesi ile mental yüklenme düzeyi tespit edilmeye çalışılır.

Mental Yüklenme modelinin temel çatısı oluşturulurken NASA TLX yöntemi yaklaşımından faydalanılmıştır. Bu bağlamda mental koşulların yarattığı yüklenmeler 3 alt faktör grubunda (İş Kaynaklı Yüklenmeler, Davranış Kaynaklı Yüklenmeler, Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler) incelenmiştir [121]. Çalışan üzerinde oluşan Mental Yüklenme bu 3 faktör grubunun bileşke yüklenmesidir. Birinci düzey hiyerarşik kademede bulunan “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” kriterine etkiyen üç kriter, ikinci düzey hiyerarşik kademede bulunan “Zihinsel Gereksinim (MY-11)”, “Fiziksel Gereksinim (MY-12)” ve “Zamansal Gereksinim (MY-13)” kriterleridir. Mental Yüklenme kavramı çerçevesinde literatürde üzerinde en çok durulan faktör olan “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriter grubuna ait alt kriter listesi (Çizelge 4.17) ve alt kriterleri arasındaki ilişkileri gösteren hiyerarşik yapı (Şekil 4.14) aşağıda yer almaktadır.

Çizelge 4.17 : “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriter grubu ve alt kriterleri (2-5 hiyerarşik düzeyler arasında).

Kriter Kodu	Düzy	Açıklama
MY-11	2	Zihinsel Gereksinim
MY-111	3	Bilişsel Kaynak Yüklenmesi
MY-1111	4	Aktivite Tipi
MY-11111	5	Beceri Tabanlılık Seviyesi
MY-11112	5	Kural Tabanlılık Seviyesi
MY-11113	5	Bilgi Tabanlılık Seviyesi
MY-1112	4	Bilgi İşleme Seviyesi
MY-11121	5	Sensörük İş Seviyesi
MY-11122	5	Diskrimatorik İş Seviyesi
MY-11123	5	Kombinatorik İş Seviyesi
MY-112	3	Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi
MY-1121	4	Hesaplama Aktivite Seviyesi
MY-1122	4	Hatırlama Aktivite Seviyesi
MY-1123	4	Düşünme Aktivite Seviyesi
MY-1124	4	Karar Verme Aktivite Seviyesi
MY-1125	4	Arama ve Araştırma Aktivite Seviyesi

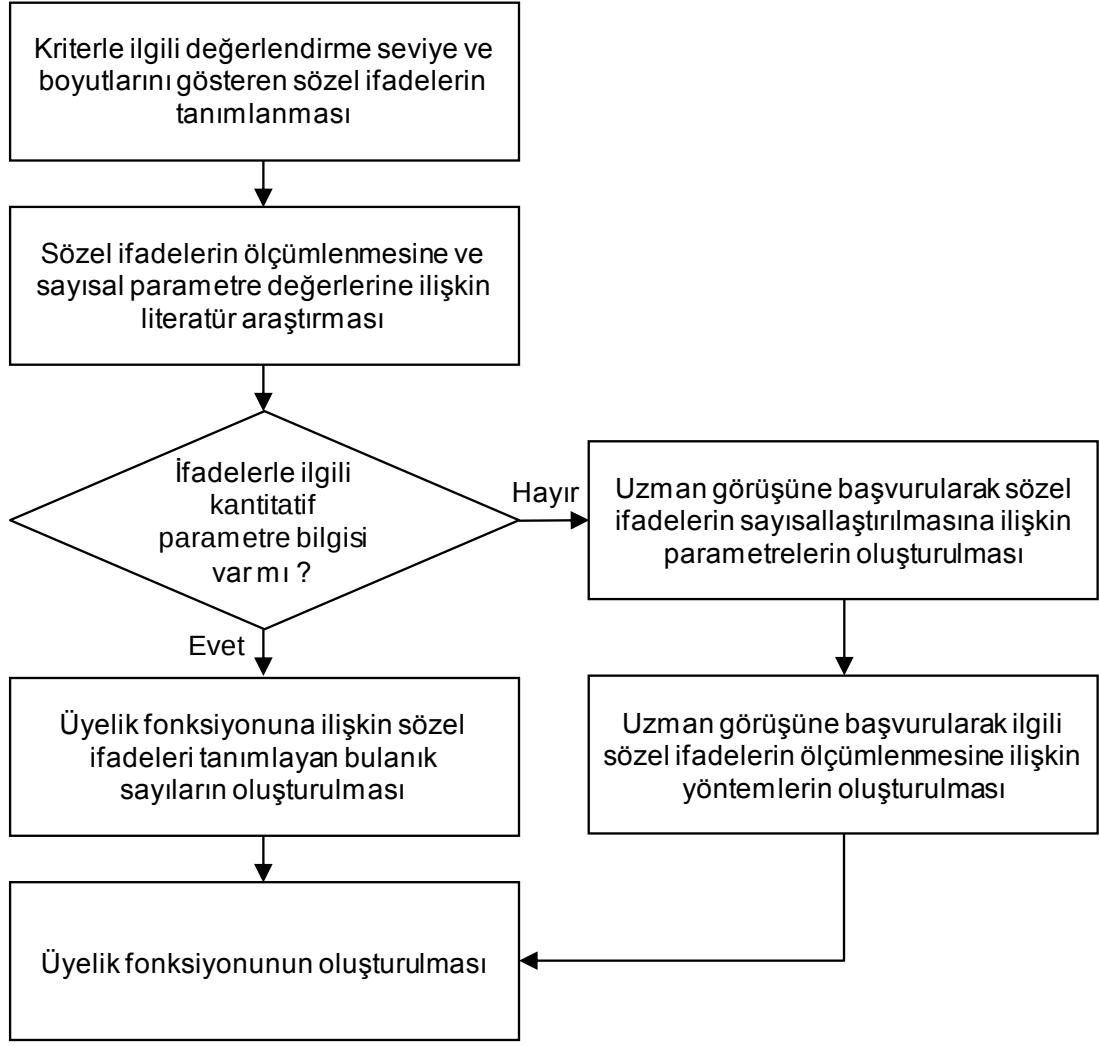
Özellikle “Algısal / Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” kriterine ait alt kriterler, NASA-TLX modelinde benimsenen zihinsel gereksinim tanımı çerçevesinde belirlenmişlerdir ve bu kriter grubu ile çalışan tarafından yapılan mental aktivitelere odaklanılmaktadır. Mental aktivitelerin gerçekleştirilmesinde kullanılan bilişsel kaynaklar ise “Bilişsel Kaynak Yüklenmesi (MY-111)” kriter grubu çerçevesinde ele alınmaktadır. “Aktivite Tipi (MY-1111)” alt kriter grubunda özellikle Rasmussen’in üç basamaklı performans yaklaşımı kullanılarak, yapılan zihinsel aktiviteler, gerektirdikleri beceri, kural ve bilgi kullanımı seviyeleri çerçevesinde sınıflandırılmaktadırlar [90]. “Bilgi İşleme Seviyesi (MY-1112)” alt kriter grubunda ise Wickens’in Çoklu Kaynak Modeli (Multiple Resource Model) yaklaşımı çerçevesinde, gerçekleştirilen zihinsel aktivitelerin, farklı karmaşıklıkta bilgilerin algılanması, işlenmesi ve kullanımı çerçevesinde sınıflandırılması hedeflenmiştir [122]. Dolayısıyla Mental Yüklenme modelinin en önemli kriter grubu olan Zihinsel Gereksinim, mental yüklenmenin analizi çerçevesinde geliştirilen üç farklı yaklaşımdan faydalanılarak modellenmiştir.



Şekil 4.14 : “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriter grubu ve alt kriterlerinin 2-5 hiyerarşik düzeyler arasında gösterimi.

4.2.2 Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

Üyelik fonksiyonlarının modelde yer alan tüm kriterler için oluşturulması yaklaşımı benimsenmiştir. Bu bağlamda kriterlerin değerlendirme boyutunu ve düzeyini ifade eden sözel nitelikte üyelik fonksiyonlarını teşkil edecek bulanık sayılar ve ilgili sayısal parametrelerin belirlenmesi, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen en önemli ve karmaşık süreç adımlarından biri olmuştur. Bulanık Çıkarım Yöntemi tabanlı uzman sistemlerin en önemli girdisi durumunda üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında benimsenen yaklaşım Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 : Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması süreci.

Literatür taramasında karşılaşılan ve aynı kriter için farklı parametre kümelerinin kullanılabileceği durumlarda da birden fazla üyelik fonksiyonun aynı kriter için tanımlanması söz konusu olmuştur. Üyelik fonksiyonları teşkil edilirken söz konusu kriterin alacağı değer düzeylerini sözel olarak tanımlayan ifade sayısı kadar üyelik fonksiyonu tanımlanacak olması da dikkate alınması gereken önemli hususlardan biridir. Ne kadar çok üyelik fonksiyonu tanımlanırsa, Mamdani Bulanık Çıkarım Yöntemi tabanlı uzman sistem modeli üzerinde o kadar büyük bir hesaplama yüküne sebep olunur. Dolayısıyla kriter değer düzeylerinin sayısının makul düzeyde tutulması sistemin etkin ve hızlı çalışması, aynı zamanda da kullanıcıların sistemi ve modeli algılaması açısından önemlidir. İlerleyen kısımlarda çevresel, fizyolojik ve Mental Yüklenme modellerinin çatısını teşkil eden kriter hiyerarşisinde yer alan ölçütlere yönelik üyelik fonksiyonlarının oluşturulması süreci, kriter hiyerarşisinde yer alan bir kriter veya kriter kümesi üzerinden gidilerek örnekleneyecektir. Türetilen

tüm üyelik fonksiyonlarının ne şekilde oluşturulduğu ve hangi kaynaklardan faydalandığı da önceki kısımlarda paylaşılmıştır.

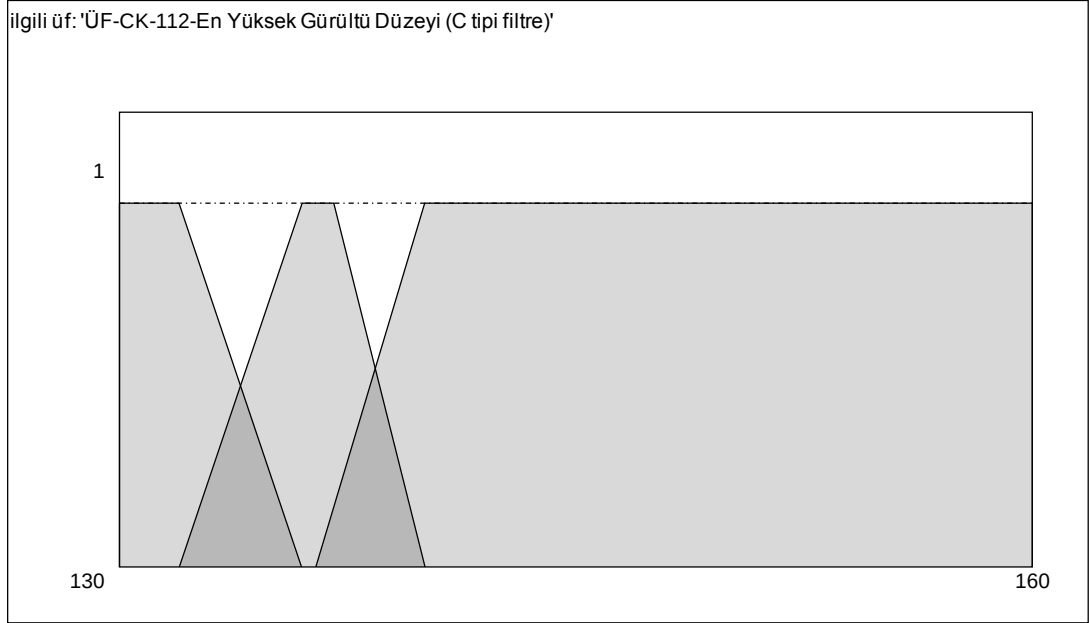
4.2.2.1 Çevresel yüklenme modeline ait üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

“Çevresel Yüklenme Koşulları” kriter grubu için oluşturulan modelde yer alan kriterler ile ilgili bilgilerin toplanmasında büyük oranda yukarıda bahsedilen çevresel ergonomik faktörlerle ilgili standartlardan faydalanılmıştır. Çevresel Yüklenme Koşulları kriter grubunu oluşturan temel çevresel ergonomik faktörlerden bazıları ve “FuzzyErgonomics” yardımı ile oluşturulan üyelik fonksiyonlarına ilişkin bazı örnekler sıralanmıştır.

Tez kapsamında ISO 9612 standardında da belirtilen A ve C tipi filtrelerin kullanıldığı günlük bileşke gürültü düzeylerinin ölçülmesi ile çalışan üzerinde oluşan gürültü yüklenmesi tespit edilmeye çalışılmıştır. A tipi filtre (A skalası) insan kulağının duyma frekansı eğrisine en yakın ölçüm ayarıdır. C tipi filtre ise tüm seslerin ölçümünde kullanılan bir skaladır. Gürültü kaynaklarının insan kulağında oluşturduğu hissedilen gürültü şiddetinin ölçümü için A tipi, (çekiç veya darbeli matkap gürültüsü gibi) ani oluşan gürültü şiddetinin ölçümünde ise C tipi filtre kullanılması gerekmektedir [86]. “En Yüksek Gürültü Düzeyi (CK-112)” kriteri için veri toplama sürecinde, sahada C tipi filtre seçili şekilde gürültü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kriterin sözel ifadeleri olan “düşük”, “normal” ve “yüksek” ifadelerine ait üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında kullanılan sınır değerler Almanya’da geçerli İSG mevzuatının gürültü konularını kapsayan TRLV standardına [88] göre belirlenmiştir (Çizelge 4.18). Söz konusu sözel ifadelere ait üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi de Şekil 4.16’da yer almaktadır.

Çizelge 4.18 : CK-112 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.

Aralık No	Tanım	Alt - Üst Limit (dB)	
1	düşük	130,00	134,00
2	normal	134,00	138,50
3	yüksek	138,50	160,00



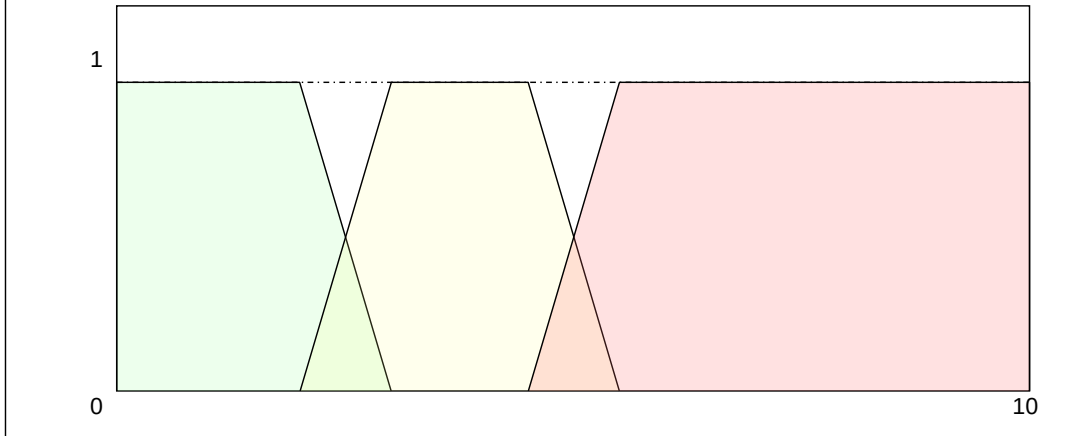
Şekil 4.16 : CK-112 kriterine ait üyelik fonksiyonları (130-160 dB(C) aralığı).

Tez kapsamında incelenen Avrupa Birliği'nin titreşim ile ilgili İSG direktiflerini içeren EG/44/2002, el-kol titreşim maruziyetinin ölçümü ve değerlendirilmesini tanımlayan ISO 5349-1 ve tüm vücut titreşim maruziyetinin ölçümü ve değerlendirilmesini tanımlayan ISO 2631 standartlarında da görülebileceği üzere titreşim yüklenmesini belirleyen temel iki risk faktörü günlük bazda maruz kalınan el-kol ve tüm vücut titreşim düzeyleridir [91-93]. “Titreşim (El-Kol) (CK-21)” kriterine ait sözel ifadeleri olan “düşük”, “normal” ve “yüksek” ifadelerine ait üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında kullanılan sınır değerler, Almanya’da geçerli İSG mevzuatının titreşim konularını kapsayan TRLV standardına [94] göre belirlenmiştir (Çizelge 4.19). Söz konusu sözel ifadelere ait üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi de Şekil 4.17’de yer almaktadır.

Çizelge 4.19 : CK-21 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.

Aralık No	Tanım	Alt - Üst Limit (m/sn ²)	
1	düşük	0,00	2,50
2	normal	2,50	5,00
3	yüksek	5,00	10,00

ilgili üf: 'ÜF-CK-Titreşim - A(8) (El-Kol)'

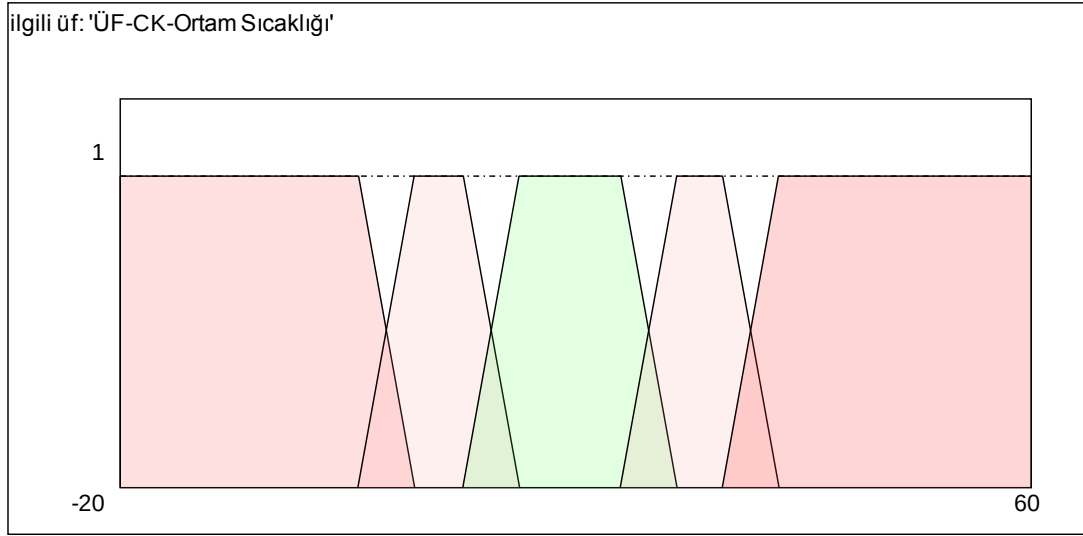


Şekil 4.17 : CK-21 kriterine ait üyelik fonksiyonları (0-10 m/sn² aralığı).

Termal konfor veya hissedilen sıcaklık ile ilgili çok sayıda kaynak ve standart incelenmiş olup, tez çerçevesinde modellenen yaklaşım ISO 7730 standardının da temel aldığı ve hissedilen sıcaklığı ortam sıcaklığı, bağıl nem, ortamdaki havanın akış hızı (havalandırma), ışıma sıcaklığı gibi çevresel faktörler ile iş elbisesi yalıtım oranı (termal direnç), fiziksel aktiviteden kaynaklanan vücuttaki enerji üretimi olarak tanımlanabilecek metabolik oran gibi kişisel faktörlerin bileşkesi olarak açıklayan Fanger yaklaşımıdır [95,98]. “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” kriterine ait sözel ifadeler bu bağlamda “çok soğuk”, “soğuk”, “normal”, “sıcak” ve “çok sıcak” olmak üzere 5 seviye olarak tanımlanmıştır. Literatür incelendiğinde ortam (hava) sıcaklığı ile ilgili standart ve üzerinde uzlaşmış değer aralıkları tanımlanmadığı görülecektir, örneğin optimum ortam sıcaklığı ASHRAE 55P standardında kış için 20-23 °C, yaz için 23-26 °C aralıklarında tanımlanmışken, ISO 7730 standardında ise kış için 20-24 °C, yaz için ise 20-21 °C aralıklarında belirlenmiştir. Literatürde rastlanan ve Bulanık Mantık yaklaşımı kullanılan termal konfor çalışmalarında da ortam sıcaklığı değer aralıklarının belli bir kaynak gösterilmeden belirlendiği gözlemlenmiştir. Tez çalışması kapsamında ortam sıcaklığı sözel ifadelerine ait üyelik fonksiyonları oluşturulurken “en soğuk” ve “en sıcak” sıcaklık koşullarını da analiz etmeye imkan tanıyacak şekilde sınır değerler belirlenmiş olup, standartlarda belirtilen optimal sıcaklıklar “normal” sözel ifadesi ile tanımlanan aralığın ortasında yer alacak şekilde konumlandırılmışlardır. “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” kriterine ait sözel ifadelerine ait aralıklar Çizelge 4.20’de listelenmiş olup, ilgili üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi de Şekil 4.17’de yer almaktadır.

Çizelge 4.20 : CK-311 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.

Aralık No	Tanım	Alt - Üst Limit (°C)	
1	çok soğuk	-20,00	3,50
2	soğuk	3,50	12,50
3	normal	12,50	26,50
4	sıcak	26,50	35,50
5	çok sıcak	35,50	60,00



Şekil 4.18 : CK-311 kriterine ait üyelik fonksiyonları (-20 - 60 °C aralığı).

4.2.2.2 Fizyolojik yüklenme modeline ait üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

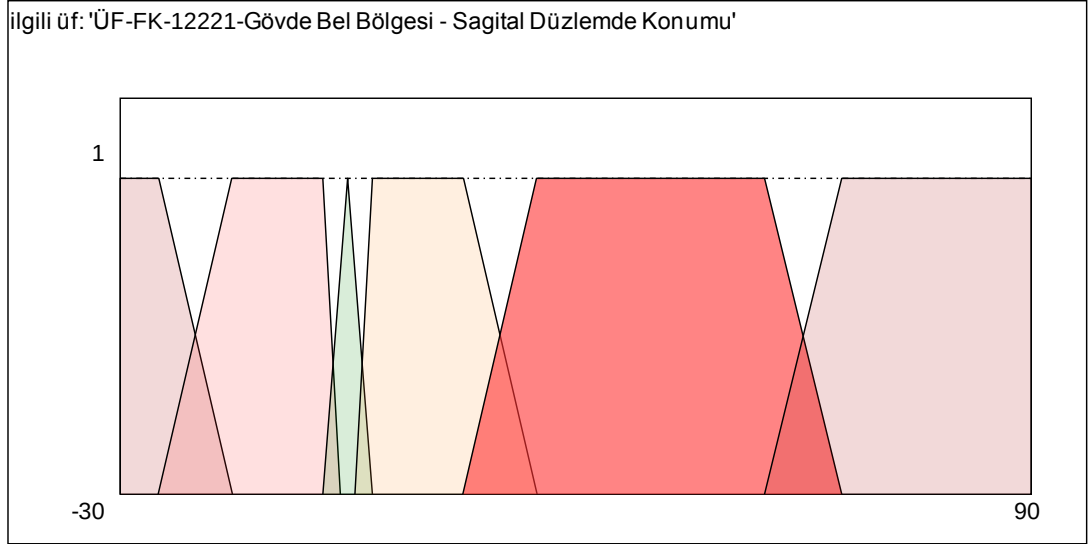
Tez kapsamında Fizyolojik Yüklenme kriter grubu için oluşturulan modelde yer alan kriterler ile ilgili bilgilerin toplanmasında büyük oranda önceki bölümlerde de bahsedilen standartlardan, anatomi ve biyomekanik ile ilgili literatür kaynaklarından faydalanılmıştır. Fizyolojik Yüklenme kriter grubunu oluşturun temel faktörlerden bazıları ve “FuzzyErgonomics” yardımı ile oluşturulan ilgili üyelik fonksiyonlarına ilişkin örnekler bu kısımda gösterilecektir.

Belin sagittal düzlemde konumu ile ilgili kriter olan “Gövde Bel Bölgesi - Sagittal Düzlemde Konumu (FK-12221)” ile ilgili literatürde birçok kaynak mevcut olup, insan-makina sistem uyumunu vücut duruşu ve hareketleri çerçevesinde ele alan DIN 1005-4 ve statik kassal çalışma kapsamında vücut eklem yerlerinin ve uzuvlarının duruşunu inceleyen ISO 11226 standartları, literatürde bulunan birçok kaynağı referans olarak hazırlanmış olmaları ve kullanılan birçok vücut duruş analizi

yönteminin de temel aldığı kaynaklar olmaları nedenlerinden ötürü tez çerçevesinde faydalanılan temel kaynaklar olarak ön plana çıkmaktadırlar [108,109]. Vücudun doğal pozisyonunda belin sagital düzlemle yapmış olduğu açı 0° olarak kabul edilirse, belin öne (bükülme / flexion) ve geriye (gerilme / extension) doğru hareketleri söz konusudur. 0° en optimum ve herhangi bir rahatsızlık yaratmayan konum olarak nitelendirilirse, ISO 11226 ve DIN 1005-4 standartlarına göre 0-20° aralığı “kabul edilebilir”, 20-60° aralığı “koşullu kabul edilebilir” (tam gövde desteği veya düşük hareket frekansı), 60° üstü ise “kesinlikle kabul edilemez” duruş pozisyonu olarak tanımlanmıştır. Belin geriye doğru hareketi ise yine kesinlikle istenmeyen ve en rahatsızlık verici pozisyon olarak tanımlanmıştır. “Gövde Bel Bölgesi - Sagital Düzlemde Konumu (FK-12221)” kriterine ait sözel ifadelerle ait aralıklar Çizelge 4.21’de listelenmiş olup, ilgili üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi de Şekil 4.19’da yer almaktadır.

Çizelge 4.21 : FK-12221 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.

Aralık No	Tanım	Alt - Üst Limit (°)	
1	çok gerilmiş	-30,00	-20,00
2	gerilmiş	-20,00	-2,00
3	normal	-1,50	1,50
4	biraz bükülmüş	2,00	20,00
5	bükülmüş	20,00	60,00
6	oldukça bükülmüş	60,00	90,00



Şekil 4.19 : FK-12221 kriterine ait üyelik fonksiyonları (-30° - 90° açısal aralığı).

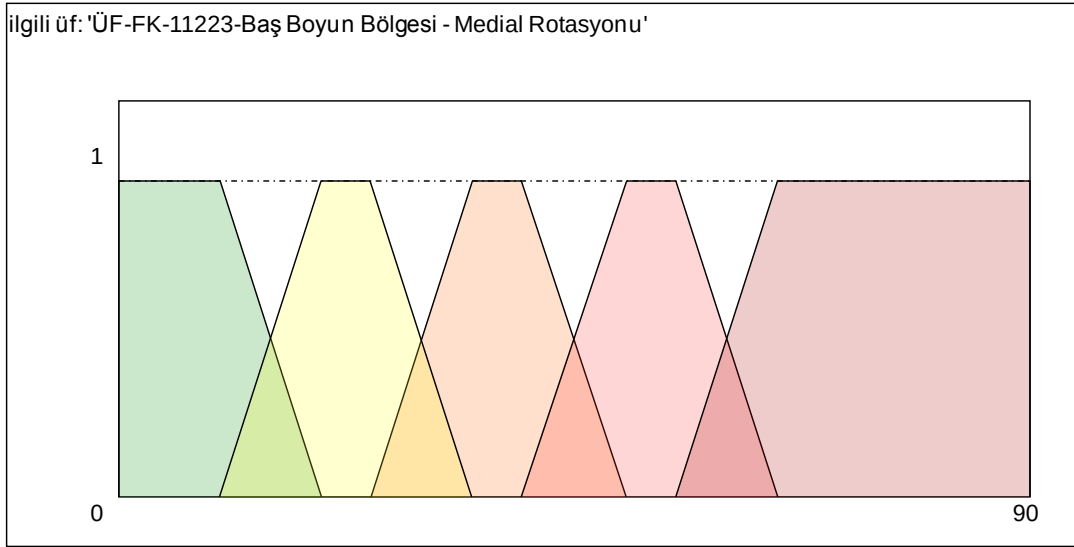
Ele alınan eklem yeri veya uzuv ile ilgili açı aralıklarında oluşan yüklenmelerin şiddetlerinin görece karşılaştırması ise bileşke yüklenmenin belirlenmesi sürecinde ortaya çıkan en büyük problemlerden biri olmuştur. Literatür araştırmasında, vücudun çeşitli bölgelerinin eklem yerlerinin belli açı aralıklarında statik duruşları esnasında çalışanın hissettiği rahatsızlıkların sübjektif ölçülmesi ile bileşke fizyolojik yüklenmenin tespitine yönelik çalışmalara rastlanmıştır. Örneğin Lee ve Karwowski tarafından yapılan çalışmalar ve sonrasında geliştirdikleri LUBA (Postural Loading on the Upper Body Assessment) yöntemi ile vücut uzuvlarının çeşitli açısal konumlarda bekleme süreleri sonrası hissedilen rahatsızlık dereceleri belirlenmiş ve bu şekilde fizyolojik yüklenme tespit edilmeye çalışılmıştır [123]. Bu sayede vücut bölgelerinin standartlarda belirtilen açısal aralıklardaki konumlarından kaynaklanan yüklenme düzeylerinin, çalışanlarda yarattıkları rahatsızlık ölçütüne göre görece karşılaştırmaları mümkün olmuştur. Tez çerçevesinde de özellikle Fizyolojik Yüklenme kriter grubunun Bulanık Çıkarım Modeli'nin kural kümesinin oluşturulmasında bu yaklaşımdan faydalanılmıştır.

Boynun medial rotasyonu (yanlara çevrilmesi) ile ilgili kriter olan “Baş Boyun Bölgesi - Medial Rotasyonu (FK-11223)” ile ilgili sözel ifadeler ve ilgili üyelik fonksiyonu parametrelerinin belirlenmesinde de yine DIN 1005-4 ve ISO 11226 standartlarından [108,109], kuralların oluşturulması aşamasında kullanılan yüklenme şiddeti seviyelerinin belirlenmesinde de LUBA ve QEC yöntemlerinden faydalanılmıştır [123]. Standartlarda boynun medial rotasyonu için, yüzün göğüs kafesiyle aynı düzlemde durduğu 0° en “optimum” ve herhangi bir rahatsızlık

yaratmayan konum olarak nitelendirilirse, ISO 11226 ve DIN 1005-4 standartlarına göre 0-45° aralığı “kabul edilebilir”, 45° üstü ise “kesinlikle kabul edilemez” duruş pozisyonu olarak tanımlanmaktadır. “Baş Boyun Bölgesi - Medial Rotasyonu (FK-11223)” kriterine ait sözel ifadelerle ait aralıklar Çizelge 4.22’de listelenmiş olup, ilgili üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi de Şekil 4.20’de yer almaktadır.

Çizelge 4.22 : FK-11223 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.

Aralık No	Tanım	Alt - Üst Limit (°)	
1	çok düşük	0,00	15,00
2	düşük	15,00	30,00
3	biraz yüksek	30,00	45,00
4	yüksek	45,00	60,00
5	çok yüksek	60,00	90,00



Şekil 4.20 : FK-11223 kriterine ait üyelik fonksiyonları (0-90° açısal aralığı).

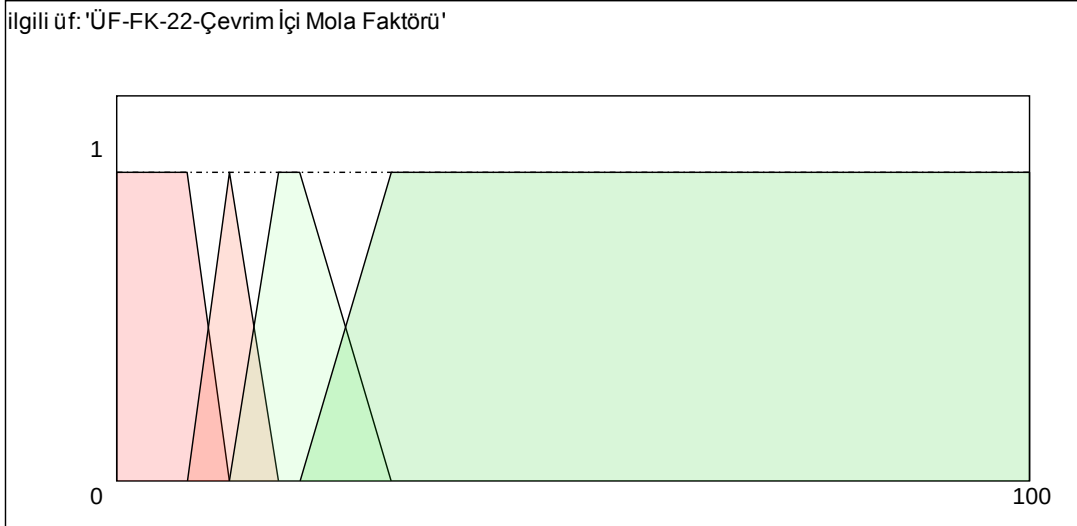
Literatür taraması esnasında incelenen vücut duruşu temelli Fizyolojik Yüklenme yöntemlerinin temel olarak iki sınıfa ayrılabilir olduğu görülmüştür. İlk sınıfta vücudun çeşitli bölgelerindeki eklem yerlerinin açı aralıklı konumlarında çalışılan süreye bağlı yüklenme düzeyinin belirlendiği yaklaşımlar (AAWS, LMM, vb.) yer alırken, ikinci sınıfta ise anlık gözlemsel verilere veya ilgili iş grubunun, iş istasyonunun en karakteristik duruş pozisyonuna göre yüklenme düzeyini tespit eden yaklaşımlar

(QEC, REBA, RULA, vb.) yer almıştır. Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması süreci kapsamında açıklanan her iki örnek de ikinci yaklaşım çerçevesinde ele alınmıştır.

Fizyolojik yüklenme kriterlerine ait üyelik fonksiyonlarının oluşumuna yönelik son örnek “Dinlenme Etkisi Faktörü (FK-2)” kriterinin üç alt kriterinden biri olan “Çevrim İçi Mola Faktörü (FK-22)” kriteri ile ilgilidir. Söz konusu kriter için üyelik fonksiyonu parametrelerinin belirlenmesinde diğer alt kriterlerden olan “Vardiya İçi Mola Dağılımı Faktörü (FK-21)” için de geçerli olacak şekilde ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) tarafından hazırlanan kurallardan faydalanılmıştır [124]. OCRA yöntemi ve ISO 11228-3 standardının da atıfta bulunduğu bu kurallara göre dinamik kassal çalışma veya aynı eklem yerlerinin veya vücut bölgelerinin sık ve tekrarlı hareket etmelerini gerektiren iş kapsamlarında dinlenme ve çalışma süresi oranı 0,20’den küçük olmamalı, 60 dakikayı aşan çalışma periyotlarından ise kaçınılması gerekmektedir [110,125]. Dolayısıyla bu kurallar çerçevesinde 50 dakikalık çevrim süresi için 10, 30 saniyelik çevrim süresi için 6 saniyelik dinlenme süresi ideal veya risksiz olarak değerlendirilebilir. Çevrim süresi içerisindeki dinlenme ve çalışma süreleri oranından hareketle oluşturulan üyelik fonksiyonlarına ait parametreler Çizelge 4.23’de listelenmiş olup, ilgili üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi de Şekil 4.21’de yer almaktadır. “Çevrim İçi Mola Faktörü (FK-22)” kriteri değeri %20’den düşük ise olumsuz, en yüksek sınır değer olarak tanımlanan %100’e yakın ise olumlu olarak değerlendirilmektedir, yani dinlenme faktöründen kaynaklanan yüklenmeyi azaltıcı bir etkiye sahip olmaktadır.

Çizelge 4.23 : FK-22 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.

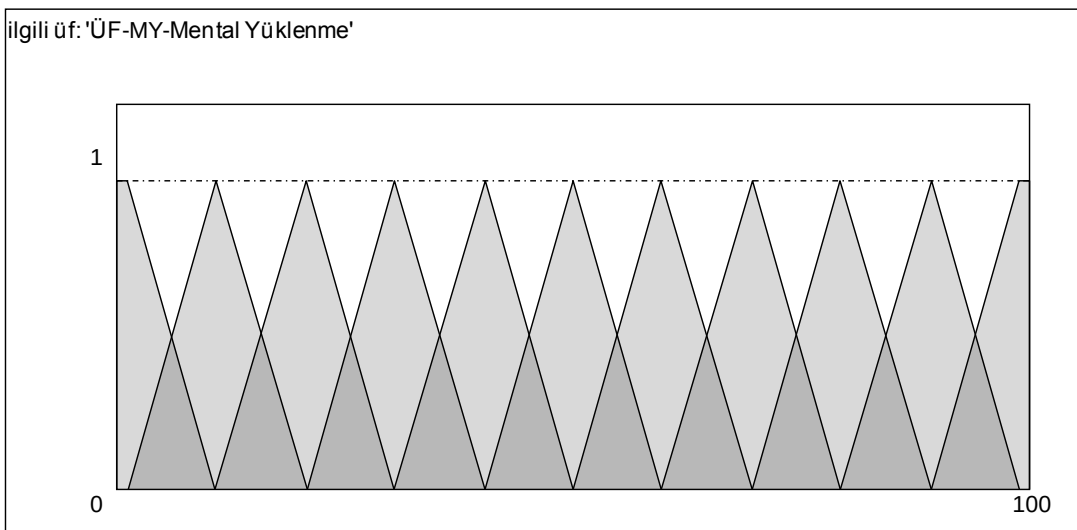
Aralık No	Tanım	Alt - Üst Limit (%)	
1	çok düşük	0,00	10,00
2	düşük	10,00	15,00
3	normal	15,00	25,00
4	çok yüksek	25,00	100,00



Şekil 4.21 : FK-22 kriterine ait üyelik fonksiyonları (% 0 - 100 oransal aralığı).

4.2.2.3 Mental yüklenme modeline ait üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

Tez kapsamında Mental Yüklenme kriter grubu kapsamında kullanılan modelde yer alan kriterler ile ilgili bilgilerin toplanmasında büyük oranda önceki bölümlerde de bahsedilen standartlardan ve NASA TLX, SWAT ve WP gibi yöntemlerden faydalanılmıştır. Mental Yüklenme kriter grubunu oluşturan temel faktörlerden bazıları ve “FuzzyErgonomics” yardımı ile oluşturulan ilgili üyelik fonksiyonlarına ilişkin örnekler aşağıda yer almaktadır. Mental yüklenme kriter grubuna ait tüm kriterlerin bileşke yüklenmesini ifade eden “Mental Yüklenme (MY)” kriterine ait sözel ifadelerle ait aralıklar Çizelge 4.24’de listelenmiş olup, ilgili üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi de Şekil 4.22’de yer almaktadır.



Şekil 4.22 : MY kriterine ait üyelik fonksiyonları (% 0 - 100 oransal aralığı).

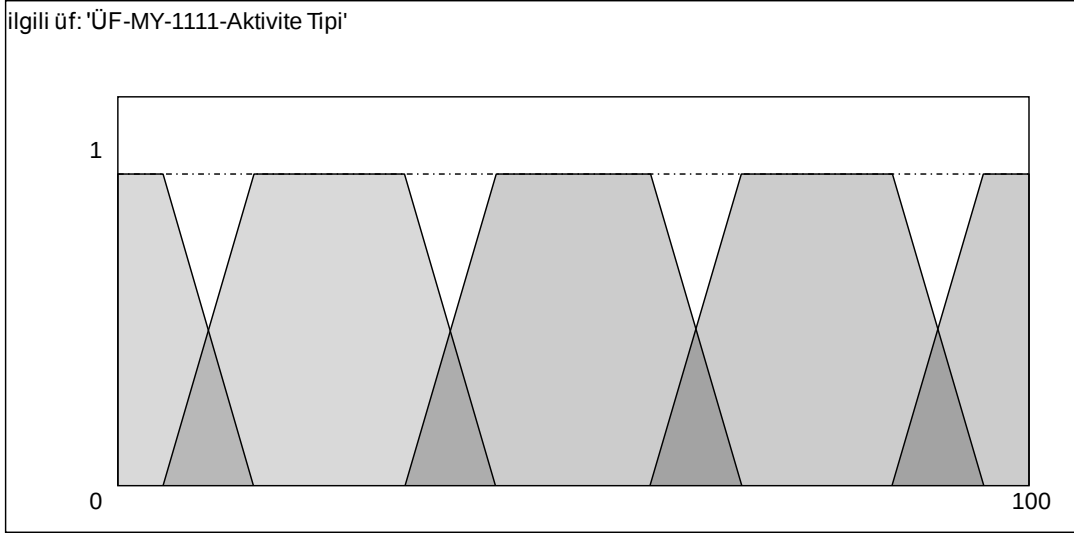
Çizelge 4.24 : MY kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.

Aralık No	Tanım	Alt - Üst Limit (%)	
1	aşırı düşük	0,00	6,00
2	oldukça düşük	6,00	15,78
3	çok düşük	15,78	25,56
4	düşük	25,56	35,33
5	biraz düşük	35,33	45,11
6	normal	45,11	54,89
7	biraz yüksek	54,89	64,67
8	yüksek	64,67	74,45
9	çok yüksek	74,45	84,22
10	oldukça yüksek	84,22	94,00
11	aşırı yüksek	94,00	100,00

NASA TLX yönteminde de kullanılan faktörlerden biri olan ve zihinsel aktiviteyi beceri, kural ve bilgi tabanlılık şeklinde sınıflandıran “Aktivite Tipi (MY-1111)” kriterinden kaynaklanan yüklenmeye ait sözel ifadelerle ait aralıklar Çizelge 4.25’de listelenmiş olup, ilgili üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi de Şekil 4.23’de yer almaktadır.

Çizelge 4.25 : MY-1111 kriterine ait üyelik fonksiyonlarının listesi ve aralıkları.

Aralık No	Tanım	Alt - Üst Limit (%)	
1	düşük	0,00	10,00
2	biraz düşük	10,00	36,67
3	normal	36,67	63,33
4	biraz yüksek	63,33	90,00
5	yüksek	90,00	100,00



Şekil 4.23 : MY-1111 kriterine ait üyelik fonksiyonları (% 0 - 100 oransal aralığı).

4.2.3 Kural kümelerinin oluşturulması

Mamdani Bulanık Çıkarım Yöntemi tabanlı uzman sistem yaklaşımının en önemli girdisi kural nesneleridir. Önceden tanımlanmış kriter düzeylerinin sözel ifadeleri ve bunlarla ilintili üyelik fonksiyonlarından hareketle “EĞER-İSE” mantıksal önermeleri yine “FuzzyErgonomics” uygulaması yardımı ile oldukça hızlı şekilde oluşturulabilmektedir. Ancak kural kümesini oluşturan mantıksal önermelere olan hakimiyet, kriter sayısı, sözel ifade sayısı ve hiyerarşik seviye sayısı arttıkça azalmaktadır; zira binlerce kuralın yorumlanması ve sisteme girilmesi söz konusudur. Fizyolojik ve çevresel yüklenme faktörleri ile ilgili kural kümelerinin çoğu yine Excel ortamında geliştirilmiş, Visual Basic destekli ek bir uygulama yardımı ile üretilmişlerdir. Hissedilen Sıcaklık ve alt kriterleri ile ilgili kurallar ise ilgili standart ve Fanger yöntemi çıktısı olan PMI ve PPD çıktılarından hareketle manuel olarak üretilmiştir. Özellikle subjektif değerlendirmelere dayalı mental yüklenme faktörleri ile ilgili kuralların bazılarında uzman görüşüne başvurulmuş, bazılarında ise kriterler AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemi ile ağırlıklandırılmış, bu ağırlıklardan hareketle yine Excel ortamında mantıksal önermeler oluşturulmuştur.

4.3 Bulanık Mantık Tabanlı Uzman Sistem Yazılımı

Önceki bölümlerde bahsedilen kriter kümesi, üyelik fonksiyonları kümesi, üyelik fonksiyonlarına ait parametre kümesi, kural kümesi, Bulanık Çıkarım Modeli ve

netleştirme nesne ve yöntemleri dinamik bir uzman sistem yapısını ifade etmekte olup, İnsan-makina sistemlerinin analiz ve değerlendirmesinde bu tarz bir yapı ancak elektronik ortamda tasarlanabilirse hızlı ve etkin bir değerlendirme modelinden bahsetmek mümkün olacaktır. Bu kapsamda ASP.NET ve ASP teknolojisi destekli ağ (web) tabanlı veritabanı uygulaması geliştirilmiş olup, tez çerçevesinde yapılacak tüm veri toplama, değerlendirme ve analiz çalışmaları bu uygulama kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.3.1 Uygulamanın Teknolojik Altyapısı Hakkında Bilgi

“FuzzyErgonomics” Ergonomik Değerlendirme Uygulaması, tez çalışması kapsamında VBScript (Visual Basic Script) ve JScript (Java Script) destekli ASP (Active Server Pages / Etkin Sunucu Sayfaları) altyapısı ve SQL veritabanı sorgulama dili kullanılarak geliştirilmiş, Microsoft Access veya SQL Server veritabanı uygulamaları ile uyumlu çalışabilen ortam bağımsız bir web (Internet / Intranet) uygulamasıdır.

ASP, Microsoft tarafından geliştirilmiş Internet’e yönelik sunucu taraflı (server-side) çalışan bir teknoloji olup, sunucunun sadece durağan sayfaları kullanıcıya göndermesi yerine, kullanıcıdan veri kabul edilmesi gerekliliğinin sonucunda ortaya çıkmıştır. ASP sayfaları çoğunlukla VBScript kullanılarak yazılır, ancak “@Language” komutuyla JScript, hatta Perl gibi başka bir dil de seçilebilir [126].

Bir ASP dosyasının içinde, özel nesneler ve VBScript, JScript, SQL kodları bulunur. Bu sayfalar kullanıcı tarafından istendiğinde, sunucu öncelikle ASP içindeki kodları derleyerek, kullanıcıya göndereceği bilgiyi oluşturur ve iletir. Kullanıcı tarafına iletilen bilgi genellikle HTML (ya da SGML) biçimli olmakla birlikte, ASP altyapısı, bir grafik dosyasının oluşturularak kullanıcıya gönderilmesine de imkan sağlamaktadır [127].

ASP sayfaları HTML kodlarının içine gömülü şekilde oluşturulduğu halde bir kez sunucu tarafından yorumlandığında saf HTML biçimine dönüştürülür. Kaynak kodlara bakıldığında ASP komutları görülmez, bu da programcıların kaynak kodlarını bilgi güvenliği çerçevesinde saklamalarını kolaylaştırır.

“FuzzyErgonomics” uygulamasında, ASP kodu içerisinde VBScript ve JScript programlama dilleri kullanılmıştır. Uygulama, Microsoft IIS 6.0 (Internet Information Services / Internet Bilgi Hizmetleri) üzerinde çalışmaktadır. Tüm veriler

ve ilgili işlemler “mdb” uzantılı Access veritabanı dosyalarında yer alan tablolarda saklanmaktadır; ancak uygulama kapsamının gerektirdiği hız ihtiyacı ve kullanıcı sayısının artmasına bağlı olarak IIS ve Access yerine Oracle veya MS SQL Server gibi daha profesyonel ve kapsamlı kurumsal veri yönetimi sağlayan veritabanı platformlarının kullanılması mümkün olabilmektedir.

4.3.2 Uygulamanın Kullanımı Hakkında Bilgi

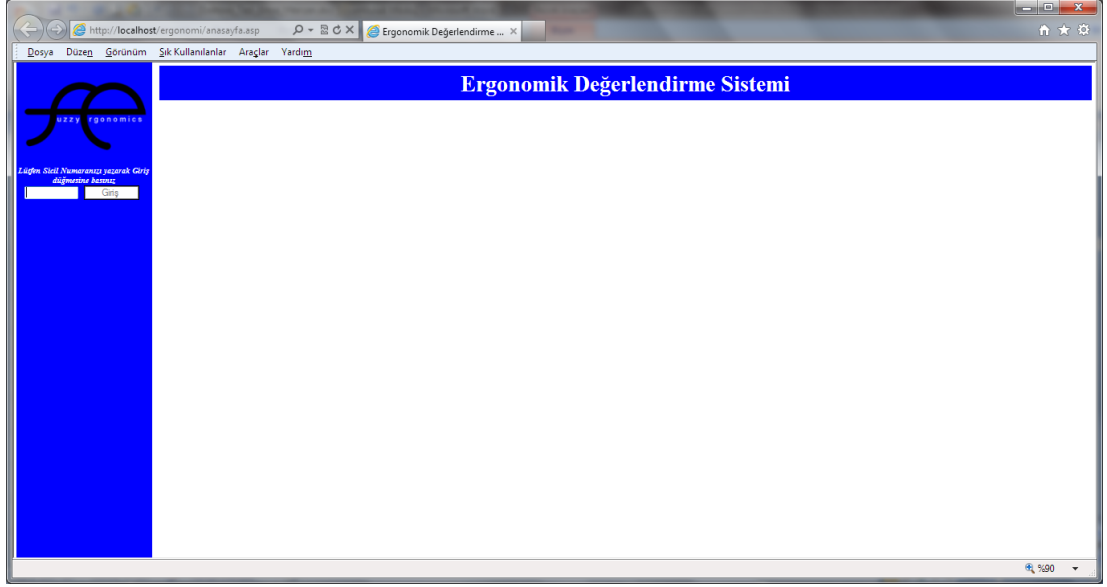
Bu kısımda, tez kapsamında geliştirilen “FuzzyErgonomics” uygulaması tanıtılacak, bu sistem kullanılarak yapılabilecekler hakkında uzman sistem yapısı referans alınarak örnekler verilmeye çalışılacaktır.

4.3.2.1 Ana menü ve yetkilendirme yönetimi

“FuzzyErgonomics” uygulaması Intranet veya Internet sunucuları üzerinde çalışabilir niteliktedir, dolayısıyla donanım, işletim sistemi veya web tarayıcısından bağımsız her bilgisayarda veya terminalde aynı şekilde çalışabilmektedir. Bu da uygulamanın en önemli avantajlarından biridir. Yani “FuzzyErgonomics” uygulaması Internet Explorer veya FireFox gibi Internet tarayıcıları, dizüstü veya masaüstü bilgisayarlar ve terminaller, Linux veya Windows tabanlı işletim sistemleri gibi kullanıcıdan kullanıcıya farklılık gösterebilen kullanım tercihlerinden bağımsız olarak aynı performansta çalışan bir uygulamadır. Sistemin çalışması için bir yazılım kurulumu gerekmemektedir; ilgili linkten uygulamaya ulaşıldığı takdirde zaten sunucu tarafında, kullanıcı tarafından verilen tüm işlemler gerçekleştirilebilmektedir.

Sisteme kullanıcı ismi ve şifresi ile giriş yapılabilmektedir. Zira burada saklanmakta olan dosyalar işletmenin üretim süreçleriyle ilgili yazılı ve görsel birçok ayrıntılı bilgiyi barındırmaktadır ve kurumsal bilgi güvenliği açısından önemlidir. Ayrıca her kullanıcıya farklı yetkiler tanımlanması da mümkündür. Halihazırda sistemde “Sistem Yöneticisi”, “Uzman Ergonomi Analisti”, “Ergonomi Analisti”, “İşletme Doktoru”, “İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı”, “İşletme Mühendisi”, “Grup Şefi” ve “Kısım Müdürü” olmak üzere beş adet yetki grubu tanımlanmıştır. Tüm yetki gruplarının yapabileceği ortak işlemler olduğu gibi, sadece ilgili yetki grubuna özel işlemler de mevcuttur. Örneğin “Uzman Ergonomi Analisti”, üyelik fonksiyonu oluşturma, parametre tanımlama, üyelik fonksiyonu ve kriter ilişkilendirmesi yapma, farklı kriter kombinasyonlarından yeni değerlendirme formları ve listeleri tasarlama gibi işlemleri yapmaya yetkili iken, “Ergonomi Analisti” hazırlanan değerlendirme

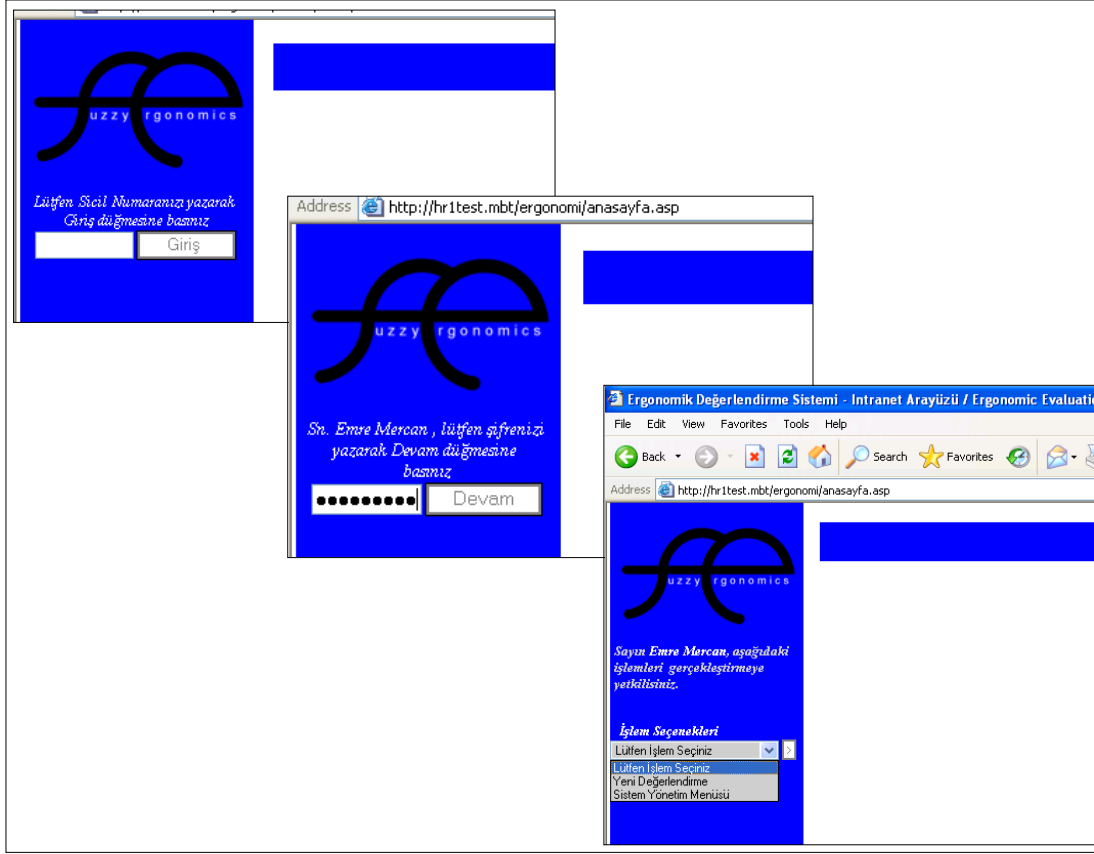
formlarını kullanarak iş istasyonlarının ergonomik değerlendirmesini gerçekleştirme, değerlendirilen iş istasyonları ile ilgili fotoğraf, film veya doküman gibi bilgileri sisteme yükleyebilme yetkisine sahiptir. Sisteme web linkinden ulaşıldığında aşağıdaki gibi bir sayfa açılmakta ve ilk olarak kullanıcı ismi sorulmaktadır (Şekil 4.24).



Şekil 4.24 : FuzzyErgonomics Uygulaması - başlangıç sayfası görüntüsü.

Kullanıcı ismi, uygulamanın yapıldığı yer olan Mercedes-Benz Türk AŞ’de sicil numarası olarak atanmıştır, ancak tabii ki sisteme isteğe bağlı olarak arzu edilen biçimde kullanıcı isimleri tanımlamak da mümkündür, dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise bu kullanıcı isimlerinin her tanımlı çalışan için tek (unique) olmasıdır, aksi takdirde sistemde bilgi güvenliğinden bahsetmek mümkün olamaz.

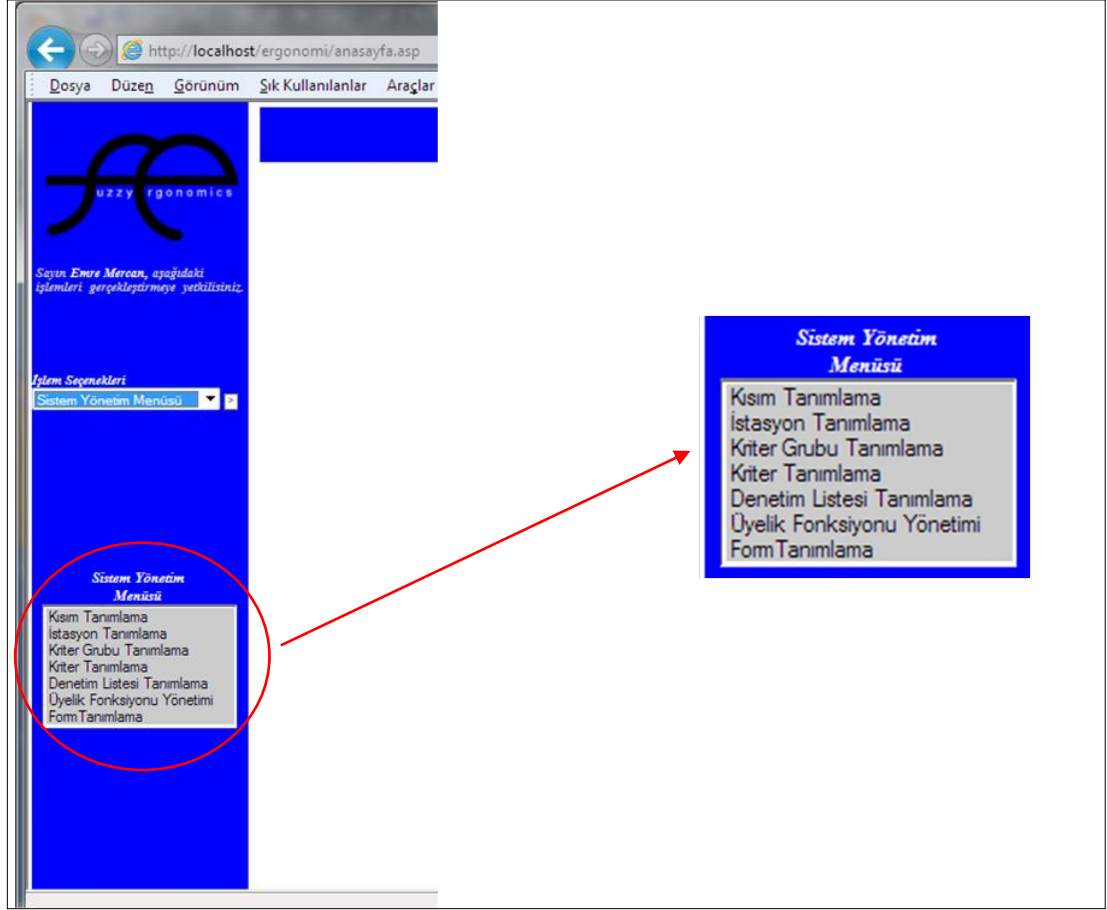
Tüm kullanıcı isimleri yetki grupları ile ilişkilendirilmiştir; yani kullanıcıların sistemde yapabilecekleri tüm işlemler önceden tanımlanmış ve belirlenmiş durumdadır. Kullanıcı ismi veya kodu girildikten sonra sistem şifre sormaktadır. Bu şifre de doğru girildiğinde o kullanıcı isminin tanımlandığı yetki grubunun yapabileceği işlemlerin görüldüğü ve seçildiği işlem menüsüne ulaşılmaktadır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 : FuzzyErgonomics Uygulaması - kullanıcı ismi, şifre ve işlem menüsü adımları.

En kapsamlı yetki grubu olan “Sistem Yöneticisi” yetki grubuna ait işlemler incelendiği takdirde, uzman sistem yaklaşımında ortaya konulan sistem yapısı ile “FuzzyErgonomics” uygulaması arasında paralellik olduğu hemen anlaşılabacaktır.

“İşlem Seçenekleri” arasında yer alan “Kısım ve İş İstasyonu Tanımlama”, “Kriter Grubu Tanımlama”, “Kriter Tanımlama”, “Denetim Listesi Tanımlama”, “Üyelik Fonksiyonu Tanımlama” seçenekleri, uzman sistemde yer alan “Ergonomik Kriter Kümesi”, “Kriter Üyelik Fonksiyonları Kümesi”, “Üyelik Fonksiyonu Parametre Kümesi”, “Bulanık Çıkarım Modeli”, “Kural Kümesi”, “Netleştirme”, “Bulanıklaştırma” nesneleri ile örtüşmektedir (Şekil 4.26).

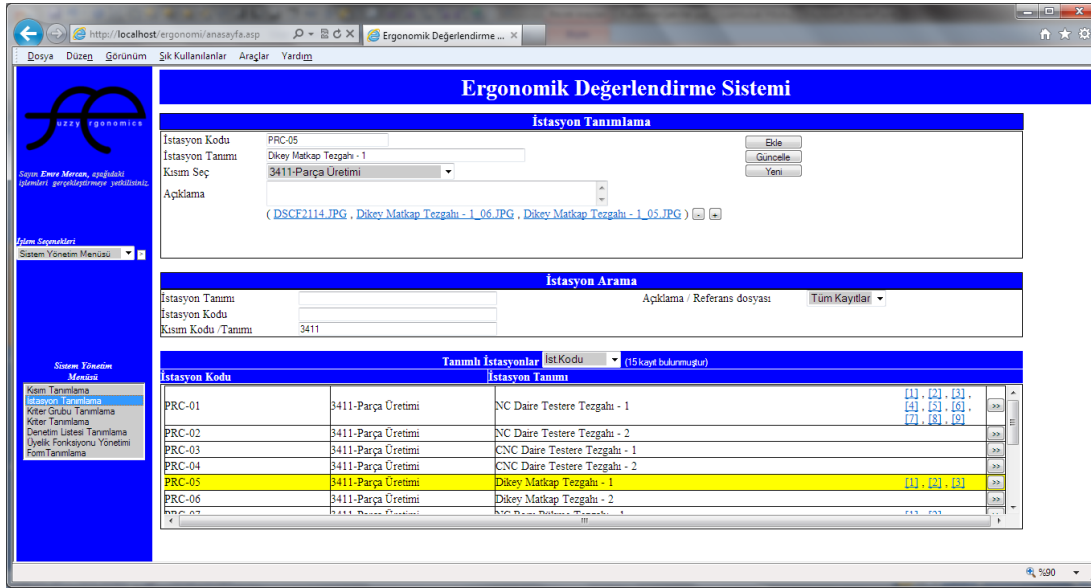


Şekil 4.26 : FuzzyErgonomics Uygulaması - yetki kapsamında tanımlı işlemlerden örnekler.

4.3.2.2 Kısım ve iş istasyonu tanımlama

“FuzzyErgonomics” uygulaması, işletmenin tüm üretim süreçlerinde yer alan kısım müdürlüğü, grup şefliği ve iş istasyonları ile ilgili her türlü görsel ve yazılı bilginin saklanmasına ve değiştirilmesine olanak tanımaktadır.

Tez çalışması kapsamında, uygulamaların gerçekleştirildiği Mercedes-Benz Türk AŞ ve diğer otomotiv sanayi işletmelerinde de sıkça kullanılan kısım müdürlüğü, grup şefliği ve iş istasyonu organizasyonel yapılanması baz alınmaktadır. Yani üretim, ilgili süreç ve fonksiyonlara göre kısım müdürlüklerine ayrılmakta, her kısım müdürlüğü de grup şefliklerinden oluşmakta, grup şeflikleri de benzer iş kapsamlarının gerçekleştirildiği iş istasyonlarından meydana gelmektedirler (Şekil 4.27). Bir iş istasyonu belli bir iş adımının iş gücü, tezgah/ekipman ve hammadde girdileri ile yerine getirildiği en küçük imalat birimi olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.27 : FuzzyErgonomics Uygulaması - tanımlı kısım ve iş istasyonları.

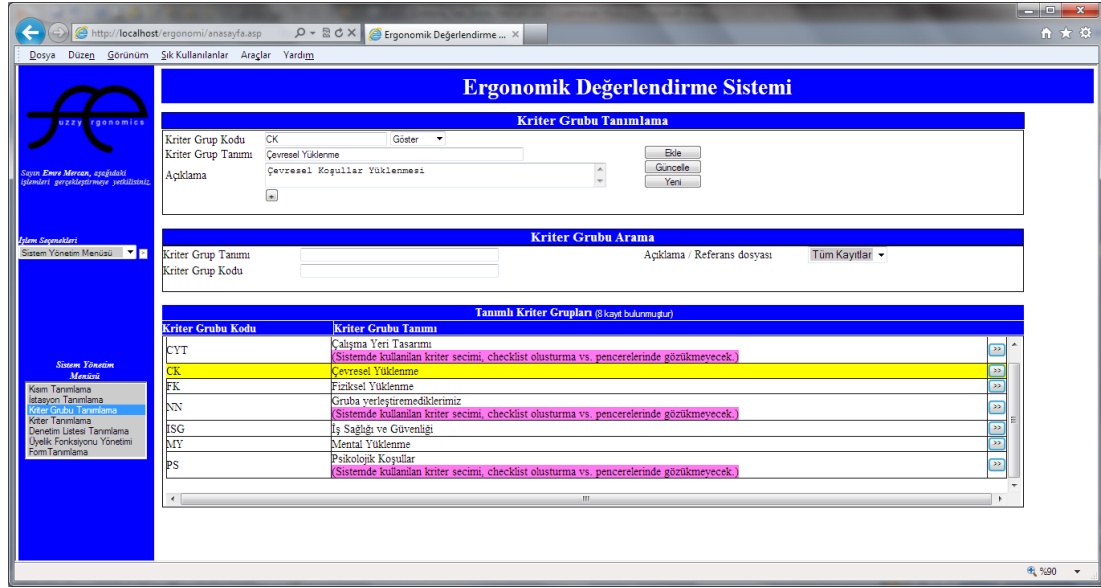
Örneğin 3410 birim kodlu “Karoseri ve Parça İmalat” kısım müdürlüğüne bağlı 3411 birim kodlu grup şefliği, “Parça Üretimi” olarak tanımlanmıştır. Burada otobüsün şasi ve karoserisinde kullanılan boru ve sac profillerin kesildiği ve gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirildiği iş istasyonlarından oluşan üretim hatları bulunmaktadır. Bu birimde yer alan birçok iş istasyonundan sisteme örnek olarak tanımlanan iki tanesi segmentlerde kullanılan boru profillerin üzerine KTL (Katodik Daldırma) deliklerinin delindiği “PRC-06” istasyon kodlu “Dikey Matkap Tezgahı - 2” ve segmentlerde yer alan dairesel boru profillerin büküldüğü “PRC-07” istasyon kodlu “NC Boru Bükme Tezgahı - 1” olarak sıralanmıştır. Ayrıca söz konusu iş istasyonları ile ilgili her türlü görsel ve yazılı bilgi bu ekrandan sisteme yüklenebilmektedir. Özellikle ilgili iş istasyonunda ergonomik değerlendirmeler yapılırken bu bilgiler önem kazanacaktır. Ayrıca bu sayede gerçekleşen iyileştirmelerin de görsel takibi sistem üzerinden mümkün olabilecektir.

4.3.2.3 Kriter grubu tanımlama

Ergonomik değerlendirme kriter grupları, daha önce de belirtilen ve ergonomik değerlendirme sisteminin bel kemiğini oluşturan, “FK - Fizyolojik Yüklenme”, “CK - Çevresel Yüklenme” ve “MY - Mental Yüklenme” olmak üzere üç ana kriter grubundan oluşmaktadır.

Bu ana kriter grupları ve içerdikleri kriter hiyerarşisi yapısı, değerlendirme modelinin ana çatısını oluşturmakta ve web tabanlı olarak geliştirilen elektronik veritabanı

erişimli uzman sistem uygulaması açısından en önemli girdiyi teşkil etmektedir (Şekil 4.28).



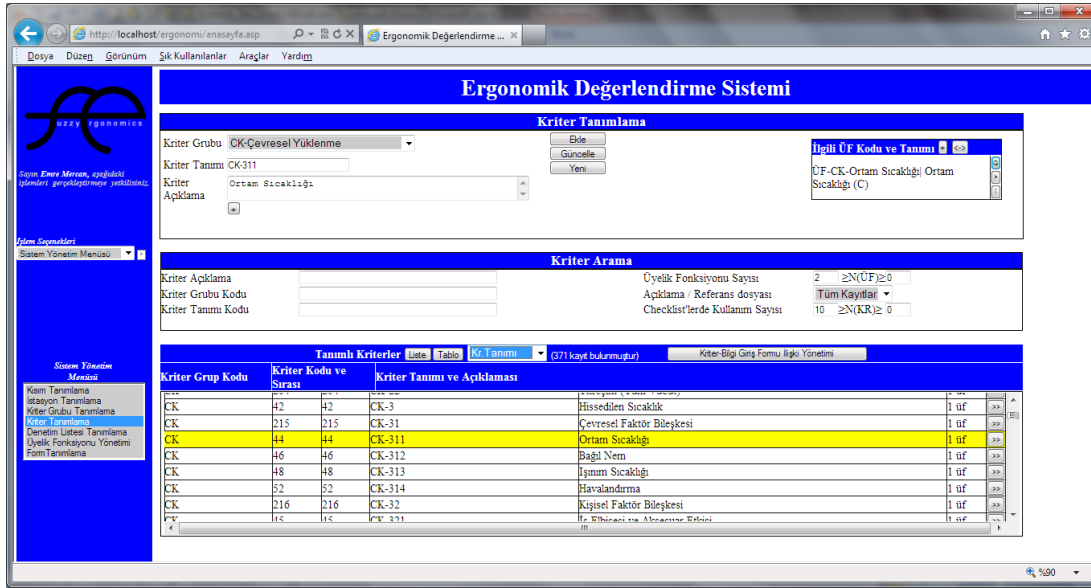
Şekil 4.28 : FuzzyErgonomics Uygulaması - kriter grubu tanımlama

Veritabanında tanımlı olan 366 kriter önceki bölümde de belirtilen ana ve alt kriter yapılanması kapsamında tanımlanmış olmakla beraber, bu temel yapıdan bağımsız olarak da farklı hiyerarşiler ve alt kriter yapılanmaları tanımlamak mümkündür. Bu da uzman sisteme büyük oranda esneklik getirmektedir. Tanımlı tüm kriterler mutlaka bu ana kriter gruplarından birinin altında yer almak durumundadır.

4.3.2.4 Kriter tanımlama

Kriter gruplarına bağlı olarak ergonomik değerlendirme alt kriter gruplarının veya kriterlerinin sonsuz sayıda kademede gruplandırılması teorik olarak mümkündür, ancak kademe sayısını sınırlandırmak, sistemin ve oluşturulan modellerin kullanıcılar tarafından anlaşılması, rahat ve hızlı şekilde kullanılabilmesi açısından önemlidir.

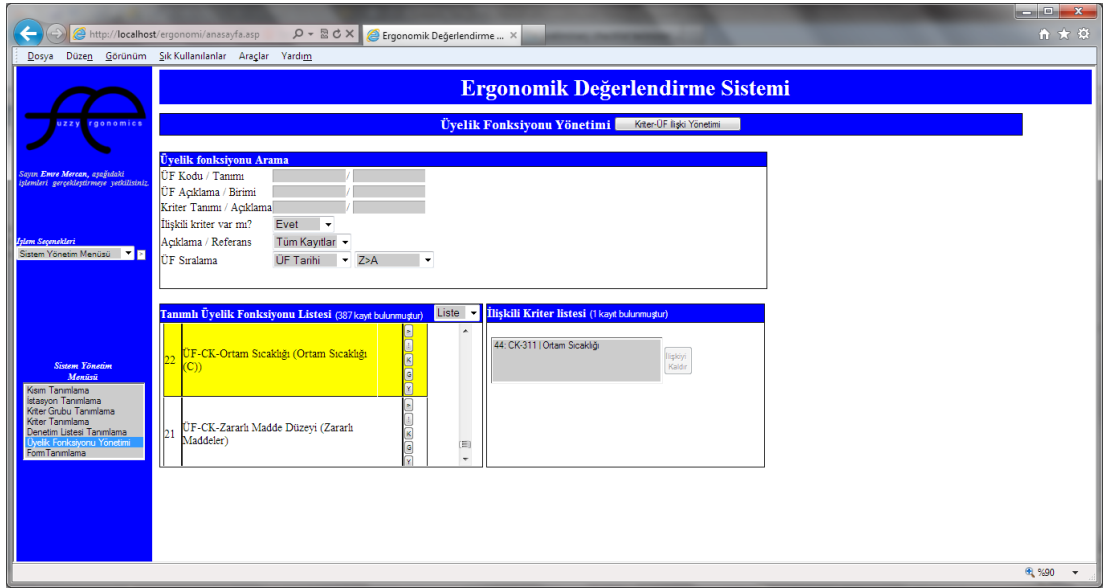
Şekil 4.29’da da görülebileceği üzere ilgili ekrandan mevcut kriterlerin tanım ve kriter grubu bilgilerini güncellemek, yeni kriterler eklemek ve mevcut kriterleri silmek mümkündür. Ancak kriter silme, söz konusu kriter için tanımlanmış üyelik fonksiyonu yoksa ve ilgili kriter farklı değerlendirme denetim listelerinde kullanılmamışsa mümkündür. Sağ üst köşede yer alan “İlgili ÜF Kodu ve İlişki Tanımı” penceresinden söz konusu kriter için üyelik fonksiyonu tanımlanabildiği ve tüm kriterlerle üyelik fonksiyonları arasında ilişkilendirmelerin yönetildiği alt uygulama ekranlarına erişmek mümkündür.



Şekil 4.29 : FuzzyErgonomics Uygulaması - kriter tanımlama.

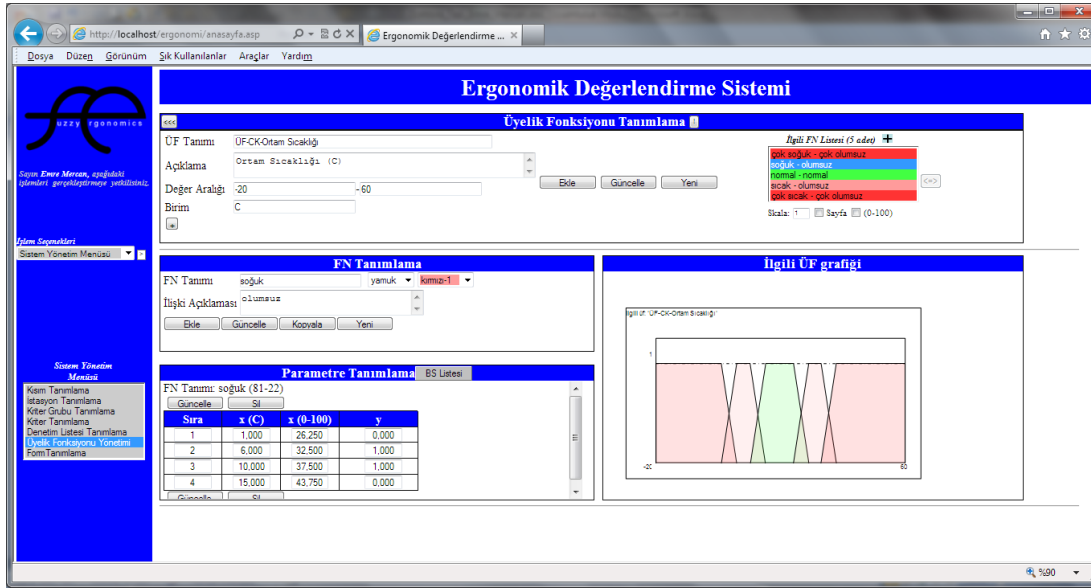
4.3.2.5 Üyelik fonksiyonu yönetimi

“Kriter Tanımlama” arayüzünden herhangi bir kriter seçiliyken sağ üst köşede yer alan “İlgili ÜF Kodu ve Tanımı” penceresindeki düğmeye tıklanarak “Üyelik Fonksiyonu Tanımlama” ekranına ulaşılabilir. Bu sayede ilgili kritere özel üyelik fonksiyonları tanımlamak mümkün olabilmektedir. Herhangi bir kriter seçili değilken ilgili ekrana dallanıldığında ise herhangi bir kriter ile ilişkisi olmayan yeni bir üyelik fonksiyonu tanımlanabilir. Bu üyelik fonksiyonları arzu edilen kriter veya kriterlerle daha sonra da ilişkilendirilebilir. Ayrıca Şekil 4.30’da gösterilen “Üyelik Fonksiyonu Yönetimi” arayüzünden tüm üyelik fonksiyonlarının çeşitli filtrelere göre listelenmesi, kopyalanarak yeni üyelik fonksiyonları oluşturulması, silinmesi, kriterlerle olan ilişkilerin değiştirilmesi veya tanımlanması gibi çok sayıda işlemi yapmak mümkün olmaktadır.



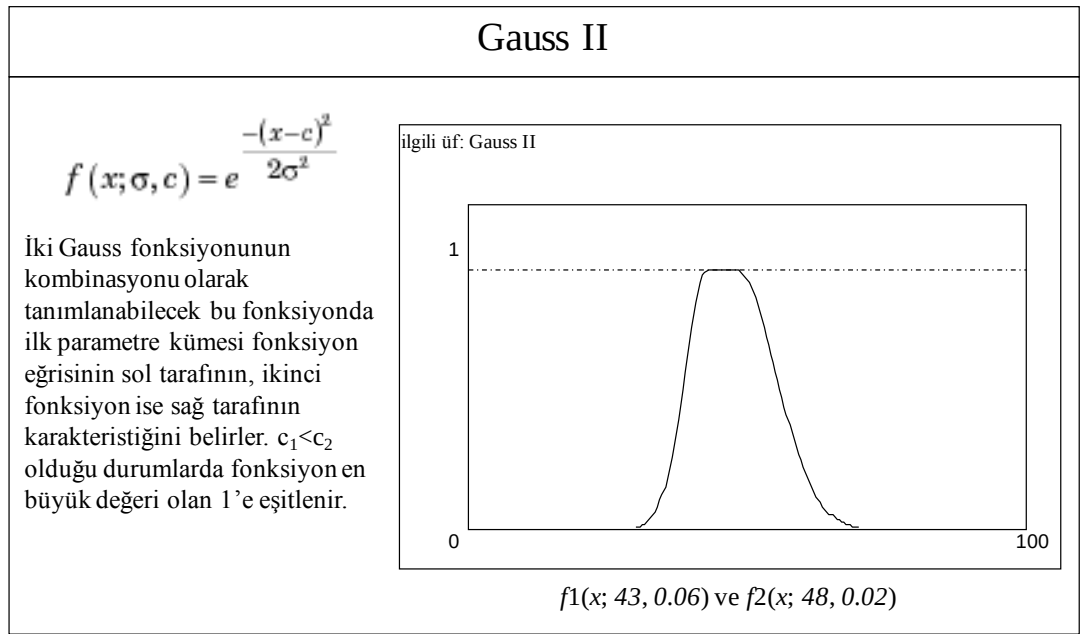
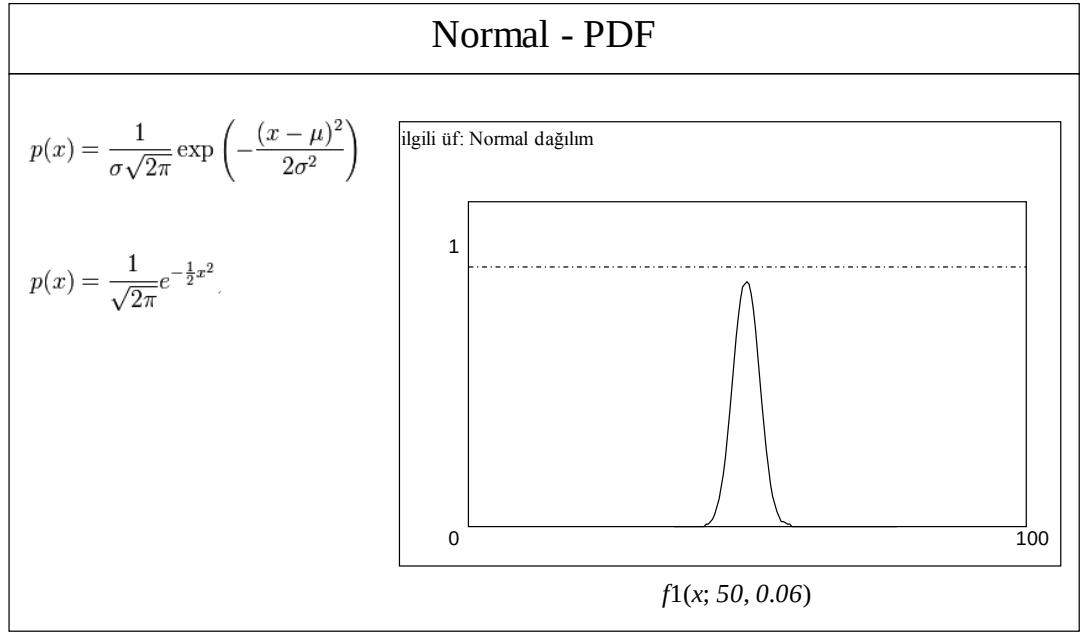
Şekil 4.30 : FuzzyErgonomics Uygulaması - üyelik fonksiyonu yönetimi.

Şekil 4.31’de “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” kriterine ait “ÜF-CK-Ortam Sıcaklığı” olarak tanımlı üyelik fonksiyonu grubu görülmektedir. Üyelik fonksiyonunun tanımlı olduğu aralık ise minimum ve maksimum değerler ile ifade edilmiştir. Bu kısmın hemen sağ tarafında ise “İlgili FN Listesi” penceresi görülmektedir. Burada ise “çok soğuk - çok olumsuz” ifadeleri göze çarpmaktadır. Bu kısaltma, ilgili üyelik fonksiyonu grubu altında tanımlı, ortamın “çok soğuk” olduğu sözel ifadesinin üçgensel bulanık sayı olarak gösterildiği üyelik fonksiyonunu ifade etmektedir. Yine aynı ekranda “Parametre Tanımlama” penceresinde ilgili üyelik fonksiyonu tipine göre parametre tanımlamaları yapmak mümkündür. “İlgili ÜF Grafiği” penceresinde de “ÜF-CK-Ortam Sıcaklığı” olarak tanımlı üyelik fonksiyonu grubu altında 5 adet üyelik fonksiyonunu (“çok soğuk”, “soğuk”, “normal”, “sıcak”, “çok sıcak”) 5’li Likert skalasına göre, her kademe bir üçgensel veya yamuk üyelik fonksiyonu olarak temsil edilecek şekilde grafiksel gösterimi yer almaktadır.

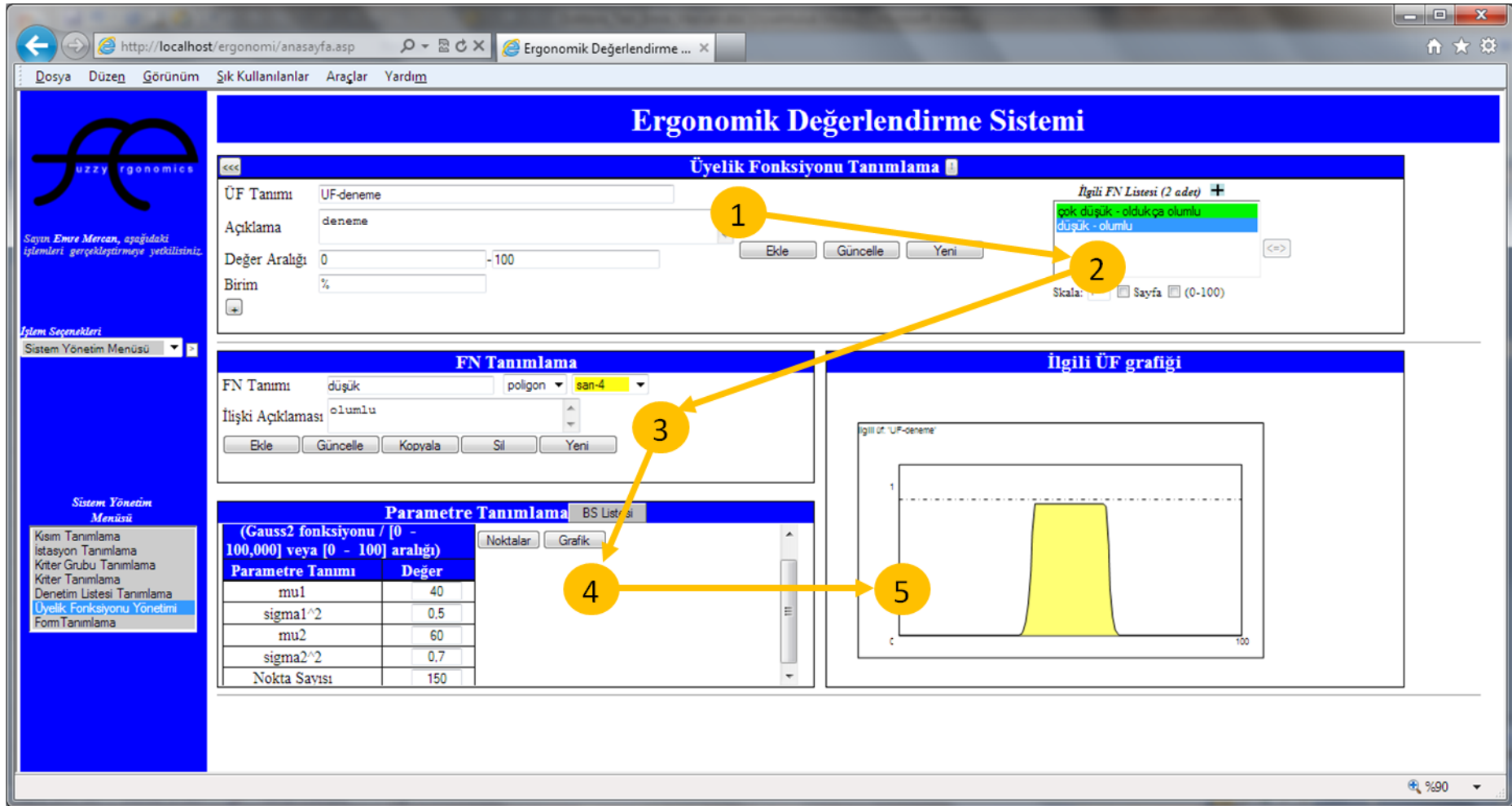


Şekil 4.31 : FuzzyErgonomics Uygulaması - üyelik fonksiyonu görüntüleme.

Üyelik fonksiyonları tanımlandıktan sonra her üyelik fonksiyonunun tipine göre (üçgensel ise 3, yamuk ise 4 veya çok noktalı konveks bir poligon olmak üzere) ilgili parametrelerin girilmesi aşamasına geçilmektedir. “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” kriteri ile ilişkili “ÜF-CK-Ortam Sıcaklığı” olarak tanımlanmış üyelik fonksiyonu grubunda bulunan 5 adet yamuk tipte üyelik fonksiyonunun her biri için 4’er adet parametre değeri girilmiştir. Bunun yanı sıra Şekil 4.32’de örnekleri de verilen tanımlı fonksiyon tiplerinden (Gauss-I, Gauss-II, Normal Dağılım, Parabolik, Sigmodial-I, Sigmodail-II, doğru) faydalanılarak da üyelik fonksiyonları oluşturmak mümkündür. Bunun için öncelikle üyelik fonksiyonunun tanımlanacağı kriter değer aralığı belirlenir, ikinci adım olarak fonksiyon tipi seçilir, üçüncü adımda ilgili fonksiyon tipinin parametre değerleri ve istenen nokta sayısı sisteme tanımlanır, son adımda noktalar oluşturularak veritabanı sistemine kaydedilir (Şekil 4.33). Ne kadar çok nokta tanımlanırsa üyelik fonksiyonu o kadar gerçeği yansıtacak şekilde tanımlanabilir, ancak bu durum Bulanık Çıkarım Modeli algoritması açısından büyük bir hesaplama yükü yaratacak, bu da sistemin yavaş çalışmasına yol açacaktır.



Şekil 4.32 : FuzzyErgonomics Uygulaması - çizilebilen üyelik fonksiyonlarından örnekler.

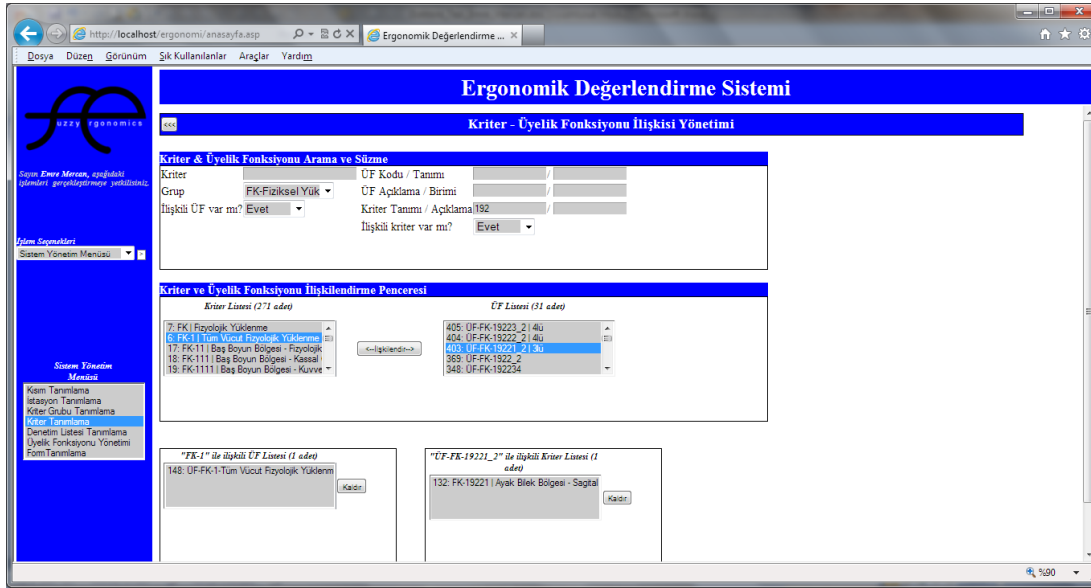


Şekil 4.33 : FuzzyErgonomics Uygulaması - fonksiyona göre nokta tanımlama.

Üyelik fonksiyonlarının ilgili kriter bazında grafiksel gösterimi de değerlendirme aşamalarında Bulanık Çıkarım Modeli'nin çalıştırılması ve bulanıklaştırma sürecinin gerçekleştirilmesi açısından oldukça önemlidir. “CK-310 Ortam Sıcaklığı” kriteri ile ilişkili “ÜF-CK-Ortam Sıcaklığı” tanımlı üyelik fonksiyonu grubunda bulunan “çok sıcak” üyelik fonksiyonunun grafiksel ifadesi “Üyelik Fonksiyonu Tanımlama” ekranının sağ alt tarafında yer alan “İlgili ÜF Grafiği” kısmında yer almaktadır. Sağ üst köşede yer alan “İlgili FN Listesi” penceresindeki “Skala” parametresi ile söz konusu grafiksel gösterimin boyutunun istenilen ölçekte büyütülmesi veya küçültülmesi mümkündür. “(0-100)” ifadesi seçilirse ilgili üyelik fonksiyonlarının tanımlandığı kriter değer aralığının gerçek değerleri yerine (0-100) skalasındaki değerleri grafikte gösterilir. Listenin sağ tarafındaki düğme ile seçili iki üyelik fonksiyonunun gösterim sırası arzu edildiği şekilde değiştirilebilir. Daha sonraki aşamalarda, seçilen Bulanık Çıkarım Modeli'ne göre ve kural kümesinde tanımlı koşul ifadeleri üzerinden gerçekleştirilecek Bulanık Mantık işlemlerine göre, incelenen iş istasyonunun ilgili ergonomik kritere göre değerlendirme sonucu, kriterlere ait üyelik fonksiyonlarının bileşik üyelik fonksiyonu olarak ifade edilebilmekte, yine burada söz konusu bileşke fonksiyonun grafiksel gösterimi söz konusu olmaktadır.

4.3.2.6 Kriter - üyelik fonksiyonu ilişkisi yönetimi

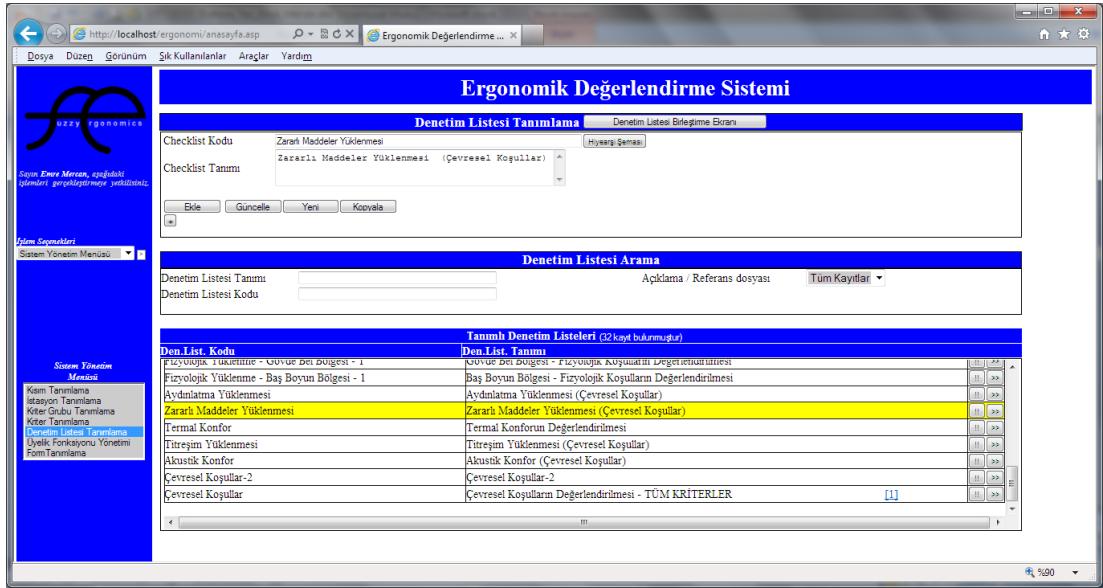
“FuzzyErgonomics” uygulamasında kriterler ve üyelik fonksiyonları arasında ilişkilendirme son derece esnek bir biçimde yapılabilmektedir. Yani kriterlere bağlı üyelik fonksiyonları farklı kriterler için de kullanılabilmektedir. Aynı şekilde her kriter (farklı parametrelere sahip) farklı üyelik fonksiyonları ile de ilişkilendirilebilmektedir (Şekil 4.34). Böyle bir esnekliğin sisteme dahil edilmesindeki en önemli çıkış noktası ise literatürde karşılaşılan farklı kaynakların, her bir kriter için farklı parametre değerleri sunabiliyor olduğu gerçeğidir.



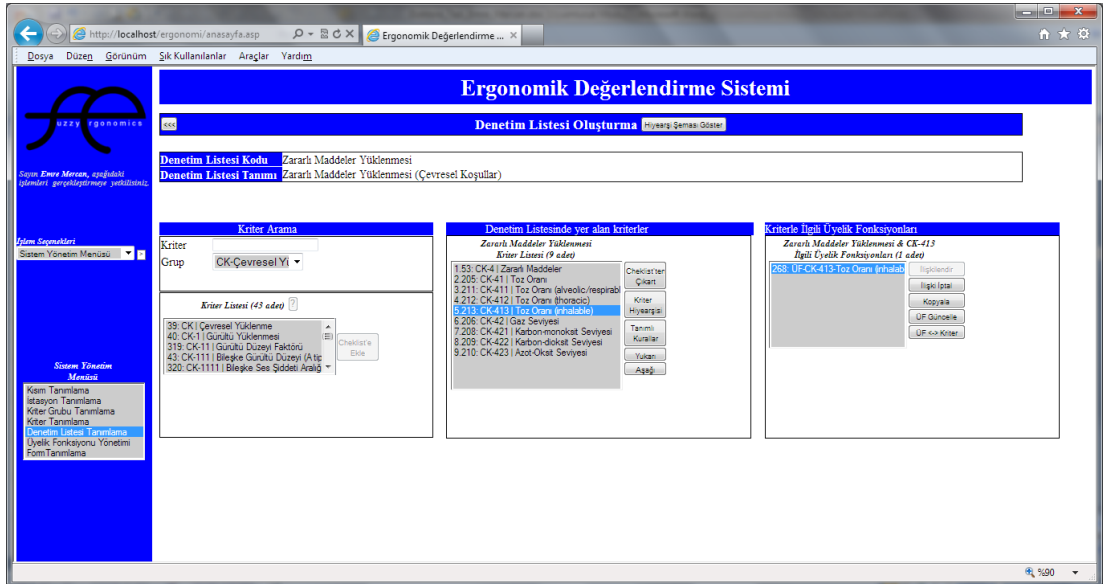
Şekil 4.34 : FuzzyErgonomics Uygulaması - kriter, üyelik fonksiyonu ilişki yönetimi.

4.3.2.7 Denetim listesi tanımlama arayüzü

“FuzzyErgonomics” uygulaması, farklı kriter ve kriter gruplarından farklı değerlendirme denetim listeleri (checklist) oluşturulmasına olanak sağlamaktadır (Şekil 4.35). Her kriter veya kriter grubunun ilgili üretim süreci için geçerli olmadığı durumlarla karşılaşılması mümkündür. Örneğin otomotiv sanayi açısından “Azot-Oksit Seviyesi (CK-423)” kriteri çok önemli bir faktör iken, tekstil sektöründe bu kriterin önemi göz ardı edilebilir. Dolayısıyla sistemde tanımlı 366 kriterin hepsinin bir iş istasyonunun ergonomik değerlendirmesinde, değerlendirme kriteri olarak baz alınmasının rasyonel olmayacağı iş ortamları ile karşılaşılabılır. Bu bağlamda “FuzzyErgonomics” uygulamasında farklı sayıda kriter veya kriter gruplarının birlikte kullanıldığı farklı denetim listeleri tanımlamak mümkündür (Şekil 4.36). Ayrıca bu kapsamda kriter ve kriter alt gruplarının birbirine hiyerarşik olarak bağlılıkları da güncellenebilir, değiştirilebilir. Tabii ki bu durumda yeni Kural Kümesi tanımlanması gerekliliği de göz ardı edilmemelidir.



Şekil 4.35 : FuzzyErgonomics Uygulaması - Denetim listesi tanımlama arayüzü.



Şekil 4.36 : FuzzyErgonomics Uygulaması - denetim listesi, kriter ilişkilendirme arayüzü.

4.3.2.8 Bilgi giriş formu tanımlama arayüzü

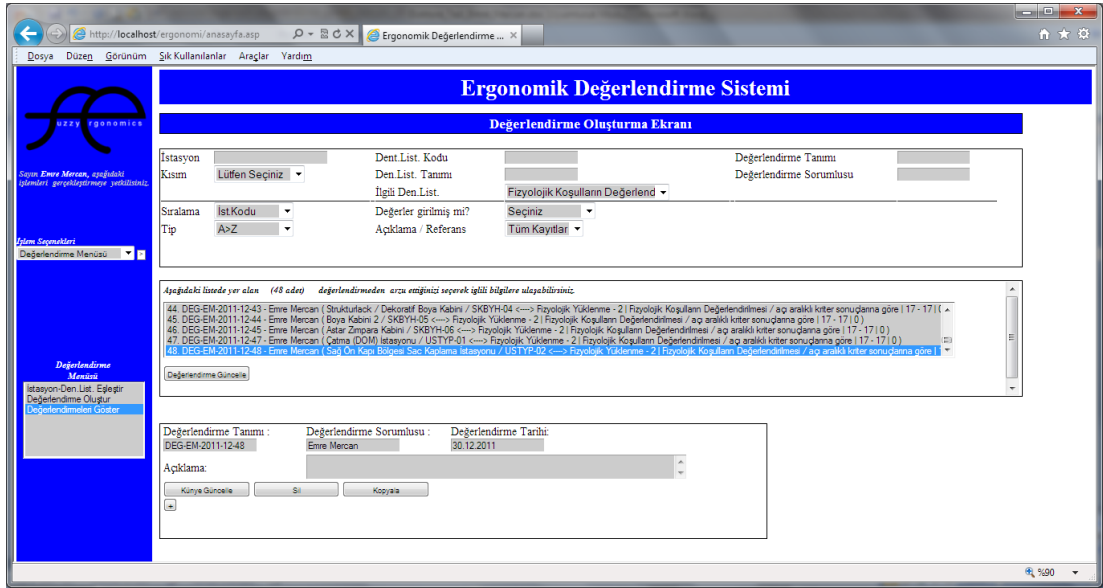
Bilgi toplama ve veri girişi süreçlerini kolaylaştıracı dinamik formlar da yine uygulama kapsamında oluşturularak sisteme tanıtılabilmektedir. “Quick Exposure Check (QEC)”, “Rapid Upper Limb Assessment (RULA)”, “Rapid Entire Body Assessment (REBA)”, “Giysi Faktörü (CLO) Hesaplama Formu”, REFA Formları, “Fizyolojik Yüklenme Parametreleri Veri Giriş Ekranı”, “Ana Faktörler için Fizyolojik Yüklenme Parametreleri Veri Giriş Ekranı”, “Çevresel Yüklenme Parametreleri Veri Giriş Ekranı”, “Mental Yüklenme Parametreleri Veri Giriş

Ekranı”, uygulama kapsamında veri girişi sürecinde kullanılan arayüzlerden en sık ve yoğun kullanılmış olanlardır. “Form Tanımlama” arayüzünde bulunan “Kriter-Form İlişki Yönetimi” ve “Denetim Listesi-Form İlişki Yönetimi” alt uygulamaları ile formlar ve kriterler veya denetim listeleri arasında ilişki tanımlanabilir (Şekil 4.37). Bu sayede özellikle iş istasyonu bazında veri girişi yapılan arayüzde ilgili kritere veya denetim listesine ilişkin veriler girilirken otomatik olarak doldurulan formların, iş istasyonu bazında linklerinin gösterilmesi sağlanmakta, buradan farklı zamanlarda girilmiş verilere ulaşmak ve istenen değerleri seçerek değerlendirme arayüzüne aktarmak mümkün olmaktadır. Tüm bu arayüzler ve ek fonksiyonlar uygulamanın bilgi yönetimi esnekliğini ve şeffaflığını artıran güçlü yönleridir.

Şekil 4.37 : FuzzyErgonomics Uygulaması - form tanımlama arayüzü.

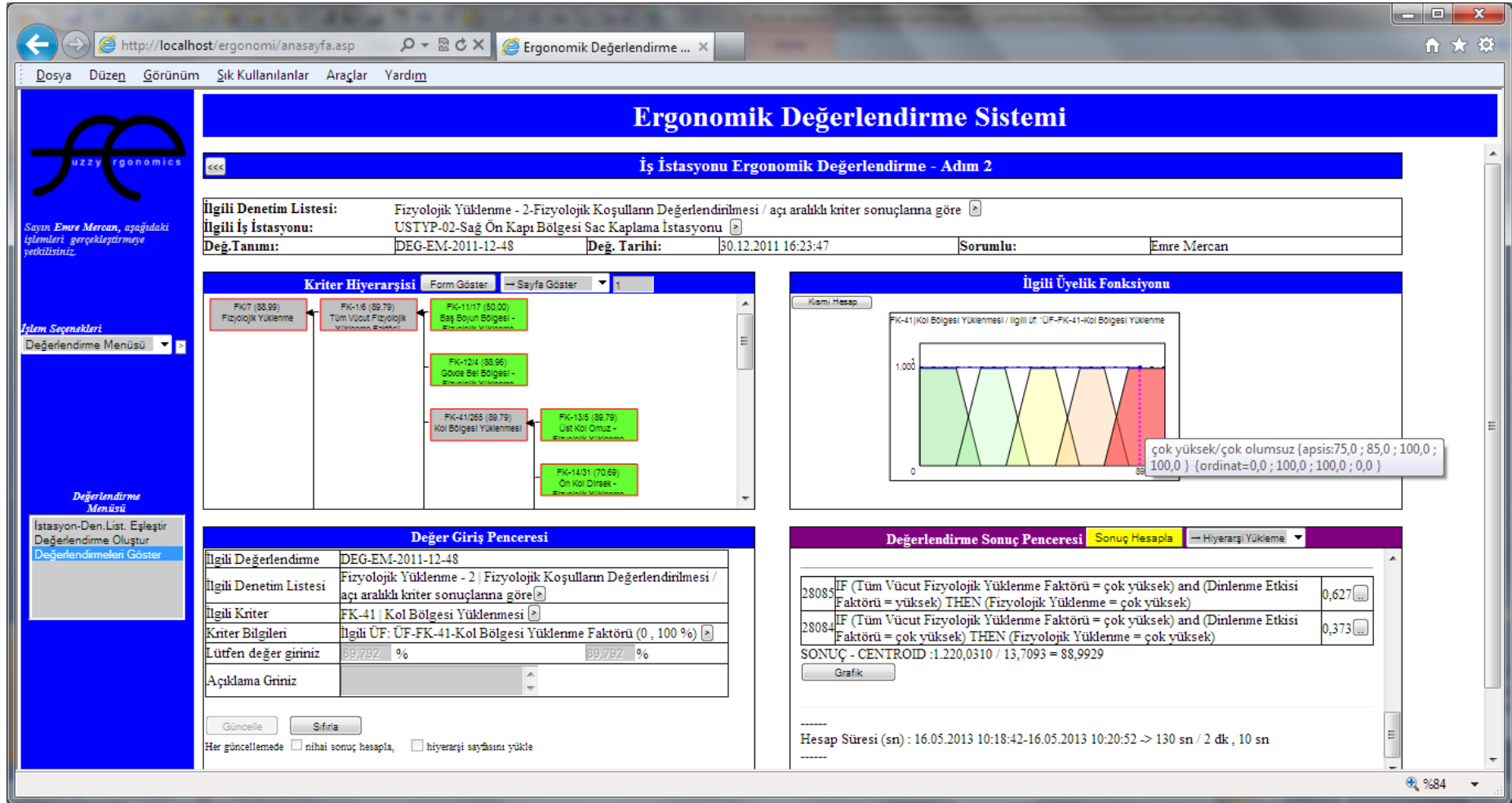
4.3.2.9 Değerlendirme arayüzleri

Ancak denetim listeleri oluşturulduktan ve iş istasyonları ile ilişkilendirildikten sonra değerlendirme süreci yürütülebilir. Denetim listelerinde tanımlı tüm kriterler için üyelik fonksiyonu gruplarının, kural kümesinin tanımlanmış olması, Bulanık Çıkarım Modeli algoritmasının çalışması açısından zaruridir, aksi takdirde değerlendirme yapılamaz. “Değerlendirme Menüsü” arayüzünde iş istasyonları ve denetim listelerinin eşleştirilmesine olanak tanıyan alt uygulamaya “İstasyon-Denetim Listesi Eşleştir” seçeneğinden ulaşılmaktadır. “Değerlendirme Oluştur” seçeneğinden ise önceden oluşturulmuş “iş istasyonu - denetim listesi” eşleştirmeleri için değerlendirme oturumları oluşturulur. Dolayısıyla her eşleştirme için çok sayıda değerlendirme oturumu oluşturmak mümkündür (Şekil 4.38).



Şekil 4.38 : FuzzyErgonomics Uygulaması - değerlendirme oturumlarının listelendiği arayüz.

Her değerlendirme oturumu için değerlendirme tanımı, değerlendirme sürecini gerçekleştirecek çalışan, değerlendirme tarihi ve açıklama bilgilerini girmek gerekmektedir. Bu arayüzden veya “Değerlendirme Göster” seçeneğinden “İş İstasyonu Ergonomik Değerlendirme” arayüzüne dallanılabilir. İlgili arayüzün üst kısmında değerlendirme oturumunun oluşturulduğu denetim listesi ve iş istasyonu ikilisi, değerlendirme tanımı, değerlendirmeyi yapan çalışan ve değerlendirme tarihi bilgileri yer almaktadır. Sol üst alanda bulunan “Kriter Hiyerarşisi” penceresinde denetim listesini oluşturan kriterlere ait hiyerarşik ilişki ağacı görüntülenmektedir (Şekil 4.39). Her kriterin kutularla ifade edildiği, alt kriterlerin bir üst hiyerarşik seviyedeki kriterlere oklarla bağlandığı bu arayüzde, yeşil renkle ifade edilen kutular hiyerarşik ilişki ağacının en altında, birinci seviyedeki kriterlerdir. Gri renkli kutular ise hiyerarşik seviyede daha alt kriterlerin bağlandığı daha üst düğümleri ifade etmektedirler. Yeşil renkli kriterlere değer girilebilirken, gri renkli kriterlere herhangi bir değer girilemez; zira bu kriterlerin değerleri Bulanık Çıkarım Modeli algoritması ile hesaplanmaktadır. Yeşil renkli kutulara tıklandığında arayüzün sol alt kısmında bulunan “Değer Giriş Penceresi” alanında ilgili kriter, ilişkili olduğu üyelik fonksiyonu, değer girilebilecek alt ve üst sınır parametreleri gibi bilgileri barındıran bir form açılmaktadır. Bu arayüz kullanılarak imalattan toplanan ilgili kriter verileri sisteme girilebilir. “Form Göster” düğmesi tıklanırsa daha hızlı ve toplu veri girişine imkan veren form görünümü arayüze de ulaşılmaktadır.



Şekil 4.39 : FuzzyErgonomics Uygulaması - İş istasyonlarının ergonomik değerlendirmesi için kullanılan arayüz.

Arayüzün sağ üst kısmında bulunan “İlgili Üyelik Fonksiyonu” penceresinde ilgili kriterin aldığı değer, bu değere göre hangi üyelik fonksiyonuna veya fonksiyonlarına ait olduğu, ilgili üyelik fonksiyonlarına aidiyet derecesi görülecek şekilde grafiksel olarak görüntülenebilir. Gri renkli üst hiyerarşik seviyelerdeki kriterler seçilirse, bu pencerede “Kısmi Hesap” düğmesi belirir; bu şekilde sadece ilgili kriterin alt kriterleri için Bulanık Çıkarım Modeli algoritması çalıştırılarak ergonomik kriter performans değeri hesaplanır. Özellikle çok sayıda kriterin ve hiyerarşik seviyenin bulunduğu denetim listelerinin kullanıldığı değerlendirme süreçlerinde sistem yavaşlamasından kaynaklanan hataların ve zaman kayıplarının önüne bu şekilde geçilebilmektedir. Arayüzün sağ alt penceresinde bulunan “Değerlendirme Sonuç Penceresi”nde “Sonuç Hesapla” düğmesi ile tüm hiyerarşik yapı için, birinci seviyeden başlanarak Bulanık Çıkarım Modeli algoritması çalıştırılır ve hiyerarşik yapının en üstünde yer alan ergonomik kriter performans değeri hesaplanabilir. Hiyerarşik yapının her seviyesinde bulunan üst kriterlerin aldığı değerler, algoritma için tanımlanan kural kümesindeki hangi kuralların kullanılarak bileşke üyelik fonksiyonu değerlerinin hesaplandığı, işlem süresi gibi bilgiler buradan takip edilebilmektedir. Kuralların sağ tarafında yer alan düğmelere basıldığında ilgili bileşke üyelik fonksiyonu hesap detaylarının grafiksel gösterimine ulaşılabilir.

4.3.2.10 Rapor yönetimi arayüzü

Değerlendirme sürecinin çıktıları olan yüklenme seviyelerini herhangi bir kriter bazında, iş istasyonu, grup şefliği veya kısım müdürlüğü için görüntülemeyi sağlayan esnek bir raporlama aracı geliştirilmiştir (Şekil 4.40). İlk olarak arayüzde sol üst pencerede bulunan denetim listesi kısmından, raporlamanın yapılacağı kriter veya kriterleri içeren denetim listesi seçilir; ardından veri filtremeleri için gerekli iş istasyonu, kısım veya söz konusu kriter için değer girilip girilmeme durumu bilgileri arayüze tanımlanır. Sağ üst pencerede, sol üst penceredeki denetim listesi alanında girilmiş veriler doğrultusunda filtrelenerek arayüze yansıtılan kriter, kısım ve iş istasyonu bilgi alanları görüntülenir. Bu üç bilgi istenen kombinasyonda seçilerek arayüzün alt kısmında raporlama gerçekleştirilir; dilendiği takdirde rapor bilgileri “MS Excel” dosyası olarak da kaydedilebilir.

http://localhost/ergonomi2/anasayfa.asp Ergonomik Değerlendirme ...

Dosya Düzen Görünüm Şık Kullanılanlar Araçlar Yardım

Ergonomik Değerlendirme Sistemi

Rapor Yönetimi Ekranı

Form Checklist

Checklist Kodu Tanımı Fizyolojik Yükleme - 2

Kısım bilgisi

İş İstasyonu bilgisi

Kriterler Tanım Açıklama Değer Girilmiş mi değer olan

Kriterler FK-1-Tüm Vücut Fizyolojik Azaltı

Kısımlar 3411-Parça Üretimi -

İş İstasyonları Hepsi

İzlele MS Excel

Kayıt Sayısı : 6

İş İstasyonu	İstasyon Tanımı	Kullanılan Checklist	Kriter Bilgisi
PRC-09	CNC Abkant Sac Büküm Tezgahı - 1	Fizyolojik Yükleme - 2	FK-1 - Tüm Vücut Fizyolojik Yükleme Faktörü düşük (olumlu): 100%
PRC-05	Dikey Matkap Tezgahı - 1	Fizyolojik Yükleme - 2	FK-1 - Tüm Vücut Fizyolojik Yükleme Faktörü düşük (olumlu): 100%
PRC-07	NC Boru Bükme Tezgahı - 1	Fizyolojik Yükleme - 2	FK-1 - Tüm Vücut Fizyolojik Yükleme Faktörü düşük (olumlu): 100%
PRC-01	NC Daire Testere Tezgahı - 1	Fizyolojik Yükleme - 2	FK-1 - Tüm Vücut Fizyolojik Yükleme Faktörü çok düşük (oldukça olumlu): 37,3% düşük (olumlu): 62,7%
PRC-13	Lazer CNC Tezgahı - 1	Fizyolojik Yükleme - 2	FK-1 - Tüm Vücut Fizyolojik Yükleme Faktörü çok düşük (oldukça olumlu): 100%
PRC-16	Punch Pres Tezgahı - 1	Fizyolojik Yükleme - 2	FK-1 - Tüm Vücut Fizyolojik Yükleme Faktörü çok düşük (oldukça olumlu): 100%

85

Şekil 4.40 : FuzzyErgonomics Uygulaması - rapor yönetimi arayüzü.

4.3.3 Kullanılan Grafiksel Gösterim Yöntemleri

Uygulamadaki üyelik fonksiyonu grafikleri, Microsoft “.NET Framework” teknolojisi bileşenlerinin, ASP.NET web uygulaması geliştirme dili aracılığıyla kullanılması yöntemiyle üretilmişlerdir. “.NET Framework”, Microsoft tarafından geliştirilen, açık Internet protokolleri ve standartları üzerine kurulmuş entegre bir uygulama geliştirme platformudur. Buradaki uygulama kavramının kapsamı çok geniştir. Bir masaüstü uygulamasından bir web tarayıcı uygulamasına kadar her şey bu platform içinde düşünülmüş ve desteklenmiştir. Bu uygulamaların birbirleriyle ve geliştirildikleri ortamdan bağımsız diğer tüm uygulamalarla iletişimi için kolayca web servisleri oluşturulmasına imkan verilmiştir. Bu platform, işletim sisteminden ve donanımdan daha üst seviyede taşınabilir olarak tasarlanmıştır [128].

ASP.NET, Microsoft tarafından üretilmiş bir web uygulama geliştirme teknolojisidir. Dinamik web sayfaları, web uygulamaları ve XML tabanlı web hizmetleri yaratılmasına olanak tanır. “.NET Framework” yapısının bir parçası olarak, ASP teknolojisinin devamını teşkil eder. Her ne kadar isim benzerliği olsa da ASP.NET, ASP'ye oranla çok ciddi bir değişim geçirmiştir. ASP.NET kodu “ortak dil çalışma zamanı (common language runtime)” altyapısına dayalı çalışır; diğer bir deyişle, yazılımcılar “.NET Framework” tarafından desteklenen tüm dilleri ASP.NET uygulamaları geliştirmek için kullanabilirler. Yani, Java teknolojisinde olduğu gibi, yazılımcı tarafından yazılan kod, çalıştırılmadan önce sanal bir yazılım katmanı tarafından ortak bir dile çevrilmektedir [129].

“FuzzyErgonomics” uygulamasında “.NET Framework” teknolojisine ait “System.Drawing” sınıfının (class library) ilgili “GDI+ (Graphics Device Interface)” grafiksel gösterim, çizim metotları ve fonksiyonları ASP.NET kodu içerisinde kullanılmıştır. ASP.NET sayfası içerisinde ilgili fonksiyonlarla çeşitli geometrik şekiller oluşturmak mümkündür.

Tez kapsamında geliştirilen “FuzzyErgonomics” uygulamasında, kullanımı halen deneme aşamasında olan diğer bir grafiksel gösterim tekniği de “VML (Vector Markup Language)” olarak tanımlanan ve XML mantığı ile işleyen, doğrudan HTML sayfalarının üzerine çeşitli interaktif geometrik şekiller çizilmesine olanak tanıyan nispeten daha yeni bir teknolojidir. GDI+ ve VML karşılaştırıldığında her ikisinin de birçok avantaj ve dezavantajları olduğu görülecektir. Bunlardan en önemlisi, VML

teknolojisinin sadece Internet Explorer tarafından desteklendiği gerçeğidir. GDI+ teknolojisi ise farklı platform, işletim sistemi ve web tarayıcıları tarafından tanınan ve derlenebilen bir grafik teknolojisidir. Ancak VML ile, görüntü kalitesi çok yüksek, Microsoft'un diğer ürünleri ile uyum gösterebilen, görsellik açısından zengin ve interaktif grafikler çizilebiliyor olması gerçeği de göz ardı edilmemesi gereken bir faktördür [130].

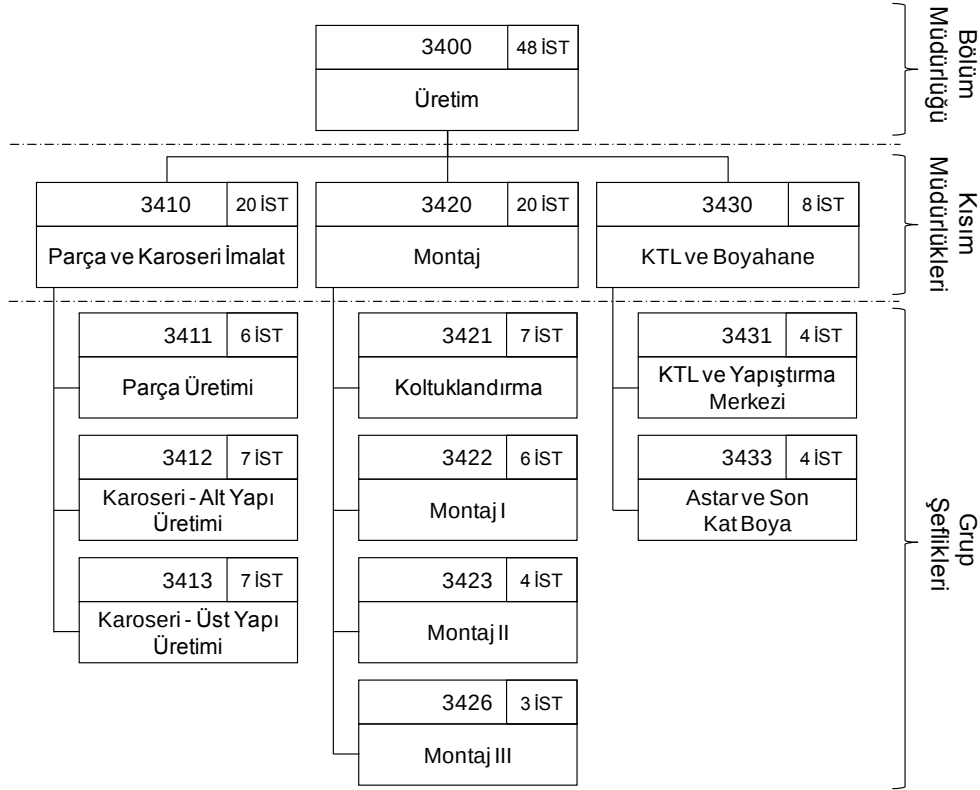
Diğer bir grafiksel gösterim teknolojisi alternatifi ise MatLab program paketinde yer alan "FuzzyLogic" arabirimindeki sınıf kütüphanelerinin ".NET Framework" kapsamında kullanılmasıdır, ancak tez kapsamında bu kütüphaneler kullanılmamıştır.

5. İMALAT UYGULAMASI

Tüm uygulamalar ve analiz çalışmaları, 2400 mavi yaka çalışanın istihdam edildiği, 115 dönümü kapalı alan olmak üzere toplam 360 dönüm arazi üzerine kurulu üretim tesislerinde (2013 yılı için geçerli olmak üzere) yıllık 4000 araç üretim kapasitesi ile yolcu ve belediye otobüsü üretimi yapılan Mercedes-Benz Türk A.Ş. Hoşdere otobüs üretim fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Ağırlıklı olarak Karoseri üretimi kısmında şasi, gövde ve parça imalat birimlerindeki kaynak, bükme, kesme iş istasyonları, Montaj kısmına bağlı Mekanik Montaj, Elektrik Montaj ve Süsleme birimlerindeki iş istasyonları, Boyahane kısmına bağlı Astar ve Son Kat Boya birimlerindeki iş istasyonları ve son olarak Koltuk İmalat kısmındaki Koltuk Hazırlama ve Montaj birimlerinden seçilen toplam 48 adet iş istasyonu incelenmiştir. İş istasyonları seçilirken özellikle ilgili kısmın ana üretim sürecinde yer almalarına ve ilgili üretim sürecinin karakteristik özelliklerini yansıtıyor olmalarına dikkat edilmiştir. Mercedes-Benz Türk A.Ş. üretim birimlerinin organizasyon yapısı incelendiğinde benzer iş kapsamlarının gerçekleştirildiği iş istasyonlarından oluşan üretim hatlarının grup şefliği olarak tanımlandığı, grup şefliklerinden ise kısım müdürlüklerinin oluşturulduğu görülecektir. Tez uygulaması kapsamında incelenen 48 iş istasyonunun organizasyonel olarak bağlı bulundukları grup şeflikleri ve kısım müdürlükleri arasındaki hiyerarşik ilişki ve iş istasyonlarının ilgili grup şeflikleri ve kısım müdürlüklerine dağılımı Şekil 5.1 ve Çizelge 5.1’de yer almaktadır.

İlgili iş istasyonlarında takt zamanı süresince gözlem yapılmış olup, paralelinde fotoğraf ve video çekimleri de gerçekleştirilmiştir. Özellikle Fizyolojik Yüklenme denetim listesi grubundaki faktörlerin değerlendirilmesinde bu görsel verilerden de faydalanılmıştır. İlgili iş istasyonlarında kullanılan tertibat, el aletleri, tezgahlar, İSG koruyucu donanım ve aksesuarları, Planlama tarafından oluşturulan iş adımı listeleri ve standart zaman ölçümleri de iş istasyonu bazında toplanan ve analiz çalışması çerçevesinde büyük önem taşıyan verilerdendir. Çevresel koşullarla ilgili kriterlerin ölçülmesinde de fabrikanın Teknik Hizmetler birimine ait ölçüm aletleri

kullanılarak veri toplanmış, ayrıca daha önce çevresel koşulların ölçülmesi ve raporlanması ile ilgili dış firmalara yaptırılmış benzer çalışmalardan faydalanılmıştır.



Şekil 5.1 : Grup şeflikleri ve kısım müdürlükleri arasındaki ilişki.

Çizelge 5.1 : Analiz edilen iş istasyonlarının listesi.

Kısım	Grup Şefliği	Kod	İş İstasyonu Tanımı
3410	3411	PRC-05	Dikey Matkap Tezgahı - 1
3410	3411	PRC-07	NC Boru Bükme Tezgahı - 1
3410	3411	PRC-09	CNC Abkant Sac Büküm Tezgahı - 1
3410	3411	PRC-01	NC Daire Testere Tezgahı - 1
3410	3411	PRC-13	Lazer CNC Tezgahı – 1
3410	3411	PRC-16	Punch Pres Tezgahı – 1
3410	3412	ALTYP-01	Alt Yapı Son Kontrol İstasyonu
3410	3412	ALTYP-02	Bagaj Çerçevesi R1/R2 İstasyonu
3410	3412	ALTYP-03	Orta Altyapı 2. Operasyon İstasyonu
3410	3412	ALTYP-08	Ön Aks Önü İstasyonu
3410	3412	ALTYP-09	Ön Aks Üstü İstasyonu
3410	3412	ALTYP-17	Doğrultma İstasyonu
3410	3412	ALTYP-04	Ön Segment Komple Birleştirme İstasyonu
3410	3413	ALTYP-10	Ön Segment (SHD/R2) Komple Birleştirme
3410	3413	ALTYP-12	Komple Birleştirme İstasyonu

Çizelge 5.1 (devam) : Analiz edilen iş istasyonlarının listesi.

Kısım	Grup Şefliği	Kod	İş İstasyonu Tanımı
3410	3413	ALTYP-15	Arka Segment Ters Kaynak istasyonu
3410	3413	USTYP-01	Çatma (DOM) İstasyonu
3410	3413	USTYP-02	Sağ Ön Kapı Bölgesi Sac Kaplama İstasyonu
3410	3413	ALTYP-14	Intouro Pudrel İstasyonu
3410	3413	ALTYP-13	Intouro Orta Segment İstasyonu
3420	3421	KLT-05	Şoför Koltuğu Ön Montaj Platformu
3420	3421	KLT-36	Elyaf Kesim Dikiş Makinası
3420	3421	KLT-37	Çift İğneli Dikiş Makinası
3420	3421	KLT-43	Tek İğneli Dikiş Makinası
3420	3421	KLT-44	Overlok Makinası
3420	3421	KLT-47	Kumaş Kesim Masası
3420	3421	KLT-48	CNC Kumaş Kesim Tezgahı
3420	3422	MON-05	Kablo Demeti Hazırlık İstasyonu-1
3420	3422	MON-10	Hatta Alış İstasyonu
3420	3422	MON-11	Montaj İstasyonu- 1
3420	3422	MON-12	Montaj İstasyonu- 2
3420	3422	MON-13	Montaj İstasyonu- 3
3420	3422	MON-14	Montaj İstasyonu- 4
3420	3423	MON-19	Montaj İstasyonu- 9
3420	3423	MON-20	Montaj İstasyonu- 10
3420	3423	MON-17	Montaj İstasyonu- 7
3420	3423	MON-18	Montaj İstasyonu- 8
3420	3426	MON-29	Montaj İstasyonu- 20
3420	3426	MON-27	Montaj İstasyonu- 18
3420	3426	MON-28	Montaj İstasyonu- 19
3430	3431	KTL-05	KTL - Komisyonlama İstasyonu
3430	3431	PRC-12	Fosfatlama Tesisi
3430	3431	SKBYH-01	İzolasyon İstasyonu - Alt
3430	3431	PRCBYH-05	Motor Kapak Yapıştırma İstasyonu
3430	3433	SKBYH-03	KTL Zımpara Kabini 1
3430	3433	SKBYH-04	Strukturlack / Dekoratif Boya Kabini
3430	3433	SKBYH-06	Astar Zımpara Kabini
3430	3433	SKBYH-05	Boya Kabini 2

Toplanan değerlendirme verileri, kriterlere ait üyelik fonksiyonu parametreleri, kriterler arasındaki ilişkilendirme verileri (kurallar) geliştirilen “FuzzyErgonomics” yazılımı desteği ile şirket Intranet sunucusunda yer alan veritabanında saklanmaktadır. Değerlendirmeler, model üzerindeki her tür değişiklik ve

güncellemeler de “FuzzyErgonomics” Intranet arayüz uygulaması üzerinden gerçekleştirilebilmektedir.

5.1 Uygulamaya Yönelik Veri Toplama ve İstatistiksel Analiz Yaklaşımları

Çevresel yüklenme kapsamındaki kriterlerle ilgili verilerin toplanması sürecinde doğrudan sahada yapılan ölçümlerden, daha önce İş Sağlığı ve Güvenliği danışmanlığı veren firmaların imalat içerisinde yapmış olduğu ölçümlerden ve ISO, CEN, DIN gibi ilgili uluslararası standartlarından faydalanılmıştır.

Hissedilen Sıcaklık (Isıl Konfor) kriter grubunu oluşturan ve çevresel faktör bileşkesini etkileyen Ortam Sıcaklığı, Bağıl Nem, Işınım Sıcaklığı, Havalandırma kriterleri ile ilgili veriler 169 iş istasyonunda doğrudan ölçümler yapılarak toplanmıştır. Ölçümlerde kullanılan cihazlar, bakımdan sorumlu Teknik Hizmetler birimi bünyesinde kalibrasyonları standartlara uygun şekilde yapılan ve takip edilen donanımlardan seçilmiştir. Hoşdere fabrikasındaki imalat tesislerinde tez çerçevesinde incelenen iş istasyonlarında 2011 yılının Haziran ve Temmuz aylarında ilgili kriterlerin en büyük, en küçük ve ortalama değerlerinin tespitine yönelik ortalama 5 dakikalık sürekli ölçümler yapılmıştır. Hissedilen Sıcaklık kriter grubunu oluşturan ve ısı konforun kişisel faktör bileşenini etkileyen İş Elbisesi ve Aksesuar Etkisi ile Metabolizma Oranı Etkisi kriterlerine ait değerlerin tespitinde ISO 7730, ISO 7933, ISO 8996, ISO 7243 gibi “Isıl Çevre Ergonomisi” grubu standartlarından faydalanılmıştır.

Titreşim kriterinden kaynaklanan yüklenmelerin belirlenmesinde, maruz kalınan El-Kol ve Tüm Vücut titreşim değerlerinin ölçümlenmesi çerçevesinde veri toplanmıştır. Bu kapsamda 48 iş istasyonuna yönelik gerçekleştirilen veri toplama sürecinde, kullanılan el aletleri veya tezgahlardan kaynaklanan titreşim düzeylerinin belirlenmesinde cihaz veya tezgah üreticilerinin sağladığı dokümantasyondan ve İSG Danışmanlık firması ölçüm raporlarından faydalanılmıştır. Gürültü Yüklenmesi kriter grubunda yer alan Gürültü Düzeyi Faktörü için de yine titreşim faktöründeki gibi İSG danışmanlık firması ölçüm raporlarından, en büyük, en küçük ve ortalama gürültü düzeylerinin tespitine yönelik doğrudan yapılan ölçümlerden faydalanılmıştır.

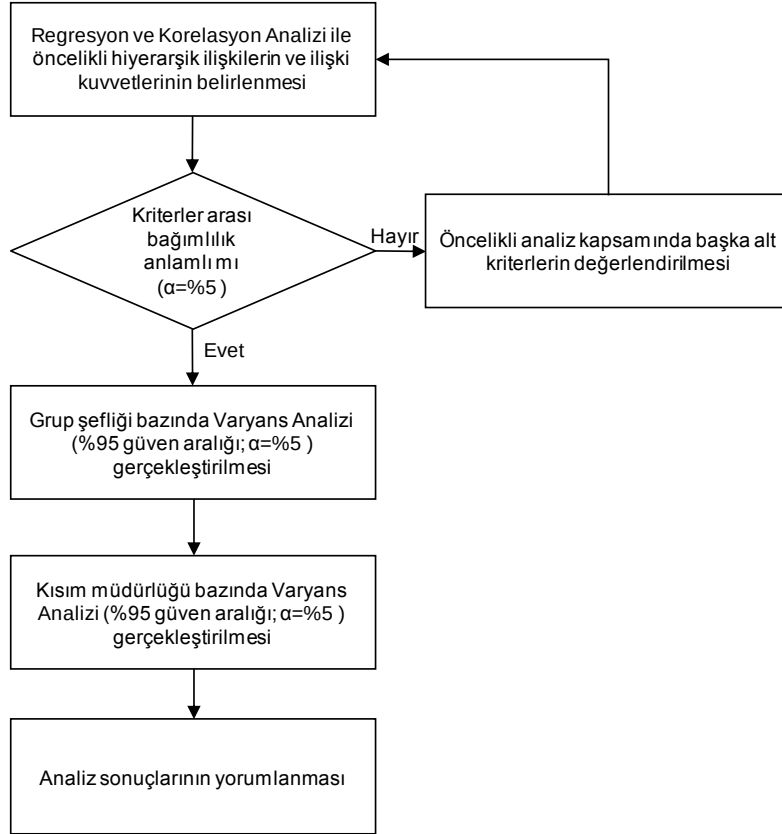
Aydınlatma Düzeyi Seviyesi kriter grubuna bağlı Aydınlık Düzeyi Farkı, Kamaşma Derecesi Farkı ve Renksel Geriverim Farkı kriterlerinin tespitinde ISO 8995 Çalışma Alanlarının Aydınlatılması standart grubundaki bilgilerden ve İSG danışmanlık firması verilerinden faydalanılmıştır. İş türüne göre ISO 8995 standardında yer alan ve kriter bazında olması gereken referans değer bilgilerini içeren çizelgeler ile danışmanlık firmasının yapmış olduğu ölçümler arasındaki farklılığın derecesi, yani referans değerden yüzde olarak sapma oranı değerlendirmede kullanılan verileri teşkil etmiştir.

Fizyolojik yüklenme modeline yönelik veri toplama çalışmaları iki aşamalı yürütülmüştür. Öncelikle iş istasyonu bazında yapılan işlerle ilgili görsel veriler, video ve fotoğraf desteği ile toplanmıştır. Buna ek olarak 48 iş istasyonu için Planlama ve İş Hazırlama birimlerinden, takt zamanı bazlı, standart zaman hesaplarını da içerecek şekilde üretim süreç adımları alınmıştır. Görsel verilerden hareketle takt zamanını oluşturan ortalama 10-15 temel iş adımı bazında fizyolojik kriterlere ilişkin veriler belirlenmeye çalışılmış ve sisteme girişleri gerçekleştirilmiştir. Burada veri toplama ve sisteme giriş çerçevesinde “FuzzyErgonomics” uygulamasını kullanabilen Teknik Eğitim Merkezi çalışanlarından 3 uzman eğitmen ve bir Endüstri Mühendisi’nden destek alınmış, “FuzzyErgonomics” üzerinde oluşturulan web tabanlı elektronik formlar aracılığı ile sisteme veri yüklemesi gerçekleştirilmiştir.

Mental yüklenme modeline ilişkin veri toplama çalışmaları ilgili grup şefliklerinde çalışan postabaşı, işletme mühendisi ve grup şefleri ile yapılan görüşmeler çerçevesinde yürütülmüş ve yine “FuzzyErgonomics” üzerinde oluşturulan web tabanlı elektronik formlar aracılığı ile sisteme veri yüklemesi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada grup şeflikleri arasındaki karşılaştırmalar, ilgili branştan Eğitim Merkezi eğitmenlerinden teşkil edilen uzman grubun katılımı ile yapılarak veriler son haline getirilmiştir.

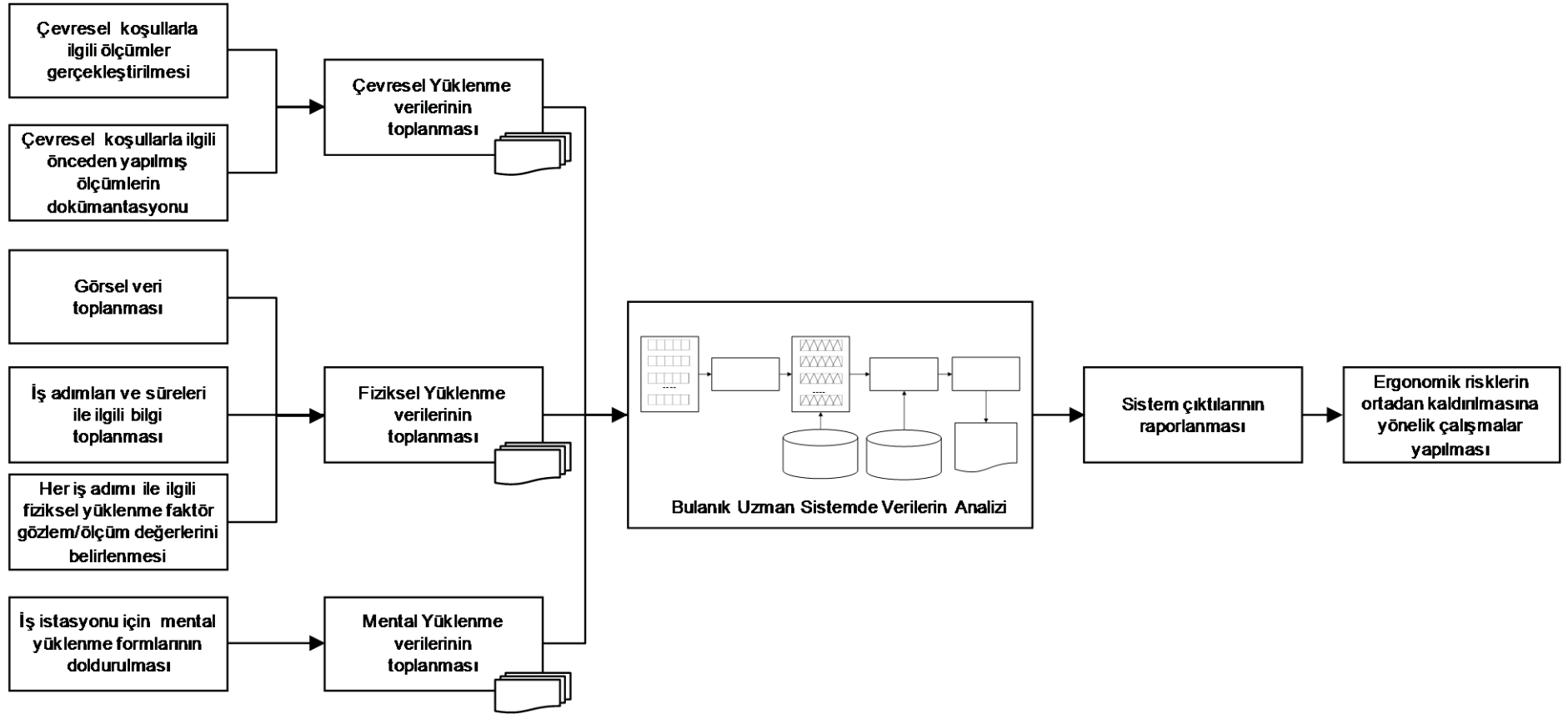
Gözlemler sonucu toplanan verilerin modele yüklenmesi ile elde edilen sonuçların yorumlanması için istatistiksel analiz yöntemlerinden faydalanılmıştır. Öncelikle regresyon analizi yardımı ile modeli oluşturan kriterler arasındaki ilişki irdelenmiştir. Hiyerarşik ilişki istatistiksel olarak anlamlı ise grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında söz konusu faktör değerleri ortalamaları karşılaştırılarak öncelikli yüklenme riskleri belirlenmeye çalışılmıştır. Sistem çıktılarının istatistiksel analiz yöntemleri

ile raporlanması ve bu sonuçlardan çıkarımlar elde edilmesi süreci Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Verilerin toplanması, değerlendirilmesi ve sonuçların elde edilmesi ana süreç adımları da Şekil 5.3’de özetlenmiştir. Tez çerçevesinde incelenen veri gruplarındaki verilerin normal dağılıma uydukları ve temsil ettikleri ana kitle ile aynı varyansa sahip oldukları kabul edilmiştir. İstatistiksel analiz çalışmalarında kullanılan tüm hipotez testlerinde güven aralığı %95 ($\alpha=5$) olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.2 : Sistem çıktılarının yorumlanmasında kullanılan süreç.

Burada vurgulanması ve dikkat edilmesi gereken husus, istatistiksel anlamlılık ve kriterler arası etkileşim seviyelerinin kullanılan modele yüklenen gözlemsel verilerle ilişkili olduğu gerçeğidir. Zira Bulanık Çıkarım Modeli’ndeki bazı kurallar ve üyelik fonksiyonu parametreleri uzman görüşleri çerçevesinde belirlenmiş ve modele yüklenmiş olup, farklı bir sektör veya işletme koşullarında aynı model kullanılarak elde edilen sonuçların analizinde farklı anlamlılık seviyelerinde ilişkiler ortaya çıkabilir. Aynı analizi sadece grup şefliği veya kısım müdürlüğü bazında yaparsak da farklı sonuçlar ortaya çıkacağı aşikardır. Ancak bu durumda tez kapsamında kullanılan gözlemsel veri hacmi sağlıklı analiz yapmak için yeterli olmayacaktır.



Şekil 5.3 : Uygulama süreç adımlarının (verilerin toplanması, değerlendirilmesi ve sonuçların elde edilmesi) şematik gösterimi.

5.2 Fizyolojik Yükleme Modeli Uygulama Sonuçları

Fizyolojik yüklenmenin belirlenmesine yönelik iki farklı yaklaşım modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen iki modele “FuzzyErgonomics” yazılımı kullanılarak gözlemsel verilerin yüklenmesi ve modellerin koşturulması sonucu vücut bölgeleri bazında yüklenme değerleri 48 iş istasyonu için hesaplanmıştır. Geliştirilen her iki modelin ana hatları aynı olmakla birlikte kullanılan vücut duruş analizi yöntemi çerçevesinde literatürde karşılaşılan iki temel yaklaşımın söz konusu modellerde kullanılmış olması, modeller arasındaki temel farklılığı yaratmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde söz konusu farklılık da irdelenmiş olup, iş istasyonlarının yer aldığı grup şeflikleri ve kısım müdürlüklerinin de kendi aralarında karşılaştırılmaları söz konusu olmuştur. Grup şeflikleri ve grup şefliklerinin bağlı oldukları daha üst organizasyonel yapılar olan kısım müdürlükleri genel anlamda söz konusu iş kolunun karakteristik özelliklerini de yansıttıklarından, karşılaştırmaların ve bu karşılaştırmalardan elde edilen istatistiksel çıkarımların yorumlanması ilgili iş kolundaki mesleği yerine getiren çalışanlar üzerinde oluşan yüklenmelerin tespiti açısından büyük önem taşımaktadır.

5.2.1 Uygulamada kullanılan fizyolojik yüklenme modelleri arasındaki temel farklılıklar

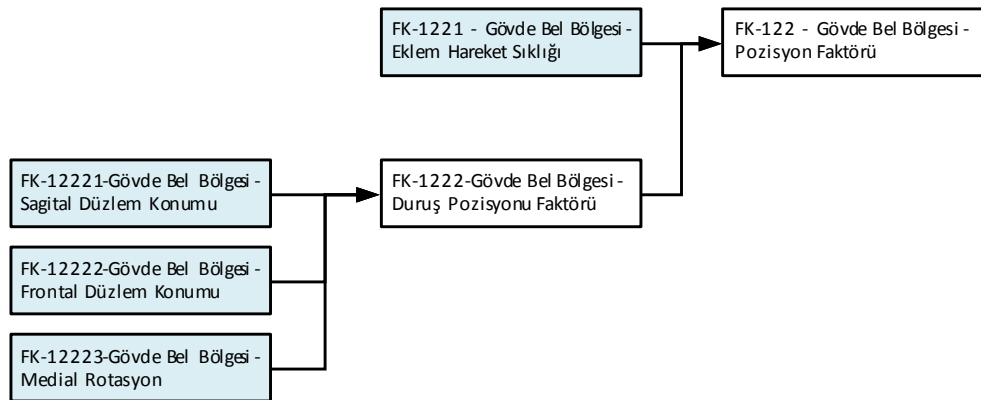
İmalat uygulamasında kullanılan, vücudun çeşitli bölgelerindeki eklem yerlerinin açı aralıklı konumlarında çalışılan süreye bağlı fizyolojik yüklenme düzeylerinin belirlendiği yaklaşım ile anlık gözlemsel verilere dayalı yaklaşıma göre tespit edilen Fizyolojik Yükleme modelleri arasındaki farklılıklar bu kısımda irdelenmiştir. Açı aralıklı Fizyolojik Yükleme modelinde (Model-2), çalışma esnasında incelenen vücut bölgelerinin önceden belirlenen açı aralıklarında ne kadar süre yüklenmeye maruz kaldıkları gözlemlenirken; diğer modelde (Model-1), incelenen vücut bölgelerinin maruz kaldıkları “en kötü durum” olarak da tanımlanabilecek koşulların gözlemleniyor olması en temel farklılık olarak tanımlanabilir. Model-1 için benimsenebilecek diğer bir bakış açısı da ilgili vücut bölgesinin çalışma vaktinin büyük çoğunluğunda maruz kaldığı yüklenme koşullarının incelenmesi ve analizin bu gözlemlere göre yapılmasıdır. Bu bakış açısı QEC (Quick Exposure Check), REBA (Rapid Entire Body Assessment), RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

gibi birçok gözlemsel fizyolojik yüklenme tespit yönteminde kullanılan klasik bir yaklaşımdır [43].

Uygulamada bu iki temel yaklaşıma göre yapılandırılan modeller kullanılarak 48 iş istasyonu analiz edilmiştir. Her iki modeli oluşturan kriter hiyerarşilerinin ana hatlarıyla yapıları aynıdır, ancak temel yaklaşım farkı olan ilgili vücut bölgesinin hangi fizyolojik yüklenme koşullarına maruz kaldığının çalışma süresine göre dağılımını temel alan yaklaşım ve en uzun süre veya en zorlayıcı koşullara göre maruz kalınan yüklenmeyi temel alan yaklaşımın karakteristik özellikleri alt kriterlere yansıtılmaya çalışılmıştır.

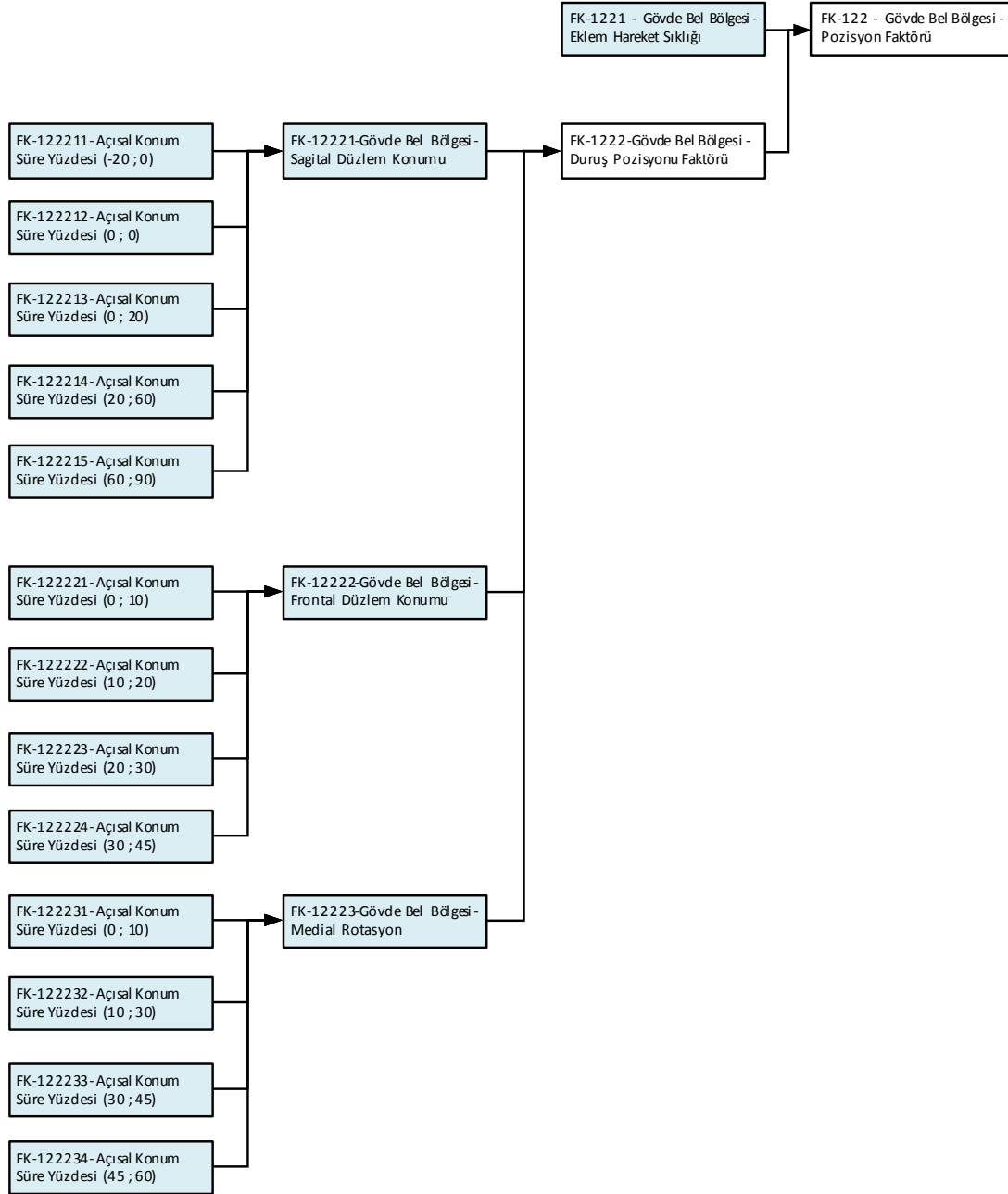
Her iki modelin koşturulması ile ortaya konulan iş istasyonu bazlı yüklenme düzeyleri gerek üst hiyerarşik düzeyde veya daha alt düzeylerde çeşitli kriterlere göre karşılaştırılarak anlamlı bir istatistiki farklılık olup olmadığı gösterilmeye çalışılmıştır. İstatistiksel analiz sonuçlarından hareketle her iki modelin temel felsefe ve bakış açılarının iş istasyonu düzeyinde fizyolojik yüklenme tespitinde ne kadar kritik farklılıklar ortaya koyabileceği de irdelenmiştir.

Örnek olarak ele alınacak ve iki model arasındaki en büyük farklılığın gözlemlenebileceği kriterlerden “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Faktörü (FK-122)” alt kriterlerinden “Gövde Bel Bölgesi Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1222)” ve “Gövde Bel Bölgesi Sagital Düzlem Konumu (FK-12221)” her iki modelde de yer almaktadır. Aradaki temel farklılıklar Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de gösterilen hiyerarşik yapıların karşılaştırılmasıyla kolayca anlaşılabilir. Şekil 5.4’de görüleceği üzere birinci modelin çerçevesini oluşturan en temel veriler sagital, frontal ve medial rotasyon faktörlerine göre belin en belirgin veya en uzun çalışma süre payına sahip, ilgili iş istasyonunu karakterize eden açısal değerli duruş pozisyonu parametreleridir.



Şekil 5.4 : Model-1 kriterlerinin hiyerarşik gösterimine örnek (FK-122).

İkinci modelde ise Şekil 5.5’de yer alan hiyerarşik yapıdan da anlaşılacağı üzere belin çalışma esnasında önceden belirlenmiş açı aralıklarında ne kadar süre konumlandığını gösteren veriler kullanılmaktadır.



Şekil 5.5 : Model-2 kriterlerinin hiyerarşik gösterimine örnek (FK-122).

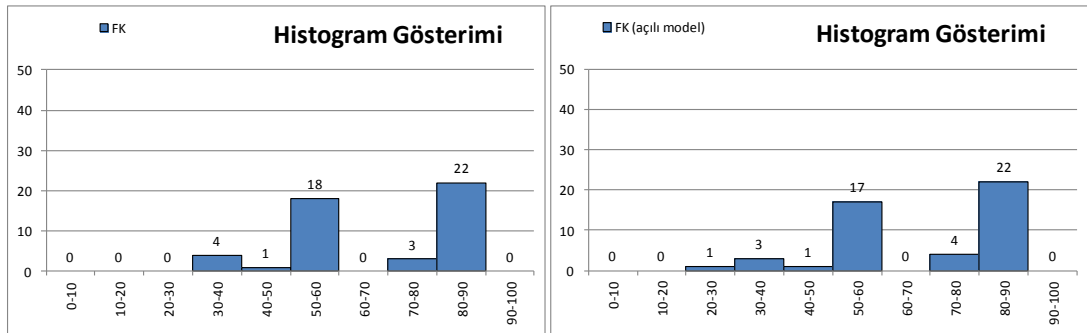
İkinci modeldeki vūcut bōlgesi eklem konumları ile ilgili açısāl sınır değērlerin değēştirilmesi modelin yeniden yapılandırılarak iş istasyonlarında gerēekleştīrilen gözlemlerin tekrar ele alınmasını gerektirdiğinden analiz ve değēlendirme kapsamında esneklik söz konusu olmamaktadır. Birinci modelde ise açısāl sınır değērleri üyelik fonksiyonunu oluşturan bulanık sayılarla ifade edildiğinden, farklı

açışal sınır değerlerin kullanılması söz konusu olduğunda sadece ilgili bulanık sayı parametrelerini değiştirmek yeterli olmaktadır. Dolayısıyla QEC, RULA, REBA gibi klasik ve kabul görmüş yöntemlerle benzer yaklaşıma sahip olan ilk modelin ikinci modele göre daha fazla esneklik ve hız sağladığı söylenebilir.

Birinci modelde en kötü vücut duruşunun, en uzun işlem süreli iş adımının veya ilgili iş istasyonunda yapılan işleri karakterize eden anlık vücut bölgesi eklem konum parametrelerinin temel alındığı bir analiz yöntemi benimsenmektedir. İkinci modelde ise ilgili iş istasyonunda çevrim zamanı içerisinde çalışan tarafından gerçekleştirilen tüm işlerde ilgili vücut bölgesinin hangi konumlarda ne kadar süre durduğu bilgisi kullanılmaktadır. Bu çerçevede ikinci modelin iş istasyonunda gerçekleşen işlerin bütününe yansıtma daha etkin olduğu söylenebilir. Literatür araştırmasında ikinci modeldeki yaklaşımın benimsendiği yöntemlere ilk modele göre daha seyrek rastlanmış olup, AAWS (Automotive Assembly Worksheet) yöntemi, sanayide uygulama alanı bulmuş olması sebebiyle ikinci modelin geliştirilmesi çerçevesinde daha detaylı incelenmiştir.

5.2.2 Fizyolojik yüklenme sonuçlarının analizi

Her iki model de 48 iş istasyonu için “FuzzyErgonomics” yazılımı koşturulduğunda elde edilen “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriter değerlerinin Şekil 5.6’da bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde verilerin benzer şekilde dağıldığı görülecektir; yani her iki modelin tespit ettiği yüklenme düzeyleri yaklaşık benzer özellikler göstermektedir.



Şekil 5.6 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK).

Her iki modele göre elde edilen yüklenme değerleri iş istasyonu bazında sonuçları Çizelge 5.2’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test (paired t-Test) yöntemi ile karşılaştırıldığında, modellerden elde edilen iş istasyonlarının yüklenme değerleri

ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi kabul edilmektedir, dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında benzerlik söz konusudur (%95 güven aralığı için $p=0,778>0,050$), ayrıca %89,9'luk yüksek korelasyon katsayısı da dikkat çekicidir.

Çizelge 5.2 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK).

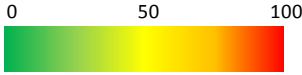
Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	R	t	df	p değeri
FK	67,470	48	21,793	3,146	48	0,899	-0,283	47	0,778
FK (açılı model)	67,870	48	21,708	3,133					

“Fizyolojik Yüklenme (FK)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.3’de gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tabloda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da yine tablodan okunabilmektedir.

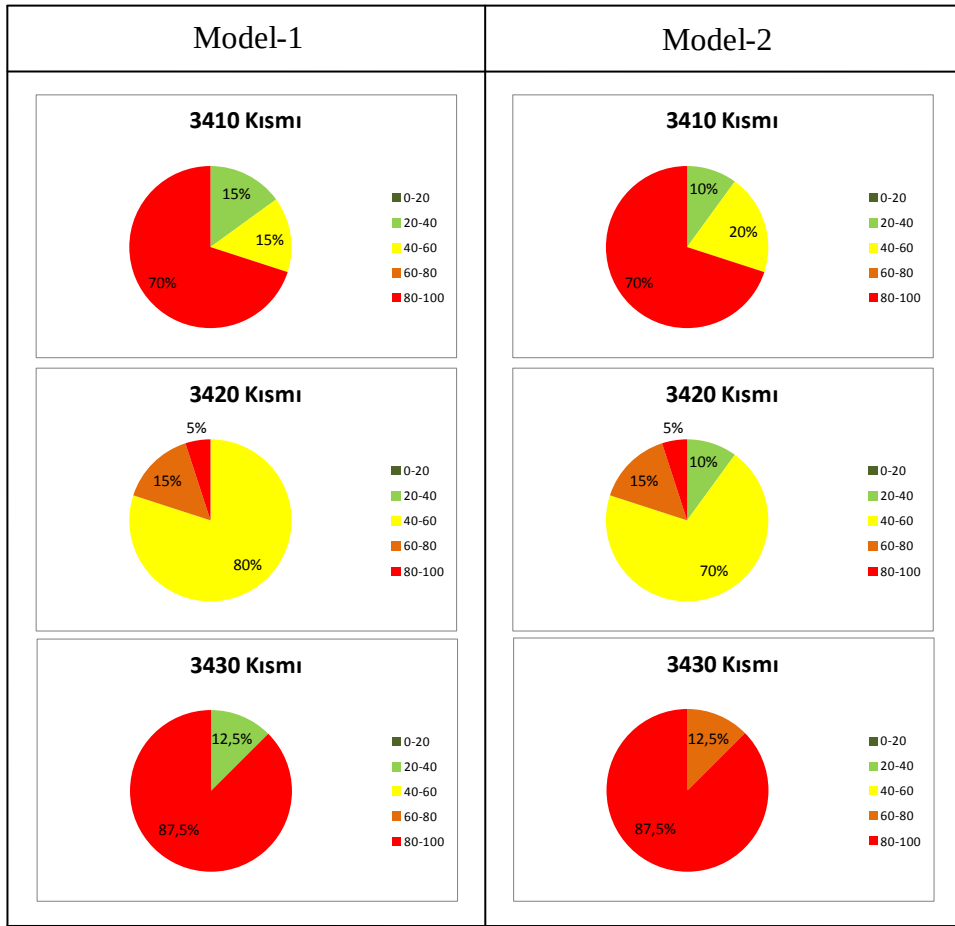
Alt kriterler ile ilişkinin anlamlılığı kadar, alt kriterin bağlı olduğu üst kritere ne düzeyde etkisinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.3’de verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanılması gereken kriterler belirlenebilmektedir. Her iki model için de “Fizyolojik Yüklenme (FK)” ile alt kriterleri arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde sadece “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” alt kriterinin görece önemli ve ana faktör üzerindeki etki düzeyinin yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla veri toplama esnasında tüm vücuda etkiyen bileşke fizyolojik yüklenme faktörü üzerinde yoğunlaşmak analiz sürecini hızlandıracaktır.

Çizelge 5.3’de görüleceği üzere “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriteri açısından yüklenme değerleri incelendiğinde özellikle grup şefliği bazında 3412, 3413, 3433 ve 3431 birimlerinde çalışanların oldukça yüksek yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3423, 3421, 3422 ve 3426 birimlerinde ise orta seviyede, kabul edilebilir yüklenme düzeyleri söz konusudur. 3411 grup şefliği ise yüklenme maruziyeti en düşük seviyede olan birimdir.

Çizelge 5.3 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1&2 / FK).

 0 50 100 0-100 aralığında yüklenme skalası		Model - 1						Model-2					
		Fizyolojik Yüklenme		Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Dinlenme Etkisi Faktörü		Fizyolojik Yüklenme		Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Dinlenme Etkisi Faktörü	
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi		FK		FK-1		FK-2		FK		FK-1		FK-2	
		p	-	p	0,000	p	0,213	p	-	p	0,000	p	0,010
		Beta	-	Beta	0,995	Beta	0,045	Beta	-	Beta	1,024	Beta	0,105
		Kor.	-	Kor.	0,975	Kor.	-0,383	Kor.	-	Kor.	0,970	Kor.	-0,420
Grup Şefliği	Kod	Açıklama		Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
	3411	Parça Üretimi		38,7	8	18,7	9	88,7	1	42,1	9	21,9	9
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi		89,3	2	89,8	1	75,3	7	89,3	2	89,7	2
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi		89,2	3	89,7	2	76,4	6	89,2	3	89,7	3
	3421	Koltuklandırma		55,6	6	55,7	7	81,9	2	49,8	8	48,7	7
	3422	Montaj I		56,7	5	56,1	6	88,7	1	50,0	7	30,0	8
	3423	Montaj II		50,0	7	50,0	8	81,2	4	60,0	5	60,0	5
	3426	Montaj III		56,7	5	56,7	5	80,2	5	56,7	6	56,7	6
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi		74,6	4	74,8	4	81,4	3	84,6	4	84,8	4
Kısım Müdürlüğü	3433	Astar ve Son Kat Boya		89,6	1	89,6	3	81,4	3	89,6	1	89,8	1
	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM		74,1	2	68,4	2	79,7	3	75,1	2	69,4	2
	3420	Montaj KM		55,0	3	54,8	3	83,5	1	52,9	3	46,6	3
	3430	Boya KM		82,1	1	82,2	1	81,4	2	87,1	1	87,3	1

Yine Çizelge 5.3 ve Şekil 5.7’den de görülebileceği üzere “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında 3430 kısım müdürlüğünde çalışanların en yüksek yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3410 kısım müdürlüğünde de 3430 kısım müdürlüğündeki kadar olmasa da yüksek seviyelerde yüklenme maruziyeti ortalaması söz konusudur. 3420 kısım müdürlüğündeki yüklenme seviyelerinin ise kabul edilebilir düzeylerde olduğu görülmektedir ki bu duruma ilişkin detaylar “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriteri yüklenme değerlerine göre 48 iş istasyonunun model bazlı sıralamasını gösteren Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’de de görülmektedir.



Şekil 5.7 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (Model-1&2 / FK).

Çizelge 5.4 GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1 / FK).

050100

0-100 aralığında yüklenme skalası

Model - 1									
				Fizyolojik Yüklenme		Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Dinlenme Etkisi Faktörü	
				FK		FK-1		FK-2	
Kısım	Grup Şefliği	Kod	İş İstasyonu Tanımı	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
3410	3411	PRC-01	NC Daire Testere Tezgahı - 1	42,3	6	21,3	9	88,7	1
3410	3411	PRC-05	Dikey Matkap Tezgahı - 1	50,0	5	30,0	8	88,7	1
3410	3411	PRC-07	NC Boru Bükme Tezgahı - 1	50,0	5	30,0	8	88,7	1
3410	3411	PRC-09	CNC Abkant Sac Büküm Tezgahı - 1	30,0	7	10,2	10	88,7	1
3410	3411	PRC-13	Lazer CNC Tezgahı - 1	30,0	7	10,2	10	88,7	1
3410	3411	PRC-16	Punch Pres Tezgahı - 1	30,0	7	10,2	10	88,7	1
3410	3412	ALTYP-01	Alt Yapı Son Kontrol İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	9
3410	3412	ALTYP-02	Bagaj Çerçevesi R1/R2 İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	9
3410	3412	ALTYP-03	Orta Altyapı 2. Operasyon İstasyonu	89,8	1	89,8	1	70,7	11
3410	3412	ALTYP-04	Ön Segment Komple Birleştirme İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	9
3410	3412	ALTYP-08	Ön Aks Önü İstasyonu	89,8	1	89,8	1	70,7	11
3410	3412	ALTYP-09	Ön Aks Üstü İstasyonu	89,8	1	89,8	1	70,7	11
3410	3412	ALTYP-17	Doğrulma İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	9
3410	3413	ALTYP-10	Ön Segment (SHD/R2) Komple Birleştirme	89,0	3	89,8	1	78,7	9
3410	3413	ALTYP-12	Komple Birleştirme İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	9
3410	3413	ALTYP-13	Intouro Orta Segment İstasyonu	89,8	1	89,8	1	70,7	11
3410	3413	ALTYP-14	Intouro Pudrel İstasyonu	89,0	3	89,5	3	78,7	9
3410	3413	ALTYP-15	Arka Segment Ters Kaynak istasyonu	89,8	1	89,8	1	70,7	11
3410	3413	USTYP-01	Çatma (DOM) İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	9
3410	3413	USTYP-02	Sağ Ön Kapı Bölgesi Sac Kaplama İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	9
3420	3421	KLT-05	Şoför Koltuğu Ön Montaj Platformu	89,5	2	89,8	1	83,5	3
3420	3421	KLT-36	Elyaf Kesim Dikiş Makinası	50,0	5	50,0	6	88,7	1
3420	3421	KLT-37	Çift İğneli Dikiş Makinası	50,0	5	50,0	6	83,1	4
3420	3421	KLT-43	Tek İğneli Dikiş Makinası	50,0	5	50,0	6	83,1	4
3420	3421	KLT-44	Overlok Makinası	50,0	5	50,0	6	88,7	1
3420	3421	KLT-47	Kumaş Kesim Masası	50,0	5	50,0	6	77,6	10
3420	3421	KLT-48	CNC Kumaş Kesim Tezgahı	50,0	5	50,0	6	68,5	13
3420	3422	MON-05	Kablo Demeti Hazırlık İstasyonu-1	50,0	5	46,6	7	88,7	1
3420	3422	MON-10	Hatta Alış İstasyonu	70,0	4	70,0	5	88,7	1
3420	3422	MON-11	Montaj İstasyonu- 1	70,0	4	70,0	5	88,7	1
3420	3422	MON-12	Montaj İstasyonu- 2	50,0	5	50,0	6	88,7	1
3420	3422	MON-13	Montaj İstasyonu- 3	50,0	5	50,0	6	88,7	1
3420	3422	MON-14	Montaj İstasyonu- 4	50,0	5	50,0	6	88,7	1
3420	3423	MON-17	Montaj İstasyonu- 7	50,0	5	50,0	6	83,5	3
3420	3423	MON-18	Montaj İstasyonu- 8	50,0	5	50,0	6	79,0	8
3420	3423	MON-19	Montaj İstasyonu- 9	50,0	5	50,0	6	83,5	2
3420	3423	MON-20	Montaj İstasyonu- 10	50,0	5	50,0	6	79,0	7
3420	3426	MON-27	Montaj İstasyonu- 18	50,0	5	50,0	6	80,7	6
3420	3426	MON-28	Montaj İstasyonu- 19	50,0	5	50,0	6	78,7	9
3420	3426	MON-29	Montaj İstasyonu- 20	70,0	4	70,0	5	81,1	5
3430	3431	KTL-05	KTL - Komisyonlama İstasyonu	89,8	1	89,8	1	88,7	1
3430	3431	PRC-12	Fosfatlama Tesisi	89,8	1	89,8	1	88,7	1
3430	3431	PRCBYH-05	Motor Kapak Yapıştırma İstasyonu	30,0	7	30,0	8	69,5	12
3430	3431	SKBYH-01	İzolasyon İstasyonu - Alt	89,0	3	89,8	1	78,7	9
3430	3433	SKBYH-03	KTL Zımpara Kabini 1	89,8	1	89,8	1	88,7	1
3430	3433	SKBYH-04	Strukturlack / Dekoratif Boya Kabini	89,0	3	89,2	4	78,7	9
3430	3433	SKBYH-05	Boya Kabini 2	89,8	1	89,7	2	69,5	12
3430	3433	SKBYH-06	Astar Zımpara Kabini	89,8	1	89,8	1	88,7	1

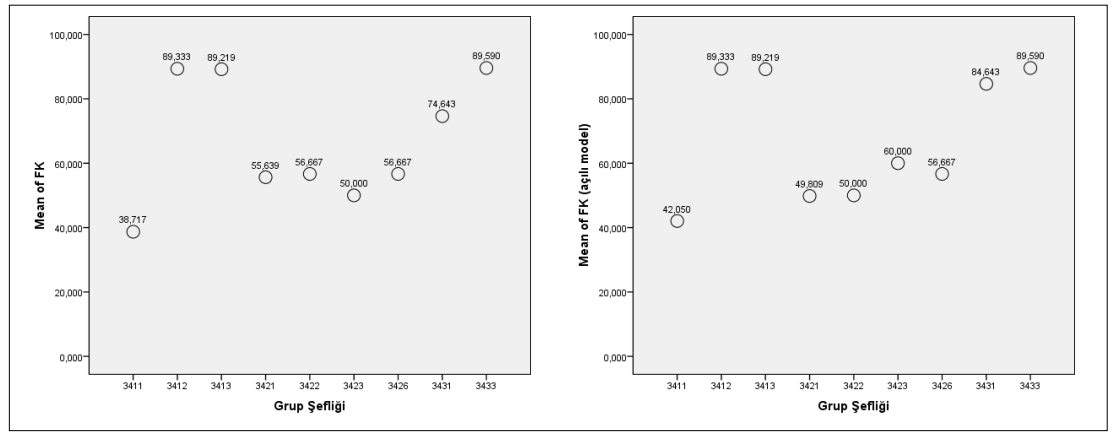
Çizelge 5.5 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-2 / FK).

				Model - 2					
				Fizyolojik Yüklenme		Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Dinlenme Etkisi Faktörü	
				FK		FK-1		FK-2	
Kısım	Grup Şefliği	Kod	İş İstasyonu Tanımı	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
3410	3411	PRC-05	Dikey Matkap Tezgahı - 1	50,0	6	30,0	9	88,7	1
3410	3411	PRC-07	NC Boru Bükme Tezgahı - 1	50,0	6	30,0	9	88,7	1
3410	3411	PRC-09	CNC Abkant Sac Büküm Tezgahı - 1	50,0	6	30,0	9	88,7	1
3410	3411	PRC-01	NC Daire Testere Tezgahı - 1	42,3	7	21,3	10	88,7	1
3410	3411	PRC-13	Lazer CNC Tezgahı - 1	30,0	9	10,2	11	88,7	1
3410	3411	PRC-16	Punch Pres Tezgahı - 1	30,0	9	10,2	11	88,7	1
3410	3412	ALTYP-01	Alt Yapı Son Kontrol İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	7
3410	3412	ALTYP-02	Bagaj Çerçevesi R1/R2 İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	7
3410	3412	ALTYP-03	Orta Altyapı 2. Operasyon İstasyonu	89,8	1	89,8	1	70,7	9
3410	3412	ALTYP-08	Ön Aks Önü İstasyonu	89,8	1	89,8	1	70,7	9
3410	3412	ALTYP-09	Ön Aks Üstü İstasyonu	89,8	1	89,8	1	70,7	9
3410	3412	ALTYP-17	Doğrultma İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	7
3410	3412	ALTYP-04	Ön Segment Komple Birleştirme İstasyonu	89,0	3	89,2	4	78,7	7
3410	3413	ALTYP-10	Ön Segment (SHD/R2) Komple Birleştirme	89,0	3	89,8	1	78,7	7
3410	3413	ALTYP-12	Komple Birleştirme İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	7
3410	3413	ALTYP-15	Arka Segment Ters Kaynak İstasyonu	89,8	1	89,8	1	70,7	9
3410	3413	USTYP-01	Çatma (DOM) İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	7
3410	3413	USTYP-02	Sağ Ön Kapı Bölgesi Sac Kaplama İstasyonu	89,0	3	89,8	1	78,7	7
3410	3413	ALTYP-14	Intouro Pudrel İstasyonu	89,0	3	89,5	3	78,7	7
3410	3413	ALTYP-13	Intouro Orta Segment İstasyonu	89,8	1	89,2	5	70,7	9
3420	3421	KLT-05	Şoför Koltuğu Ön Montaj Platformu	89,5	2	89,8	1	83,5	2
3420	3421	KLT-36	Elyaf Kesim Dikiş Makinası	50,0	6	50,0	8	88,7	1
3420	3421	KLT-37	Çift İğneli Dikiş Makinası	50,0	6	50,0	8	83,1	3
3420	3421	KLT-43	Tek İğneli Dikiş Makinası	50,0	6	50,0	8	83,1	3
3420	3421	KLT-44	Overlok Makinası	50,0	6	50,0	8	88,7	1
3420	3421	KLT-47	Kumaş Kesim Masası	35,5	8	30,0	9	77,6	8
3420	3421	KLT-48	CNC Kumaş Kesim Tezgahı	23,7	10	21,3	10	68,5	11
3420	3422	MON-05	Kablo Demeti Hazırlık İstasyonu-1	50,0	6	30,0	9	88,7	1
3420	3422	MON-10	Hatta Alış İstasyonu	50,0	6	30,0	9	88,7	1
3420	3422	MON-11	Montaj İstasyonu- 1	50,0	6	30,0	9	88,7	1
3420	3422	MON-12	Montaj İstasyonu- 2	50,0	6	30,0	9	88,7	1
3420	3422	MON-13	Montaj İstasyonu- 3	50,0	6	30,0	9	88,7	1
3420	3422	MON-14	Montaj İstasyonu- 4	50,0	6	30,0	9	88,7	1
3420	3423	MON-19	Montaj İstasyonu- 9	70,0	5	70,0	6	83,5	2
3420	3423	MON-20	Montaj İstasyonu- 10	70,0	4	70,0	6	79,0	6
3420	3423	MON-17	Montaj İstasyonu- 7	50,0	6	50,0	8	83,5	2
3420	3423	MON-18	Montaj İstasyonu- 8	50,0	6	50,0	8	79,0	6
3420	3426	MON-29	Montaj İstasyonu- 20	70,0	5	70,0	7	81,1	4
3420	3426	MON-27	Montaj İstasyonu- 18	50,0	6	50,0	8	80,7	5
3420	3426	MON-28	Montaj İstasyonu- 19	50,0	6	50,0	8	78,7	7
3430	3431	KTL-05	KTL - Komisyonlama İstasyonu	89,8	1	89,8	1	88,7	1
3430	3431	PRC-12	Fosfatlama Tesis	89,8	1	89,8	1	88,7	1
3430	3431	SKBYH-01	İzolasyon İstasyonu - Alt	89,0	3	89,8	1	78,7	7
3430	3431	PRC-05	Motor Kapak Yapıştırma İstasyonu	70,0	5	70,0	7	69,5	10
3430	3433	SKBYH-03	KTL Zımpara Kabini 1	89,8	1	89,8	1	88,7	1
3430	3433	SKBYH-04	Strukturlack / Dekoratif Boya Kabini	89,0	3	89,8	1	78,7	7
3430	3433	SKBYH-06	Astar Zımpara Kabini	89,8	1	89,8	1	88,7	1
3430	3433	SKBYH-05	Boya Kabini 2	89,8	1	89,8	2	69,5	10

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet tablolar yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

5.2.2.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.8'deki grafiklerde yer almaktadır. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.8 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK).

Çizelge 5.6’da görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	17031,466	8	2128,933	15,693	0,000
Gruplar içi	5290,923	39	135,665		
Toplam	22322,390	47			

Çizelge 5.7 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	38,717	9,954	30,000	50,000
3412	7	89,333	0,428	88,990	89,790
3413	7	89,219	0,390	88,990	89,790
3421	7	55,639	14,918	50,000	89,470
3422	6	56,667	10,328	50,000	70,000
3423	4	50,000	0,000	50,000	50,000
3426	3	56,667	11,547	50,000	70,000
3431	4	74,643	29,764	30,000	89,790
3433	4	89,590	0,400	88,990	89,790
Tüm Sınıflar	48	67,470	21,793	30,000	89,790

Model-2 (açı aralıklı) koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Fizyolojik Yükleme (FK)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.8’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.9’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	18251,049	8	2281,381	22,834	0,000
Gruplar içi	3896,589	39	99,913		
Toplam	22147,638	47			

Çizelge 5.9 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	42,050	9,799	30,000	50,000
3412	7	89,333	0,428	88,990	89,790
3413	7	89,219	0,390	88,990	89,790
3421	7	49,809	20,253	23,650	89,470
3422	6	50,000	0,000	50,000	50,000
3423	4	60,000	11,547	50,000	70,001
3426	3	56,667	11,547	50,000	70,000
3431	4	84,643	9,769	70,000	89,790
3433	4	89,590	0,400	88,990	89,790
Tüm Sınıflar	48	67,870	21,708	23,650	89,790

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.10’de ise her iki modelin ortaya koyduğu

sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

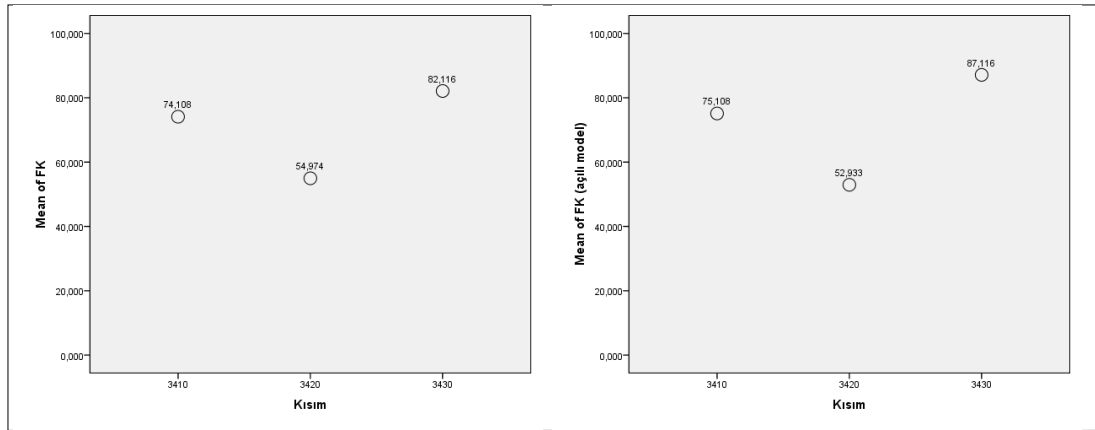
Çizelge 5.10 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK).

FK					FK (açılı model)			
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05			Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2	3			1	2
Tukey HSD ^a	3411	6	38,71667		Tukey HSD ^a	3411	6	42,05000
„b	3423	4	50,00000		„b	3421	7	49,80857
	3421	7	55,63857	55,63857		3422	6	50,00000
	3422	6	56,66667	56,66667		3426	3	56,66667
	3426	3	56,66667	56,66667		3423	4	60,00025
	3431	4		74,64250		3431	4	84,64250
	3413	7		89,21857		3413	7	89,21857
	3412	7		89,33286		3412	7	89,33286
	3433	4		89,59000		3433	4	89,59000
	Sig.		,309	,242		Sig.		,147
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.					a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.			
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.					b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.			

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablolarına göre yapılan sınıflamada ilk modelde üç, ikinci modelde ise iki alt sınıf göze çarpmaktadır. Her iki model de grup şefliği bazında kriter değerleri ortalamasına göre benzer sıralama ve değer aralıkları ortaya koymuştur. İlk modelde 3433, 3412 ve 3413 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile üçüncü alt sınıfta, 3411 ve 3423 grup şeflikleri sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. Diğer grup şeflikleri arada, en az iki alt sınıfa ait olacak şekilde ikinci alt sınıfta konumlanmışlardır. İkinci modele bakıldığında 3433, 3412, 3413 ve 3431 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3411, 3421, 3422, 3426 ve 3423 grup şeflikleri sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

5.2.2.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.9’da görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.9 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK).

Çizelge 5.11’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,001<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	5720,612	2	2860,306	7,753	0,001
Gruplar içi	16601,778	45	368,928		
Toplam	22322,390	47			

Çizelge 5.12 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	74,108	24,315	30,000	89,790
3420	20	54,974	10,914	50,000	89,470
3430	8	82,116	21,061	30,000	89,790
Tüm Sınıflar	48	67,470	21,793	30,000	89,790

Model-2 (açı aralıklı) koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim de ilk modele paralel olarak “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriter ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.13’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.13 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	8473,367	2	4236,684	13,942	0,000
Gruplar içi	13674,270	45	303,873		
Toplam	22147,638	47			

Çizelge 5.14 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	75,108	22,768	30,000	89,790
3420	20	52,933	13,552	23,650	89,470
3430	8	87,116	6,925	70,000	89,790
Tüm Sınıflar	48	67,870	21,708	23,650	89,790

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.15’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.15 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK).

FK				FK (açılı model)			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2			1	2
Tukey HSD ^a	3420	20	54,97350	Tukey HSD ^a	3420	20	52,93305
„b	3410	20	74,10800	„b	3410	20	75,10800
	3430	8	82,11625		3430	8	87,11625
Sig.		1,000	,533	Sig.		1,000	,188

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, her iki modelde de benzer sıralama ve kriter değer aralıkları olduğu görülecektir. Kriter değerleri ortalamaları açısından her iki modelde de 2 alt sınıf göze çarpmaktadır. Her iki modelde de 3430 ve 3410 kısım müdürlükleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır.

5.2.2.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriteri ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.16’de yer alan Model-1 analiz tablosunda yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %95,3 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İlk modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p<0,050$), “Dinlenme Etkisi Faktörü (FK-2)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülecektir ($p=0,213>0,050$). Standardize edilmiş katsayılar bakıldığında “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-1}|=0,995 > |\beta_{FK-2}|=0,045$) ve yine ana kriter ile kuvvetli pozitif ilişkiye (Pearson korelasyon katsayısı $r=\%97,5$) sahip olan kriterin “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” olduğunun altı özellikle çizilmelidir.

Çizelge 5.16 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,953	0,951	4,824

Kestiriciler: FK-1, FK-2; Bağımlı değişken: FK

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	21275,016	2	10637,508	457,036	0,000
Hata	1047,374	45	23,275		
Toplam	22322,390	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	1,296	10,498	-	0,123	0,902	-
FK-1	0,833	0,030	0,995	27,804	0,000	0,975
FK-2	0,147	0,116	0,045	1,263	0,213	-0,383

Çizelge 5.17’de yer alan Model-2 analiz tablosunda yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %94,9 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95

güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İkinci modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” ve “Dinlenme Etkisi Faktörü (FK-2)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülmektedir ($p < 0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında, ilk modelde olduğu gibi, “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-1}| = 1,024 > |\beta_{FK-2}| = 0,105$) ve yine ana kriter ile kuvvetli pozitif ilişkiye (Pearson korelasyon katsayısı $r = 0,970$) sahip olan kriterin “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” olduğu görülecektir.

Çizelge 5.17 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,949	0,947	4,999

Kestiriciler: FK-1, FK-2; Bağımlı değişken: FK

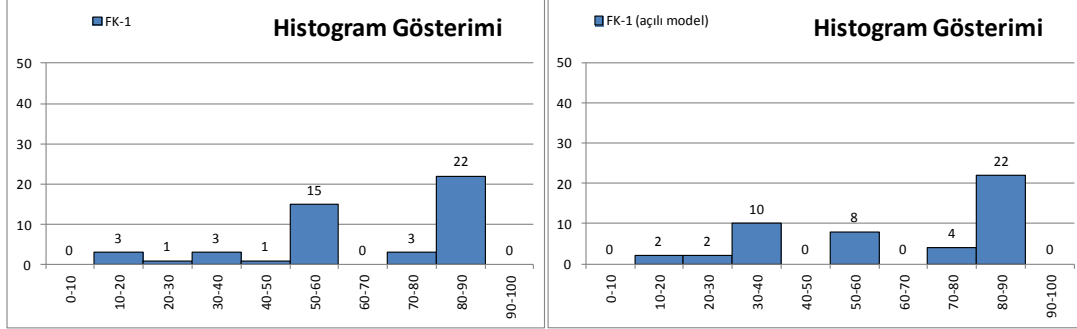
Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	21023,222	2	10511,611	420,683	0,000
Hata	1124,416	45	24,987		
Toplam	22147,638	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-9,665	11,460		-0,843	0,403	
FK-1 (açılı)	0,790	0,030	1,024	26,174	0,000	0,970
FK-2 (açılı)	0,342	0,127	0,105	2,694	0,010	-0,420

Her iki modelde de “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” ile ana faktör arasındaki yüksek pozitif korelasyon oldukça kuvvetli bir ilişkiye işaret ederken, “Dinlenme Etkisi Faktörü (FK-2)” ile ana faktör arasındaki korelasyon nispeten daha düşük ve beklendiği üzere negatif yönlüdür. Bu veriler ışığında her iki model için de “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” kriterinin daha detaylı incelenmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar sadece ikinci model çerçevesinde ana faktör üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş olsa da, “Dinlenme Etkisi Faktörü (FK-2)” kriterinin de incelenmesi tez çerçevesinde önem taşımaktadır.

5.2.3 Tüm vücut fizyolojik yüklenme faktörü sonuçlarının analizi

FuzzyErgonomics yazılımı her iki model için de 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” kriter değerlerinin Şekil 5.10’da bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde, her iki modelde de verilerin farklı şekilde dağıldığı görülecektir.



Şekil 5.10 : Model-1 ve Model-2 verilerinin histogram gösterimi (FK-1).

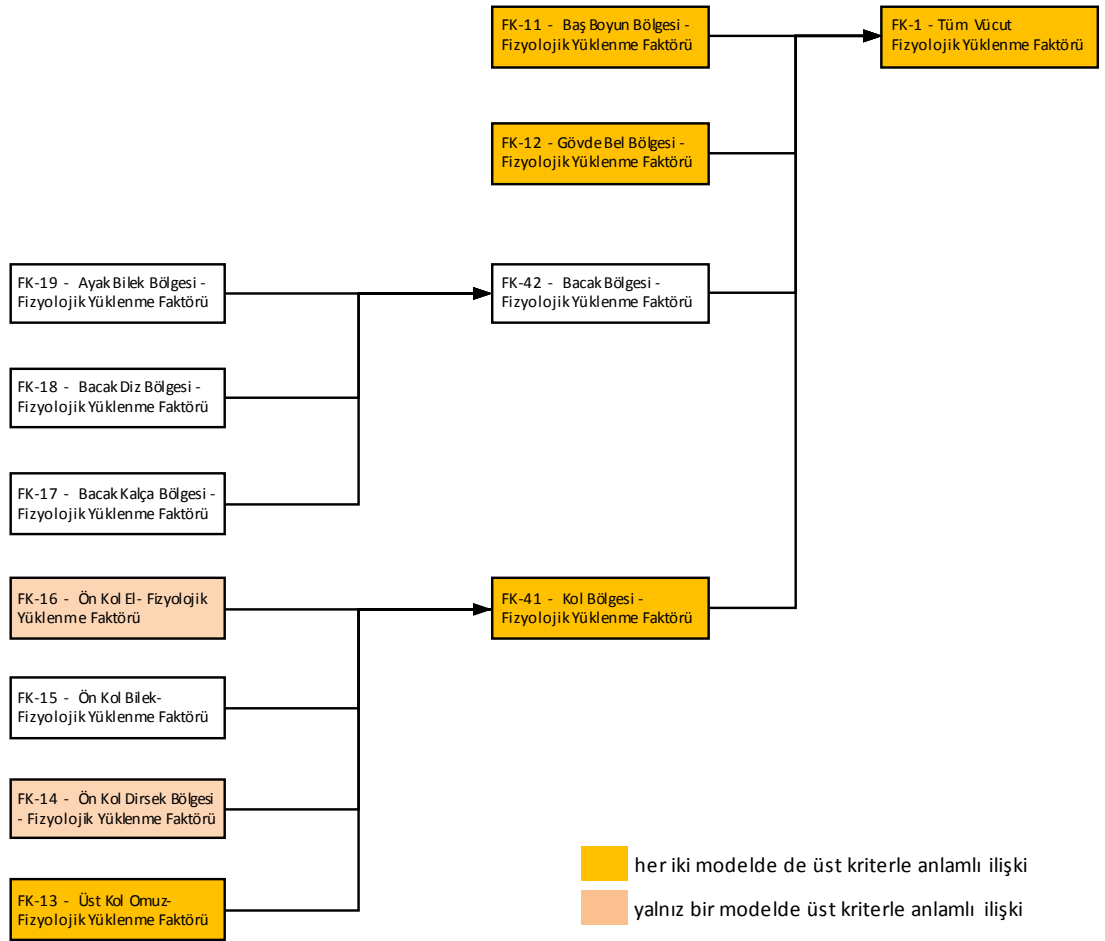
Her iki modele göre elde edilen sonuçlar iş istasyonu bazında Çizelge 5.18’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, kriter değerleri ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi kabul edilir, dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında benzerlik söz konusudur ($p=0,260>0,050$); ayrıca %88,0’lik yüksek korelasyon değeri de bu benzerliği destekleyen bir argümandır.

Çizelge 5.18 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-1).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	r	t	df	p değeri
FK-1	65,057	48	26,031	3,757	48	0,880	1,140	47	0,260
FK-1 (açılı model)	62,850	48	28,135	4,061					

“Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.19 ve Çizelge 5.1’da gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tabloda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da yine tablodan okunabilmektedir. Ayrıca üst ve alt kriterler arasındaki ilişkilerin anlamlılık durumu Şekil 5.11’deki kriter hiyerarşisinde de gösterilmiştir.

Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır. Örneğin her iki model için de “Tüm Vücut - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” ile alt kriterleri arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)”, “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” ve “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” alt faktörlerinin her iki modelde de görece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla veri toplama esnasında boyun, bel ve omuz bölgelerinde meydana gelen yüklenmeler üzerinde yoğunlaşmak analiz sürecinin etkinliğini artıracaktır.



Şekil 5.11 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (FK-1 / Model-1&2).

Çizelge 5.19 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1 / FK-1).

050100

0-100 aralığında yüklenme skalası

Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Kol Bölgesi Yüklenmesi		Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Ön Kol Dirsek - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Ön Kol Bilek - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Ön Kol El - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Bacak Bölgesi Yüklenmesi		Bacak Kalça Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Bacak Diz Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Ayak Bilek Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		
FK-1		FK-11		FK-12		FK-41		FK-13		FK-14		FK-15		FK-16		FK-42		FK-17		FK-18		FK-19		
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi	p	-	p	0,020	p	0,001	p	0,000	p	0,000	p	0,355	p	0,189	p	0,154	p	0,115	p	-	p	-	p	-
	Beta	-	Beta	0,132	Beta	0,457	Beta	0,372	Beta	0,817	Beta	0,040	Beta	0,110	Beta	0,094	Beta	0,067	Beta	-	Beta	-	Beta	-
	Kor.	-	Kor.	0,581	Kor.	0,909	Kor.	0,918	Kor.	0,967	Kor.	0,458	Kor.	0,826	Kor.	0,588	Kor.	0,684	Kor.	-	Kor.	-	Kor.	-

Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	
Grup Şefliği	3411	Parça Üretimi	18,8	9	12,7	8	10,3	9	10,2	9	33,3	9	34,3	9	57,3	8	30,0	9	15,0	9	70,0	6	37,4	9	30,0	9
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi	89,7	1	25,6	4	89,4	2	89,7	3	89,0	1	89,4	4	89,8	1	70,5	2	53,3	2	89,8	1	89,8	1	85,2	2
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi	89,6	3	26,7	3	89,6	1	89,7	2	84,3	2	89,8	2	89,8	1	75,8	1	50,0	3	89,8	1	89,8	1	86,0	1
	3421	Koltuklandırma	47,3	7	18,8	5	21,7	6	21,6	8	79,3	5	56,5	8	28,9	9	44,7	6	42,1	5	79,9	4	50,5	7	61,3	6
	3422	Montaj I	30,0	8	12,2	9	16,8	7	43,6	7	39,7	8	82,2	5	73,1	6	31,9	8	25,2	8	70,0	6	50,0	8	36,7	8
	3423	Montaj II	50,0	6	32,1	2	13,9	8	70,0	5	41,7	7	79,9	6	70,3	7	44,6	7	30,0	6	70,0	6	70,0	6	60,0	7
	3426	Montaj III	56,7	5	12,7	7	36,0	5	74,9	4	57,1	6	89,7	3	83,6	4	50,4	5	25,8	7	70,0	6	76,5	4	70,0	4
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi	74,8	4	44,6	1	69,5	4	69,6	6	79,4	4	79,7	7	82,3	5	59,9	4	49,7	4	82,5	3	74,8	5	69,9	5
	3433	Astar ve Son Kat Boya	89,6	2	18,0	6	89,3	3	89,7	1	80,9	3	89,8	1	84,3	3	61,0	3	58,1	1	77,5	5	89,4	3	74,9	3
Kısmı Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM	68,4	2	22,1	2	65,8	2	65,9	2	70,7	2	73,0	3	80,0	2	60,2	2	40,6	2	83,9	1	74,1	2	68,9	2
	3420	Montaj KM	44,0	3	18,5	3	20,8	3	45,9	3	56,6	3	73,9	2	58,7	3	41,7	3	32,1	3	73,5	3	58,2	3	54,9	3
	3430	Boya KM	82,2	1	31,3	1	79,4	1	79,7	1	80,1	1	84,7	1	83,3	1	60,4	1	53,9	1	80,0	2	82,1	1	72,4	1

Çizelge 5.20 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-2 / FK-1).

0

50

100

0-100 aralığında yüklenme skalası

	Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Kol Bölgesi Yüklenmesi		Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Ön Kol Dirsek - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Ön Kol Bilek - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Ön Kol El - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Bacak Bölgesi Yüklenmesi		Bacak Kalça Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Bacak Diz Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Ayak Bilek Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü	
	FK-1		FK-11		FK-12		FK-41		FK-13		FK-14		FK-15		FK-16		FK-42		FK-17		FK-18		FK-19	
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi	p	-	p	0,000	p	0,000	p	0,001	p	0,000	p	0,000	p	0,303	p	0,010	p	0,065	p	-	p	-	p	-
	Beta	-	Beta	0,204	Beta	0,371	Beta	0,355	Beta	0,690	Beta	0,331	Beta	-0,092	Beta	0,205	Beta	0,096	Beta	-	Beta	-	Beta	-
	Kor.	-	Kor.	0,662	Kor.	0,903	Kor.	0,924	Kor.	0,929	Kor.	0,643	Kor.	0,811	Kor.	0,743	Kor.	0,858	Kor.	-	Kor.	-	Kor.	-

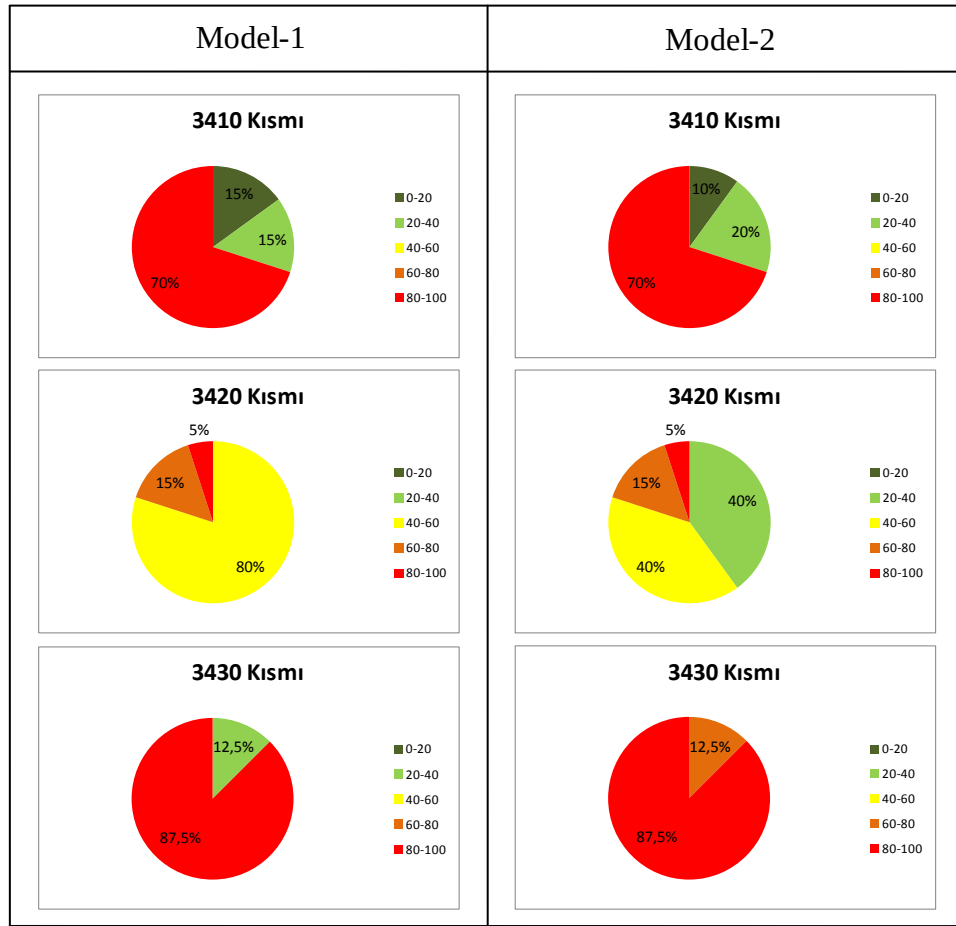
	Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
Grup Şefliği	3411	Parça Üretimi	21,9	9	33,7	9	10,2	9	10,2	9	30,2	7	10,3	9	57,2	8	30,0	9	30,0	7	70,0	2	38,8	9	30,0	8
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi	89,7	2	75,3	2	89,6	2	89,5	2	84,1	1	89,8	1	89,8	1	57,1	5	64,9	3	70,0	2	89,8	1	76,1	3
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi	89,7	3	65,9	4	89,7	1	89,5	3	64,1	5	85,4	2	89,8	1	67,6	2	67,1	1	70,0	2	89,7	2	86,0	1
	3421	Koltuklandırma	48,7	7	48,6	7	21,6	7	64,3	8	78,4	3	20,0	8	28,9	9	76,0	1	59,6	4	78,5	1	67,0	8	81,2	2
	3422	Montaj I	30,0	8	46,4	8	16,9	8	68,6	7	25,7	8	38,7	6	73,1	6	32,0	7	30,0	7	70,0	2	68,9	7	36,7	7
	3423	Montaj II	60,0	5	69,8	3	22,5	6	70,0	5	20,7	9	35,0	7	70,4	7	44,5	6	30,0	7	70,0	2	70,0	6	60,0	6
	3426	Montaj III	56,7	6	51,9	6	29,9	5	76,6	4	55,5	6	51,5	4	83,6	4	31,4	8	31,1	6	70,0	2	76,6	4	30,0	8
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi	84,8	4	79,6	1	68,7	4	69,6	6	74,9	4	48,7	5	82,3	5	59,9	4	52,2	5	70,0	2	72,3	5	69,9	5
	3433	Astar ve Son Kat Boya	89,8	1	54,0	5	89,4	3	89,8	1	79,9	2	64,2	3	84,3	3	61,3	3	65,1	2	70,0	2	89,4	3	74,9	4
Kısmi Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM	69,4	2	59,5	2	65,8	2	65,7	3	60,9	2	64,4	1	80,0	2	52,7	2	55,2	2	70,0	2	74,5	2	65,7	2
	3420	Montaj KM	46,6	3	52,7	3	21,6	3	68,6	2	47,6	3	33,3	3	58,7	3	49,8	3	40,5	3	73,0	1	69,6	3	55,9	3
	3430	Boya KM	87,3	1	66,8	1	79,1	1	79,7	1	77,4	1	56,5	2	83,3	1	60,6	1	58,6	1	70,0	2	80,8	1	72,4	1

Alt kriterler ile ilişkinin anlamlılığı kadar, alt kriterin bağlı olduğu üst kritere ne düzeyde etkisinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.19 ve Çizelge 5.1’de verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanılması gereken kriterler belirlenebilmektedir.

Her iki modelde de “Tüm Vücut - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” ile alt faktörleri olan “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)”, “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” ve “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” kriterleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlıdır. Bununla birlikte “Ön Kol Dirsek Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-14)” ve “Ön Kol El - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-16)” kriterlerinin üst kriter ile ilişkileri sadece birer modelde anlamlı olduğu için, analiz açısından ikincil derecede önem taşıdıkları söylenebilir. Regresyon katsayıları incelendiğinde her iki modelde de “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” ve “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” kriterlerinin ana kriter üzerindeki etkisinin diğer alt kriterlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon değerleri de bu tespiti desteklemektedir.

Çizelge 5.19 ve Çizelge 5.1’de görüleceği üzere “Tüm Vücut - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” kriteri açısından yüklenme değerleri incelendiğinde özellikle grup şefliği bazında her iki modelde de 3412, 3413 ve 3433 birimlerinde çalışanların oldukça yüksek yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3411 ve 3422 grup şeflikleri ise her iki modelde de yüklenme maruziyeti açısından en düşük seviyede yer almaktadır. Yüklenme değerleri karşılaştırıldığında ikinci modelden elde edilen analiz sonuçlarının birinci model sonuçlarına göre daha yüksek veya düşük yüklenme seviyeleri ortaya koyduğu söylenememektedir, eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları da bunu teyit etmektedir. Her iki modelin de benzer yüklenme değerleri tespit ettiği kabul edilebilir.

Yine Çizelge 5.19, Çizelge 5.1 ve Şekil 5.12’den de görülebileceği üzere “Tüm Vücut - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında 3430 kısım müdürlüğünde çalışanların en yüksek yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3410 kısım müdürlüğünde de 3430 kısım müdürlüğündeki kadar olmasa da yüksek seviyelerde yüklenme maruziyeti ortalaması söz konusudur.

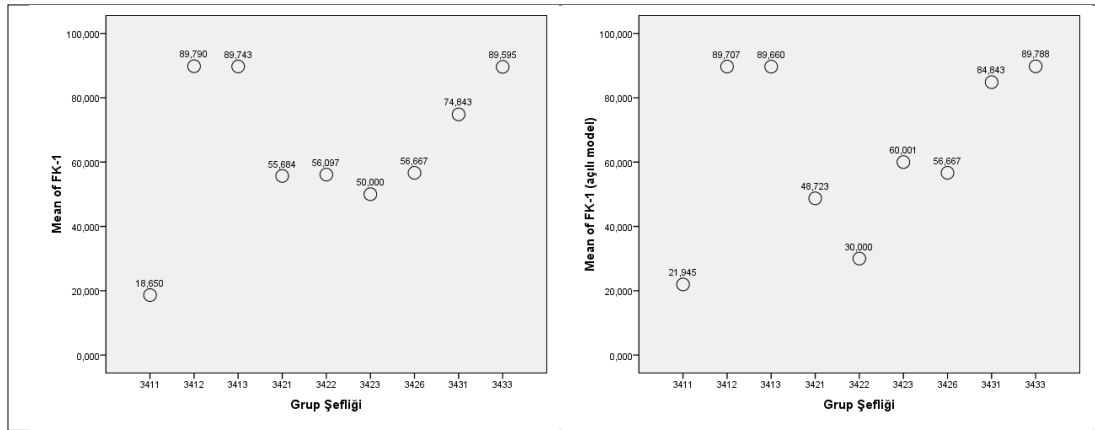


Şekil 5.12 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (FK-1 / Model-1&2).

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet çizelgeler yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

5.2.3.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.13’deki grafiklerde yer almaktadır. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.13 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-1).

Çizelge 5.21’da görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.21 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	26475,631	8	3309,454	24,026	0,000
Gruplar içi	5372,127	39	137,747		
Toplam	31847,759	47			

Çizelge 5.22 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	18,650	9,780	10,210	30,000
3412	7	89,790	0,000	89,790	89,790
3413	7	89,743	0,125	89,460	89,790
3421	7	55,684	15,039	50,000	89,790
3422	6	56,097	10,851	46,580	70,000
3423	4	50,000	0,000	50,000	50,000
3426	3	56,667	11,547	50,000	70,000
3431	4	74,843	29,895	30,000	89,790
3433	4	89,595	0,304	89,150	89,790
Tüm Sınıflar	48	65,057	26,031	10,210	89,790

Model-2 (açı aralıklı) koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.23’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında

anlamli bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.24’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.23 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	32976,033	8	4122,004	38,011	0,000
Gruplar içi	4229,294	39	108,443		
Toplam	37205,328	47			

Çizelge 5.24 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	21,945	9,706	10,200	30,000
3412	7	89,707	0,219	89,210	89,790
3413	7	89,660	0,235	89,200	89,790
3421	7	48,723	21,592	21,270	89,790
3422	6	30,000	0,000	30,000	30,000
3423	4	60,001	11,548	50,000	70,001
3426	3	56,667	11,547	50,000	70,000
3431	4	84,843	9,895	70,000	89,790
3433	4	89,788	0,005	89,780	89,790
Tüm Sınıflar	48	62,850	28,135	10,200	89,790

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.25’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.25 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1).

FK-1						FK-1 (açılı model)								
Grup Seçiliği		N	Subset for alpha = 0.05				Grup Seçiliği		N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4				1	2	3	4	
Tukey HSD ^a _b	3411	6	18,65000				Tukey HSD ^a _b	3411	6	21,94500				
	3423	4		50,00000				3422	6	30,00000	30,00000			
	3421	7		55,68429	55,68429			3421	7		48,72286	48,72286		
	3422	6		56,09667	56,09667			3426	3			56,66667		
	3426	3		56,66667	56,66667			3423	4			60,00050		
	3431	4			74,84250	74,84250		3431	4				84,84250	
	3433	4				89,59500		89,59500	3413	7				89,66000
	3413	7				89,74286		89,74286	3412	7				89,70714
	3412	7				89,79000		89,79000	3433	4				89,78750
	Sig.		1,000	,992	,241	,560		Sig.		,950	,146	,748	,998	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

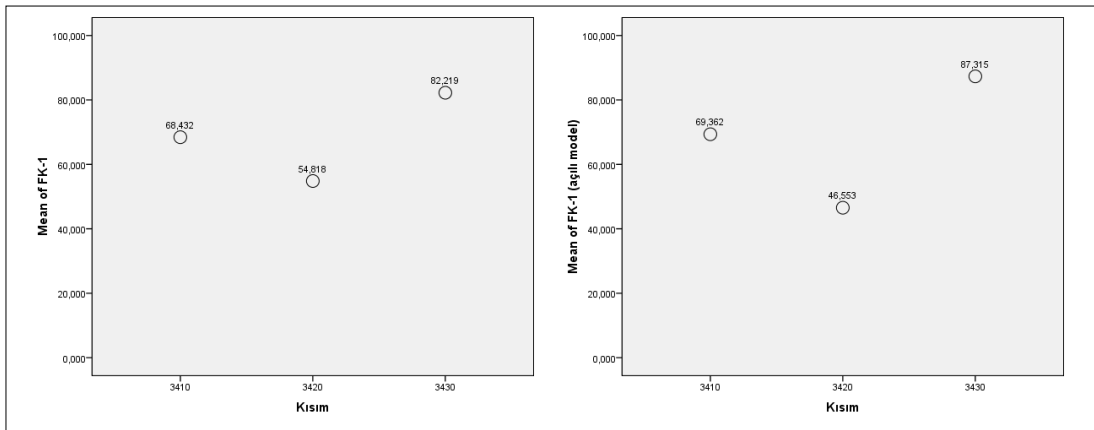
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada her iki modelde de 4 alt sınıf göze

çarpmaktadır. Her iki model de grup şefliği bazında kriter değerleri ortalamasına göre benzer sıralama ve değer aralıkları ortaya koymuştur. İlk modelde 3412, 3413 ve 3433 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile dördüncü alt sınıfta, 3411 grup şefliği en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır. Diğer grup şeflikleri arada, en az iki alt sınıfa ait olacak şekilde ikinci ve üçüncü alt sınıflarda konumlanmışlardır. İkinci modele bakıldığında 3412, 3433, 3413 ve 3431 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile dördüncü alt sınıfta, 3411 grup şefliği en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır. Diğer grup şeflikleri ilk modelde olduğu gibi en az iki alt sınıfa ait olacak şekilde ikinci ve üçüncü alt sınıflarda konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

5.2.3.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.14’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.14 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1).

Çizelge 5.26’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,028 < 0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.26 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	4680,488	2	2340,244	3,876	0,028
Gruplar içi	27167,271	45	603,717		
Toplam	31847,759	47			

Çizelge 5.27 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	68,432	33,811	10,210	89,790
3420	20	54,819	11,075	46,580	89,790
3430	8	82,219	21,101	30,000	89,790
Tüm Sınıflar	48	65,057	26,031	10,210	89,790

Model-2 (açı aralıklı) koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim de ilk modele paralel olarak “Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.28’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,001<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.29’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.28 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	10948,192	2	5474,096	9,382	0,000
Gruplar içi	26257,136	45	583,492		
Toplam	37205,328	47			

Çizelge 5.29 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	69,362	32,235	10,200	89,790
3420	20	46,553	18,022	21,270	89,790
3430	8	87,315	6,996	70,000	89,790
Tüm Sınıflar	48	62,850	28,135	10,200	89,790

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.30’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.30 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1).

FK-1				FK-1 (açılı model)			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2			1	2
Tukey HSD ^a	3420	54,81850		Tukey HSD ^a	3420	46,55310	
„b	3410	68,43150	68,43150	„b	3410		69,36200
	3430		82,21875		3430		87,31500
Sig.		,334	,325	Sig.		1,000	,145

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, her iki modelde de benzer sıralama ancak farklı kriter değer aralıkları olduğu görülecektir. Kriter değerleri ortalamaları açısından her iki modelde de 2 alt sınıf göze çarpmaktadır. İlk modelde 3430 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta, 3410 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta yer almaktadır. 3420 kısım müdürlüğü ise her iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmıştır. İkinci modelde ise 3430 ve 3410 kısım müdürlükleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır. İlk modelde birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

5.2.3.3 Birinci seviyeden alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

“Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.31’de yer alan Model-1 analiz tablosunda yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %95,8 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İlk modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)”, “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)”, “Kol Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-41)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu

görülürken ($p < 0,050$), “Bacak Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-42)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülecektir ($p = 0,115 > 0,050$).

Çizelge 5.31 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-1).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,958	0,954	5,582

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	30508,125	4	7627,031	244,815	0,000
Hata	1339,634	43	31,154		
Toplam	31847,759	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-6,829	4,280	-	-1,596	0,118	-
FK-11	0,251	0,048	0,198	5,203	0,000	0,581
FK-12	0,344	0,039	0,501	8,730	0,000	0,909
FK-41	0,514	0,082	0,372	6,268	0,000	0,918
FK-42	0,070	0,044	0,067	1,608	0,115	0,684

Çizelge 5.32’da yer alan Model-2 analiz tablosunda yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %92,9 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p = 0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İkinci modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)”, “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)”, “Kol Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-41)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p < 0,050$), “Bacak Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-42)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülecektir ($p = 0,065 > 0,050$).

Çizelge 5.32 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-1).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,929	0,922	7,848

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	34557,233	4	8639,308	140,286	0,000
Hata	2648,095	43	61,584		
Toplam	37205,328	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-10,575	5,405	-	-1,956	0,057	-
FK-11 (açılı)	0,306	0,074	0,204	4,129	0,000	0,662
FK-12 (açılı)	0,272	0,063	0,371	4,302	0,000	0,903
FK-41 (açılı)	0,447	0,131	0,355	3,424	0,001	0,924
FK-42 (açılı)	0,181	0,096	0,152	1,893	0,065	0,858

“Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişkiler irdelendiğinde, her iki model için istatistiksel açıdan anlamlılık taşıyan ilişkilere sahip olan, dolayısıyla öncelikli olarak üstünde durulması gereken alt kriterlerin “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)”, “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” ve “Kol Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-41)” kriterleri olduğu görülecektir. “Bacak Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-42)” kriterinin ana kriter ile ilişkisi her iki modelde de anlamlı çıkmamıştır, dolayısıyla bir sonraki aşamada detaylı analiz incelemesi yapılmayacaktır.

“Kol Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-41)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki de yine regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.33’de yer alan Model-1 analiz tablosunda yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %95,4 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İlk modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Üst Kol Omuz- Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken

($p < 0,050$), “Ön Kol Dirsek Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-14)”, “Ön Kol Bilek - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-15)”, “Ön Kol El - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-16)” kriterleri ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülecektir ($p > 0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında “Kol Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-41)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-13}| = 0,817$) ve ana kriter ile en kuvvetli pozitif ilişkiye (Pearson korelasyon katsayısı $r = 0,967$) sahip olan kriterin “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” olduğunun altı özellekle çizilmelidir.

Çizelge 5.33 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-41).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,954	0,950	4,237

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	15932,983	4	3983,246	221,924	0,000
Hata	771,794	43	17,949		
Toplam	16704,777	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	24,325	3,375	-	7,208	0,000	-
FK-13	0,564	0,038	0,817	14,974	0,000	0,967
FK-14	0,027	0,029	0,040	0,935	0,355	0,458
FK-15	0,066	0,050	0,110	1,334	0,189	0,826
FK-16	0,073	0,051	0,094	1,450	0,154	0,588

Çizelge 5.34’de yer alan Model-2 analiz tablosunda yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %92,6 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p = 0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İkinci modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)”, “Ön Kol Dirsek Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-14)”, “Ön Kol El - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-16)” kriterleri ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p < 0,050$), “Ön Kol Bilek - Fizyolojik Yüklenme Faktörü

(FK-15)” kriteri ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülecektir ($p>0,050$). Standardize edilmiş katsayılar bakıldığında “Kol Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-41)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-13}|=0,690>|\beta_{FK-14}|=0,331>|\beta_{FK-16}|=0,205$) ve ana kriter ile en kuvvetli pozitif ilişkiye (Pearson korelasyon katsayısı $r=0,929$) sahip olan kriterin “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.34 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-41).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,932	0,926	6,087

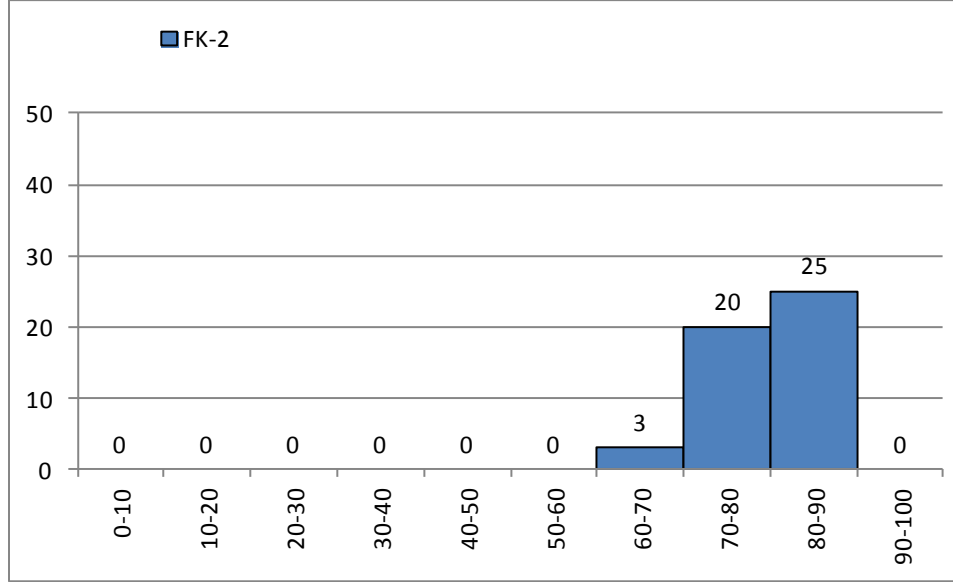
Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	21861,317	4	5465,329	147,502	0,000
Hata	1593,259	43	37,053		
Toplam	23454,575	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	14,635	5,887	-	2,486	0,017	-
FK-13 (açılı)	0,457	0,076	0,690	5,975	0,000	0,929
FK-14 (açılı)	0,308	0,047	0,331	6,524	0,000	0,643
FK-15 (açılı)	-0,096	0,092	-0,092	-1,042	0,303	0,811
FK-16 (açılı)	0,190	0,071	0,205	2,685	0,010	0,743

“Tüm Vücut Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-1)” ve “Kol Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-41)” kriterlerinin birinci hiyerarşik seviyeden alt kriterleri ile olan ilişkilerinin istatistiksel analizleri incelendiğinde her iki model için ana faktör ile arasında yüksek anlamlılık ($p<0,050$) seviyesi ve ana kriter üzerindeki göreceli yüksek etki düzeyleri çerçevesinde “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)”, “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” ve “Üst Kol Omuz- Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” kriterleri öncelikli olarak odaklanılması gereken vücut bölgeleri bazlı fizyolojik yüklenme kriterleri olarak öne çıkmaktadırlar.

5.2.4 Dinlenme etkisi faktörü sonuçlarının analizi

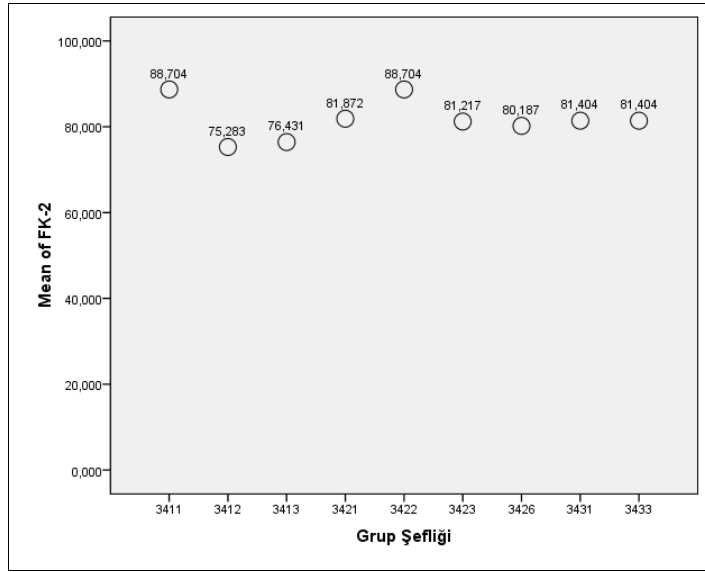
48 iş istasyonu için “FuzzyErgonomics” yazılımı koşturulduğunda elde edilen “Dinlenme Etkisi Faktörü (FK-2)” kriter değerlerinin Şekil 5.15’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde, değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 3 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.15 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-2).

5.2.4.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.16’daki grafikte yer almaktadır. Grafiksel gösterim “Dinlenme Etkisi Faktörü (FK-2)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.16 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-2).

Çizelge 5.35’da görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.36’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.35 : GŞ bazında varyans analizi (FK-2).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	1079,345	8	134,918	5,086	0,000
Gruplar içi	1034,610	39	26,528		
Toplam	2113,956	47			

Çizelge 5.36 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-2).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	88,704	0,000	88,704	88,704
3412	7	75,283	4,294	70,693	78,726
3413	7	76,431	3,920	70,693	78,726
3421	7	81,872	7,028	68,471	88,704
3422	6	88,704	0,000	88,704	88,704
3423	4	81,217	2,600	78,965	83,469
3426	3	80,187	1,281	78,726	81,118
3431	4	81,404	9,236	69,480	88,704
3433	4	81,404	9,236	69,480	88,704
Tüm Sınıflar	48	81,588	6,707	68,471	88,704

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ve Çizelge 5.37’de gösterilen ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada iki

alt sınıf göze çarpmaktadır. 3422 ve 3411 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta yer alırken, 3412 ve 3413 grup şeflikleri de sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almaktadırlar. Diğer grup şeflikleri de her iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

Çizelge 5.37 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-2).

FK-2				
		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a ..b	Grup Şefliği			
	3412	7	75,28329	
	3413	7	76,43086	
	3426	3	80,18700	80,18700
	3423	4	81,21700	81,21700
	3431	4	81,40350	81,40350
	3433	4	81,40350	81,40350
	3421	7	81,87229	81,87229
	3411	6		88,70400
	3422	6		88,70400
	Sig.		,554	,227

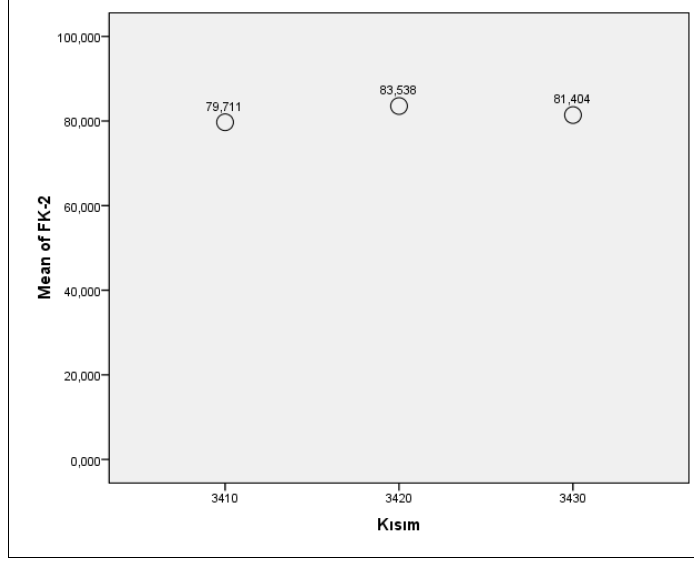
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

5.2.4.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.17'deki grafiksel gösterimi incelendiğinde “Dinlenme Etkisi Faktörü (FK-2)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olmadığı görülüyor.



Şekil 5.17 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-2).

Çizelge 5.38’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,198>0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.39’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.38 : KM bazında varyans analizi (FK-2).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	146,770	2	73,385	1,679	0,198
Gruplar içi	1967,186	45	43,715		
Toplam	2113,956	47			

Çizelge 5.39 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-2).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	79,711	6,885	70,693	88,704
3420	20	83,538	5,403	68,471	88,704
3430	8	81,404	8,551	69,480	88,704
Tüm Sınıflar	48	81,588	6,707	68,471	88,704

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ve Çizelge 5.40’de gösterilen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, varyans analizi sonuçlarına paralel olarak tek alt sınıf olduğu görülecektir. 3420 kısım müdürlüğü en yüksek, 3410 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter ortalaması değerine sahipken, 3430 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır.

Çizelge 5.40 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-2).

FK-2			
		N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey HSD ^a „b	Kısım 3410	20	79,71115
	3430	8	81,40350
	3420	20	83,53795
	Sig.		,303

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

5.2.4.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Dinlenme Etkisi Faktörü (FK-2)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki de yine regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.41’de yer alan Model-1 analiz tablosunda yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %84,1 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. “Vardiya İçi Mola Faktörü (FK-21)” ve “Vardiya Süresi Faktörü (FK-23)” alt kriterleri tüm iş istasyonları için aynı değerde oldukları için analiz dışında bırakılmışlardır. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Çevrim İçi Mola Faktörü (FK-22)” kriteri ile “Dinlenme Etkisi Faktörü (FK-2)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p=0,000<0,050$). “Çevrim İçi Mola Faktörü (FK-22)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli negatif ilişki de dikkate alınmalıdır (Pearson korelasyon katsayısı $r=-%91,7$). Dolayısıyla kuvvetli negatif korelasyon ve ana kriter üzerindeki etki sebebiyle “Çevrim İçi Mola Faktörü (FK-22)” kriteri üzerinde durulması önem taşımaktadır.

Çizelge 5.41 : Regresyon ve korelasyon analizi (FK-2).

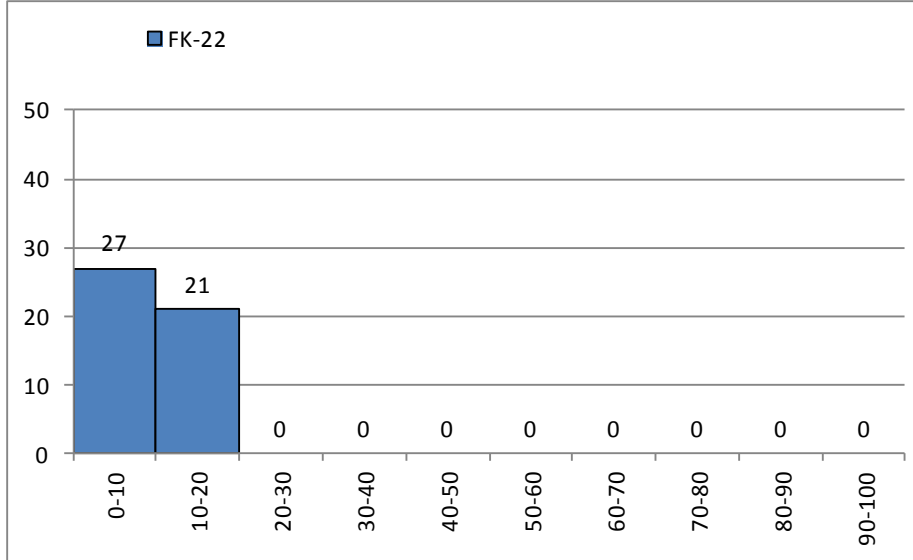
Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,841	0,837	2,706

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	1777,133	1	1777,133	242,704	0,000
Hata	336,822	46	7,322		
Toplam	2113,956	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	94,186	0,898	-	104,878	0,000	-
FK-22	-1,405	0,090	-0,917	-15,579	0,000	-0,917

5.2.5 Çevrim içi mola faktörü sonuçlarının analizi

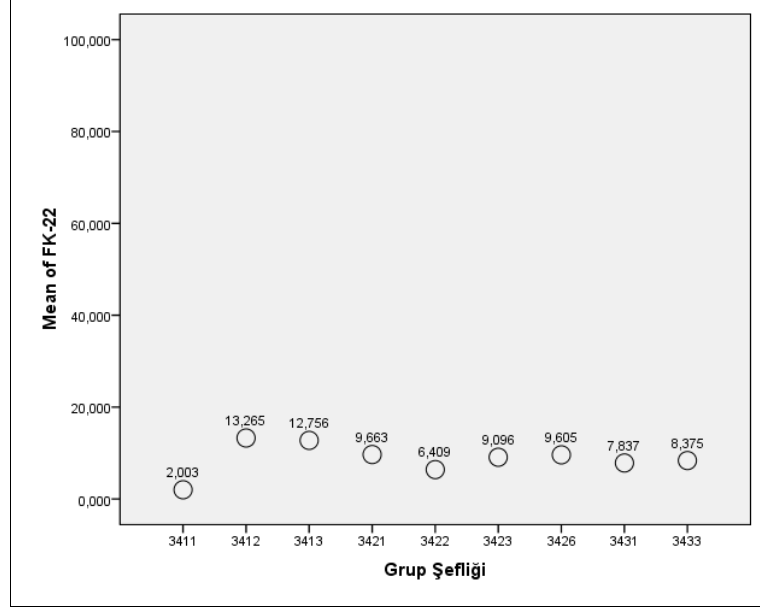
48 iş istasyonu için “FuzzyErgonomics” yazılımı koşturulduğunda elde edilen “Çevrim İçi Mola Faktörü (FK-22)” değerlerinin Şekil 5.18’deki histogram gösterimlerine bakıldığında, değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde 2 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.18 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-22).

5.2.5.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.19'daki grafikte gösterilmiştir. Grafiksel gösterimden “Çevrim İçi Mola Faktörü (FK-22)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu anlaşıyor.



Şekil 5.19 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-22).

Çizelge 5.42’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de 0’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.42 : GŞ bazında varyans analizi (FK-22).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	571,279	8	71,410	8,476	0,000
Gruplar içi	328,578	39	8,425		
Toplam	899,858	47			

Çizelge 5.43 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-22).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	2,003	0,696	1,163	2,941
3412	7	13,265	0,955	12,500	14,286
3413	7	12,756	1,135	11,278	14,286
3421	7	9,663	3,669	6,465	16,588
3422	6	6,409	0,816	5,882	7,463
3423	4	9,096	0,881	8,333	9,859
3426	3	9,605	1,010	8,955	10,769
3431	4	7,837	6,458	0,334	14,706
3433	4	8,375	5,755	1,961	14,706
Tüm Sınıflar	48	8,965	4,376	0,334	16,588

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ve Çizelge 5.44’de gösterilen ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada üç alt sınıf göze çarpmaktadır. 3412 ve 3413 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile üçüncü alt sınıfta yer alırken, 3412 ve 3413 grup şeflikleri sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almaktadırlar. Diğer grup şeflikleri de her üç alt sınıfın en az birinde yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

Çizelge 5.44 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-22).

FK-22					
Grup Şefliği		N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD ^a ..b	3411	6	2,00267		
	3422	6	6,40900	6,40900	
	3431	4	7,83675	7,83675	7,83675
	3433	4		8,37525	8,37525
	3423	4		9,09600	9,09600
	3426	3		9,60500	9,60500
	3421	7		9,66329	9,66329
	3413	7			12,75671
	3412	7			13,26543
	Sig.		,070	,712	,115

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

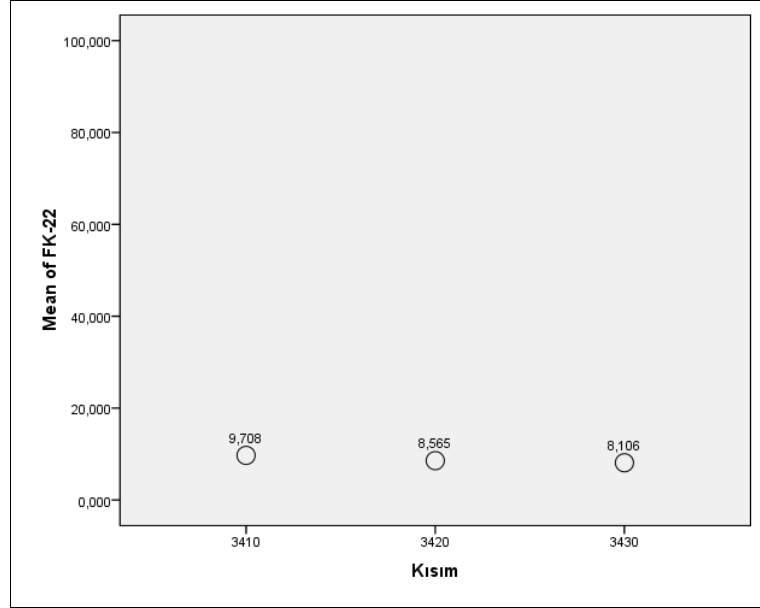
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

5.2.5.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.20’deki grafiksel gösterimine göre “Çevrim İçi Mola Faktörü (FK-22)” kriter

değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olmadığı görülüyor.



Şekil 5.20 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-22).

Çizelge 5.45’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,601>0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.46’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.45 : KM bazında varyans analizi (FK-22).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	20,153	2	10,077	0,515	0,601
Gruplar içi	879,705	45	19,549		
Toplam	899,858	47			

Çizelge 5.46 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-22).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	9,708	5,259	1,163	14,286
3420	20	8,565	2,607	5,882	16,588
3430	8	8,106	5,671	0,334	14,706
Tüm Sınıflar	48	8,965	4,376	0,334	16,588

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ve Çizelge 5.47’de gösterilen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama

yapılırsa, varyans analizi sonuçlarına paralel olarak tek alt sınıf olduğu görülecektir. 3410 kısım müdürlüğü en yüksek, 3430 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter ortalaması değerine sahipken, 3420 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır.

Çizelge 5.47 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-22).

FK-22			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
Tukey HSD ^a	3430	8	8,10600
„b	3420	20	8,56480
	3410	20	9,70820
Sig.			,621

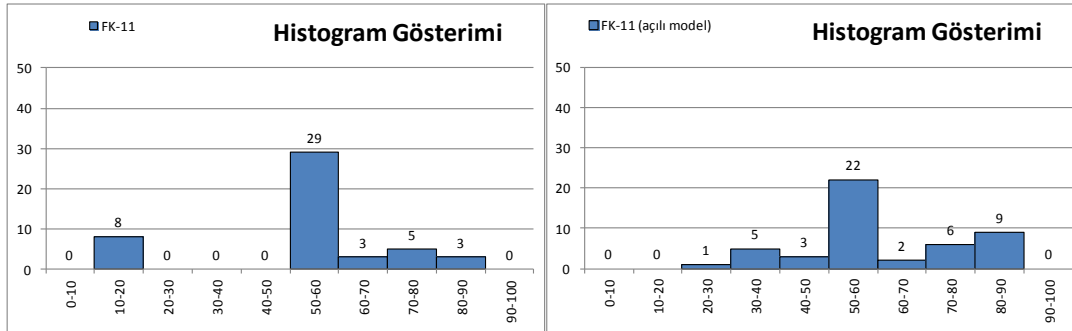
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

5.2.6 Baş boyun bölgesi - fizyolojik yüklenme faktörü sonuçlarının analizi

FuzzyErgonomics yazılımı her iki model için de 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)” kriter değerlerinin Şekil 5.21’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde her iki modele ait verilerin birbirinden farklı şekilde dağıldığı görülecektir.



Şekil 5.21 : Model-1 ve Model-2 (açılı) verilerinin histogram gösterimi (FK-11).

Her iki modele göre elde edilen sonuçlar iş istasyonu bazında Çizelge 5.48’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, kriter değerleri ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi reddedilir, dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında farklılık söz konusudur ($p=0,012<0,050$).

Çizelge 5.48 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-11).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	r	t	df	p değeri
FK-11	50,464	48	20,515	2,961	48	0,495	0,000	47	0,012
FK-11 (açılı)	57,889	48	18,765	2,709					

“Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.49 ve Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tablolarda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da anlaşılabilmektedir. Alt ve üst kriterler arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı Şekil 5.22’de gösterilen kriter hiyerarşisinde de ifade edilmeye çalışılmıştır. Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır. Örneğin her iki model için de “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” ile alt kriterleri arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde “Baş Boyun Bölgesi - Frontal Düzlem Konumu (FK-11222)” alt kriterinin üst kriterle arasındaki ilişkinin her iki modelde de istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla veri toplama esnasında boynun sağa veya sola büküldüğü (lateral hareket) iş adımları üzerinde yoğunlaşmak gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.49 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1 / FK-11).

0

50

100

0-100 aralığında yüklenme skalası

		Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Baş Boyun Bölgesi - Pozisyon Faktörü		Baş Boyun Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı		Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü		Baş Boyun Bölgesi - Sagittal Düzlem Konumu		Baş Boyun Bölgesi - Frontal Düzlem Konumu		Baş Boyun Bölgesi - Medial Rotasyonu		Baş Boyun Bölgesi - Genel Vücut Pozisyonu Etkisi		Genel Duruş Faktörü		Vücut Desteği Faktörü	
		FK-11		FK-112		FK-1121		FK-1122		FK-11221		FK-11222		FK-11223		FK-1123		FK-11231		FK-11232	
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi		p	-	p	-	p	0,000	p	0,000	p	0,151	p	0,006	p	0,007	p	-	p	-	p	-
		Beta	-	Beta	-	Beta	0,174	Beta	0,982	Beta	0,185	Beta	0,457	Beta	0,389	Beta	-	Beta	-	Beta	-
		Kor.	-	Kor.	-	Kor.	0,113	Kor.	0,971	Kor.	-0,096	Kor.	0,598	Kor.	0,640	Kor.	-	Kor.	-	Kor.	-

	Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
Grup Şefliği	3411	Parça Üretimi	11,4	9	11,4	9	29,2	3	10,4	9	42,5	4	0,0	9	10,0	9	10,2	1	10,2	4	10,2	1
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi	52,9	7	52,9	7	23,6	6	56,2	5	56,3	1	12,7	6	13,5	5	10,2	1	10,7	2	10,2	1
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi	62,8	2	62,8	2	25,7	4	64,0	1	56,3	1	17,5	5	14,6	2	10,2	1	10,4	3	10,2	1
	3421	Koltuklandırma	47,1	8	47,1	8	23,6	5	46,1	8	54,5	3	9,5	8	11,3	8	10,2	1	11,0	1	10,2	1
	3422	Montaj I	59,0	3	59,0	3	22,5	8	60,5	2	26,0	5	25,9	4	13,5	4	10,2	1	10,2	4	10,2	1
	3423	Montaj II	54,8	4	54,8	4	17,5	9	57,1	3	25,0	6	33,3	2	13,9	3	10,2	1	10,2	4	10,2	1
	3426	Montaj III	54,6	5	54,6	5	23,3	7	56,6	4	25,0	6	37,0	1	15,6	1	10,2	1	10,2	4	10,2	1
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi	65,0	1	65,0	1	55,0	1	51,7	6	25,0	6	11,1	7	12,2	7	10,2	1	10,2	4	10,2	1
	3433	Astar ve Son Kat Boya	54,4	6	54,4	6	33,8	2	51,7	7	25,0	6	30,6	3	13,1	6	10,2	1	10,2	4	10,2	1
Kısım Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM	43,9	3	43,9	3	26,0	2	45,2	3	52,1	1	10,6	3	12,8	2	10,2	1	10,4	2	10,2	1
	3420	Montaj KM	53,3	2	53,3	2	22,0	3	54,2	1	35,6	2	23,3	1	13,1	1	10,2	1	10,5	1	10,2	1
	3430	Boya KM	59,7	1	59,7	1	44,4	1	51,7	2	25,0	3	20,8	2	12,6	3	10,2	1	10,2	3	10,2	1

Çizelge 5.50 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-2 / FK-11).

0

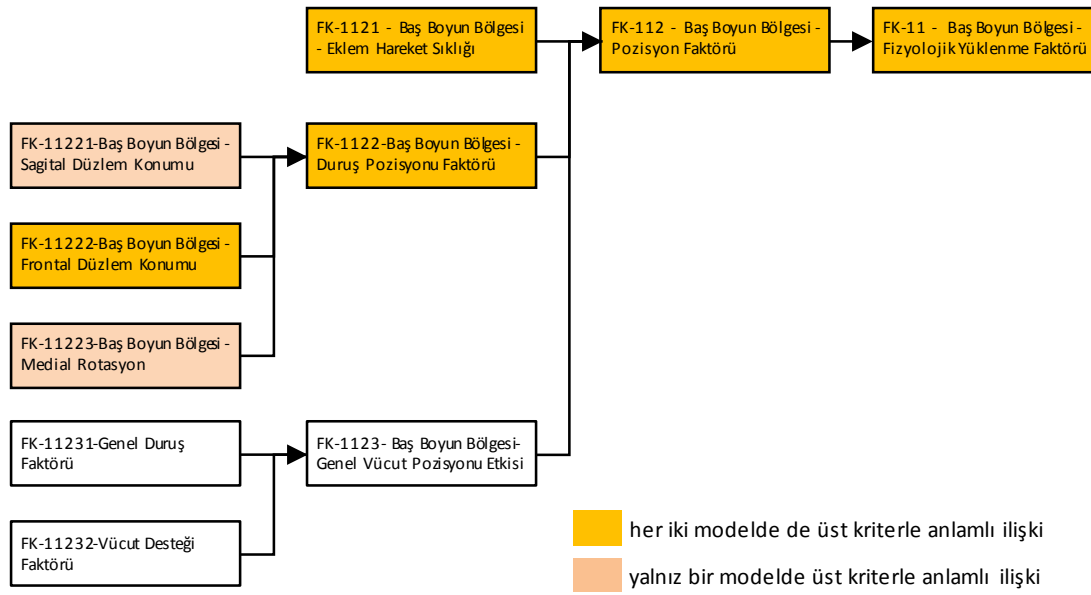
50

100

0-100 aralığında yüklenme skalası

			Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Baş Boyun Bölgesi - Pozisyon Faktörü		Baş Boyun Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı		Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü		Baş Boyun Bölgesi - Sagittal Düzlem Konumu		Baş Boyun Bölgesi - Frontal Düzlem Konumu		Baş Boyun Bölgesi - Medial Rotasyonu		Baş Boyun Bölgesi - Genel Vücut Pozisyonu Etkisi		Genel Duruş Faktörü		Vücut Destegi Faktörü	
			FK-11		FK-112		FK-1121		FK-1122		FK-11221		FK-11222		FK-11223		FK-1123		FK-11231		FK-11232	
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi	p	-	p	-	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,781	p	-	p	-	p	-
	Beta	-	Beta	-	Beta	0,221	Beta	0,988	Beta	0,612	Beta	0,666	Beta	0,015	Beta	0,015	Beta	-	Beta	-	Beta	-
	Kor.	-	Kor.	-	Kor.	0,126	Kor.	0,966	Kor.	0,670	Kor.	0,721	Kor.	0,341	Kor.	0,341	Kor.	-	Kor.	-	Kor.	-

	Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
Grup Şefliği	3411	Parça Üretimi	33,7	9	33,7	9	29,2	3	33,5	9	33,0	9	17,0	9	10,5	9	10,2	1	10,2	4	10,2	1
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi	75,3	2	75,3	2	23,6	6	76,3	1	61,3	2	29,1	4	13,0	5	10,2	1	10,7	2	10,2	1
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi	65,9	4	65,9	4	25,7	4	67,6	4	62,7	1	29,6	2	15,6	2	10,2	1	10,4	3	10,2	1
	3421	Koltuklandırma	48,6	7	48,6	7	23,6	5	48,2	7	51,2	5	17,3	8	11,3	8	10,2	1	11,0	1	10,2	1
	3422	Montaj I	46,4	8	46,4	8	22,5	8	46,5	8	44,3	7	19,1	6	13,4	4	10,2	1	10,2	4	10,2	1
	3423	Montaj II	69,8	3	69,8	3	17,5	9	69,7	3	51,1	6	35,4	1	14,1	3	10,2	1	10,2	4	10,2	1
	3426	Montaj III	51,9	6	51,9	6	23,3	7	53,8	5	51,5	4	19,0	7	16,7	1	10,2	1	10,2	4	10,2	1
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi	79,6	1	79,6	1	55,0	1	69,9	2	59,8	3	23,6	5	12,5	7	10,2	1	10,2	4	10,2	1
	3433	Astar ve Son Kat Boya	54,0	5	54,0	5	33,8	2	52,9	6	39,6	8	29,5	3	12,9	6	10,2	1	10,2	4	10,2	1
Kısım Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM	59,5	2	59,5	2	26,0	2	60,4	2	53,3	1	25,7	2	13,2	2	10,2	1	10,4	2	10,2	1
	3420	Montaj KM	52,7	3	52,7	3	22,0	3	52,8	3	49,1	3	21,7	3	13,3	1	10,2	1	10,5	1	10,2	1
	3430	Boya KM	66,8	1	66,8	1	44,4	1	61,4	1	49,7	2	26,6	1	12,7	3	10,2	1	10,2	3	10,2	1



Şekil 5.22 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (FK-11 / Model-1&2).

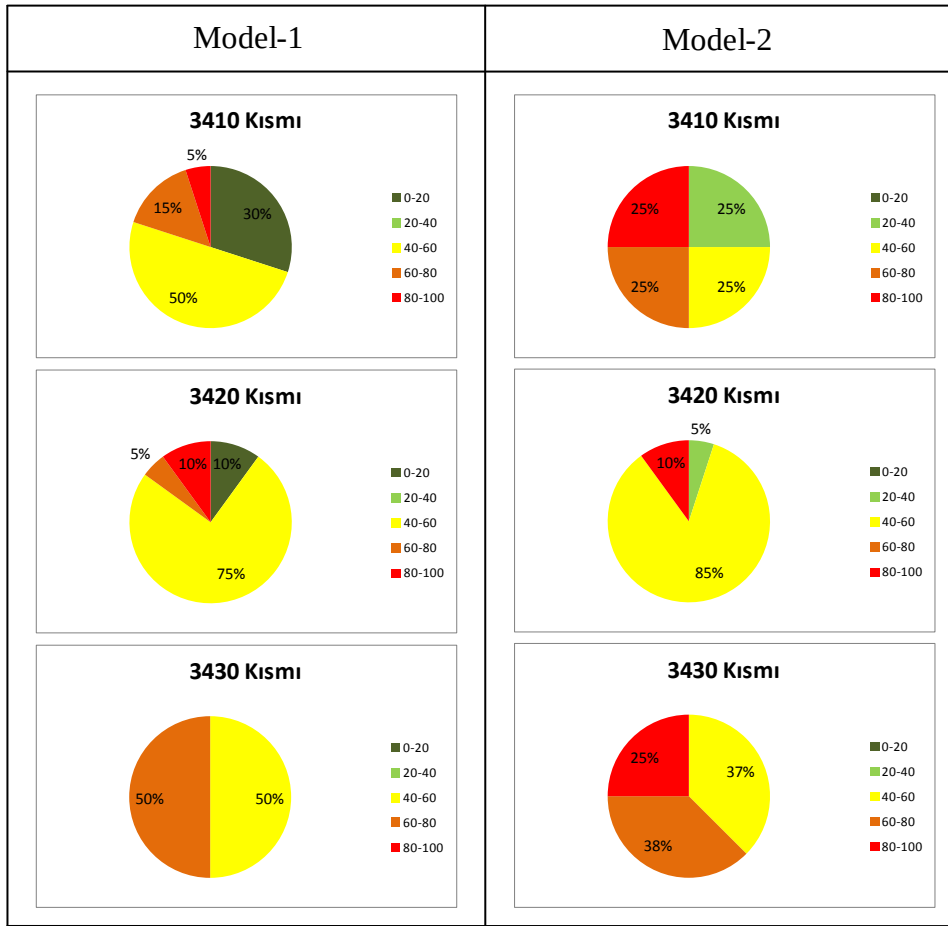
Alt kriterler ile ilişkilerin anlamlılığı kadar, alt kriterlerin bağlı oldukları üst kriterlere ne düzeyde etkilerinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.49 ve Çizelge 5.1’da verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanılması gereken kriterler belirlenebilmektedir.

Her iki modelde de “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)” ile alt faktörleri olan “Baş Boyun Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı (FK-1121)” ve “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu (FK-1122)” kriterleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlıdır. Regresyon katsayıları incelendiğinde her iki modelde de “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu (FK-1122)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Baş Boyun Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı (FK-1121)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir; ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu (FK-1122)” kriterinin boyun bölgesinde meydana gelen yüklenmelerdeki payının daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.49 ve Çizelge 5.1’da görüleceği üzere “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)” kriteri açısından yüklenme değerleri incelendiğinde, grup şefliği bazında her iki modelde de 3411 grup şefliğinde çalışanların düşük yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3431 grup şefliği ise her iki modelde de yüklenme maruziyeti açısından en yüksek seviyede yer almaktadır.

Yüklenme değerleri karşılaştırıldığında ikinci modelden elde edilen analiz sonuçlarının birinci modelin elde edilen sonuçlara göre daha yüksek yüklenme seviyeleri ortaya koyduğu görülmektedir, eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları da bu durumu teyit etmektedir. Dolayısıyla anlık gözlemlere dayanan ilk model sonuçları yanıltıcı olabilir. Örnek vermek gerekirse Çizelge 5.49 ve Çizelge 5.1’da görüleceği üzere 3412 grup şefliği ilk modelde 52,9 puanlık “biraz yüksek / biraz olumsuz” yüklenme değeri ile risk potansiyeli “biraz yüksek” bir çalışma ortamı olarak tanımlanırken, ikinci modelde 75,3 puanlık “yüksek / olumsuz” yüklenme değeri ile risk potansiyeli “yüksek” bir çalışma ortamı olarak tanımlanmaktadır.

Yine Çizelge 5.49, Çizelge 5.1 ve Şekil 5.23’den de görülebileceği üzere “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında 3430 kısım müdürlüğünde çalışanların her iki modelde de görece en yüksek yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. İlk modelde, 3410 ve 3420 kısım müdürlüklerinde 3430 kısım müdürlüğündeki kadar olmasa da “biraz yüksek / biraz olumsuz” seviyelerde yüklenme maruziyeti söz konusudur. İkinci modelde de 3410 ve 3420 kısım müdürlükleri için “biraz yüksek / biraz olumsuz” seviyelerde yüklenme maruziyeti söz konusudur.

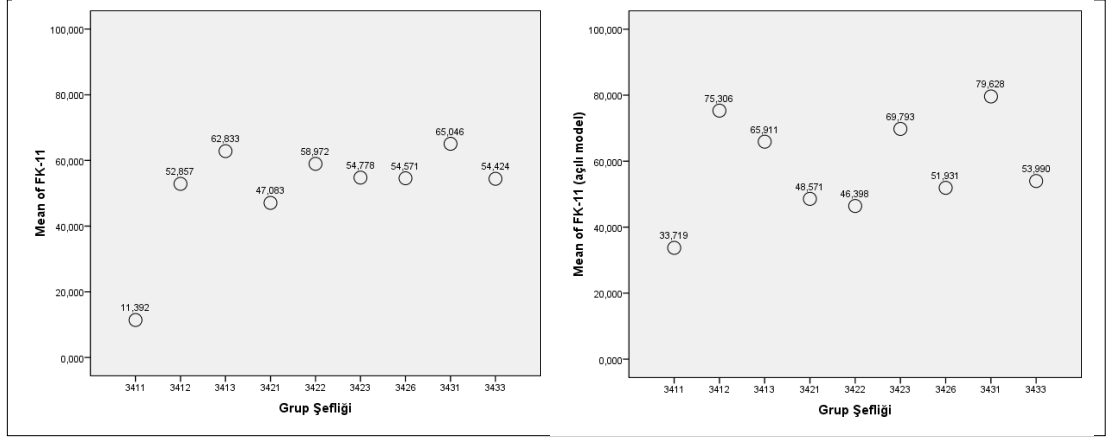


Şekil 5.23 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (FK-11 / Model-1&2).

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet çizelgeler yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

5.2.6.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.24’deki grafiklerde yer almaktadır. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.24 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-11).

Çizelge 5.51’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.52’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.51 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-11).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	11823,601	8	1477,950	7,244	0,000
Gruplar içi	7957,470	39	204,038		
Toplam	19781,071	47			

Çizelge 5.52 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	11,392	0,711	10,845	12,770
3412	7	52,857	7,559	50,000	70,000
3413	7	62,833	14,250	50,000	89,155
3421	7	47,083	17,438	10,845	68,733
3422	6	58,972	28,836	10,845	89,155
3423	4	54,778	0,525	54,324	55,232
3426	3	54,571	0,970	54,010	55,692
3431	4	65,046	10,179	50,000	71,686
3433	4	54,424	5,715	50,000	61,987
Tüm Sınıflar	48	50,464	20,515	10,845	89,155

Model-2 (açı aralıklı) koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.53’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri

ortalamları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.54’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.53 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-11).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	10103,549	8	1262,944	7,640	0,000
Gruplar içi	6447,152	39	165,312		
Toplam	16550,701	47			

Çizelge 5.54 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-11).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	33,719	8,030	30,000	50,000
3412	7	75,306	18,017	50,000	89,155
3413	7	65,911	13,604	50,000	89,155
3421	7	48,571	3,780	40,000	50,000
3422	6	46,398	8,824	28,385	50,000
3423	4	69,793	22,855	50,000	89,585
3426	3	51,931	3,345	50,000	55,794
3431	4	79,628	11,612	67,685	89,585
3433	4	53,990	14,116	44,952	74,915
Tüm Sınıflar	48	57,889	18,765	28,385	89,585

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.55’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.55 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-11).

FK-11				FK-11 (açılı model)							
Grup Şefliği		N	Subset for alpha = 0.05		Grup Şefliği		N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2				1	2	3	4
Tukey HSD ^a . _b	3411	6	11,39152		3411	6	33,71915				
	3421	7		47,08261	3422	6	46,39750	46,39750			
	3412	7		52,85714	3421	7	48,57143	48,57143	48,57143		
	3433	4		54,42353	3426	3	51,93137	51,93137	51,93137		
	3426	3		54,57127	3433	4	53,99022	53,99022	53,99022	53,99022	
	3423	4		54,77815	3413	7		65,91141	65,91141	65,91141	
	3422	6		58,97247	3423	4		69,79270	69,79270	69,79270	
	3413	7		62,83267	3412	7		75,30640	75,30640	75,30640	
	3431	4		65,04568	3431	4			79,62758	79,62758	
	Sig.		1,000	,576	Sig.		,281	,136	,054	,074	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

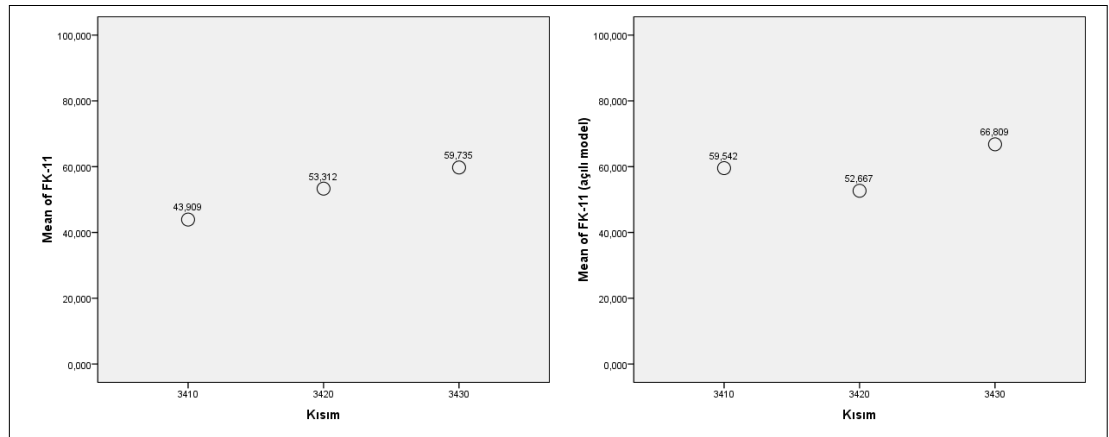
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablolarına göre yapılan sınıflamada ilk modelde iki, ikinci modelde ise

dört alt sınıf göze çarpmaktadır. Her iki model de grup şefliği bazında kriter değerleri ortalamalarına göre farklı sıralama ve değer aralıkları ortaya koymuştur. İlk modelde 3431, 3413, 3422, 3423, 3426, 3433, 3412 ve 3421 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3411 grup şefliği sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. İkinci modele bakıldığında 3431 grup şefliği en yüksek kriter değerleri ortalaması ile dördüncü alt sınıfta, 3411 grup şefliği ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır. Diğer grup şeflikleri ise en az iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

5.2.6.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.25’de yer almaktadır. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olmadığını gösteriyor



Şekil 5.25 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-11).

Çizelge 5.56’da görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,131 > 0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.57’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.56 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-11).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	1709,161	2	854,580	2,128	0,131
Gruplar içi	18071,910	45	401,598		
Toplam	19781,071	47			

Çizelge 5.57 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-11).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	43,909	24,034	10,845	89,155
3420	20	53,312	18,442	10,845	89,155
3430	8	59,735	9,521	50,000	71,686
Tüm Sınıflar	48	50,464	20,515	10,845	89,155

Model-2 (açı aralıklı) koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim de ilk modele paralel olarak “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olmadığını gösteriyor. Çizelge 5.58’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,174>0,050$).

Çizelge 5.58 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-11).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	1236,446	2	618,223	1,817	0,174
Gruplar içi	15314,255	45	340,317		
Toplam	16550,701	47			

Çizelge 5.59 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-11).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	59,542	22,248	30,000	89,155
3420	20	52,667	13,751	28,385	89,585
3430	8	66,809	18,193	44,952	89,585
Tüm Sınıflar	48	57,889	18,765	28,385	89,585

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.60’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.60 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 /FK-11).

FK-11				FK-11 (açılı model)			
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05
			1				1
Tukey HSD ^a „b	3410	20	43,90889	Tukey HSD ^a „b	3420	20	52,66750
	3420	20	53,31198		3410	20	59,54198
	3430	8	59,73460		3430	8	66,80890
	Sig.		,115		Sig.		,129

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, her iki modelde de farklı sıralama ve kriter değer aralıkları olduğu görülecektir. Kriter değerleri ortalamaları açısından Varyans analizi sonuçlarının da teyit ettiği şekilde her iki modelde de tek alt sınıf göze çarpmaktadır. Kriter değerleri ortalama büyüklüğüne göre kısım müdürlüklerinin sıralaması ilk modelde 3430. 3420. 3410 olarak, ikinci modelde ise 3420. 3410. 3430 olarak gerçekleşmektedir.

5.2.6.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

“Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyedeki alt kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.61 ve Çizelge 5.62’de yer alan her iki modele ait analiz tablolarındaki yüksek R^2 (Belirlilik) değerlerinden hareketle ($R^2_{\text{Model-1}}=\%98,3$; $R^2_{\text{Model-2}}=\%97,3$) ana kriterin alt kriterlere yüksek derecede bağlı olduğu görülmektedir. Varyans analizi tablolarındaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın $\%95$ güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tabloları incelendiğinde her iki modelde de “Baş Boyun Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı (FK-1121)” ve “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)”, kriterleri ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p<0,050$), özellikle “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” kriterinin ana kriter üzerinde göreceli olarak daha yüksek etkiye (Model-1 için $|\beta_{\text{FK-1122}}|=0,988 > |\beta_{\text{FK-1121}}|=0,221$; Model-2 için $|\beta_{\text{FK-1122}}|=0,982 > |\beta_{\text{FK-1121}}|=0,174$) sahip olduğunun altı çizilmelidir.

Çizelge 5.61 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-11).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,983	0,982	2,770

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	19435,815	2	9717,908	1266,614	0,000
Hata	345,256	45	7,672		
Toplam	19781,071	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-10,912	1,516	-	-7,196	0,000	-
FK-1121	0,392	0,035	0,221	11,175	0,000	0,126
FK-1122	1,012	0,020	0,988	49,924	0,000	0,966

Çizelge 5.62 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-11).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,973	0,972	3,167

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	16099,420	2	8049,710	802,686	0,000
Hata	451,281	45	10,028		
Toplam	16550,701	47			

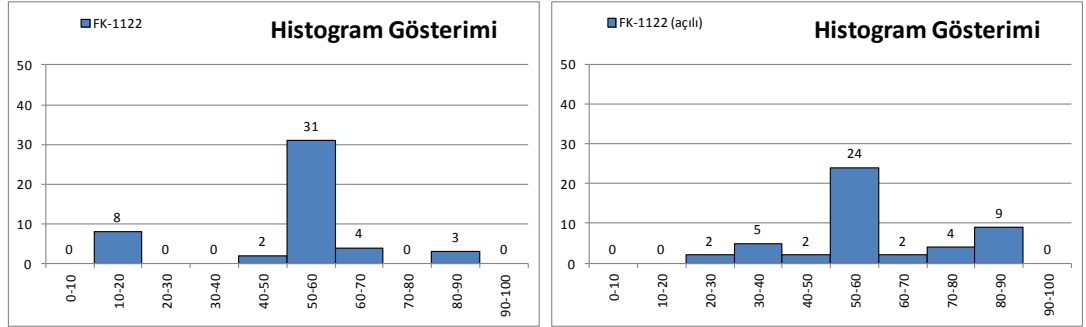
Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-5,082	1,877	-	-2,707	0,010	-
FK-1121 (açılı)	0,282	0,040	0,174	7,062	0,000	0,113
FK-1122 (açılı)	0,962	0,024	0,982	39,805	0,000	0,971

Analiz sonuçları ışığında her iki model için de en yüksek anlamlılık seviyesine sahip olan “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” kriterini daha detaylı incelemenin öncelikli olduğu ortaya çıkmaktadır.

5.2.6.4 Baş boyun bölgesi - duruş pozisyonu faktörü sonuçlarının analizi

FuzzyErgonomics yazılımı her iki model için de 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” kriter değerlerinin Şekil 5.26’da bulunan histogram gösterimleri

incelendiğinde modellerin ortaya koyduğu verilerin farklı dağıldığı, özellikle ikinci modelde ilgili kritere göre daha yüksek yüklenme düzeylerinde sonuçların elde edildiği görülecektir.



Şekil 5.26 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-1122).

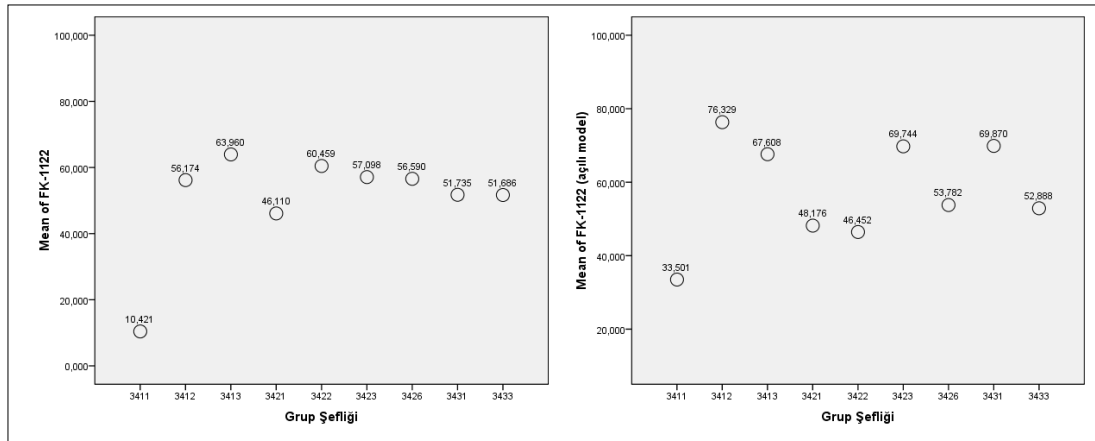
Her iki modele göre elde edilen sonuçlar iş istasyonu bazında Çizelge 5.63’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, kriter değerleri ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi reddedilir, dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında farklılık söz konusudur ($p=0,011<0,050$).

Çizelge 5.63 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-1122).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	r	T	df	p değeri
FK-1122	50,017	48	20,015	2,889	48	0,512	-2,647	47	0,011
FK-1122 (açılı)	57,414	48	19,150	2,764					

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.27’deki grafiklerde yer almaktadır. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.27 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1122).

Çizelge 5.64’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.65’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.64 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1122).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	12147,598	8	1518,450	8,863	0,000
Gruplar içi	6681,537	39	171,321		
Toplam	18829,135	47			

Çizelge 5.65 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1122).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	10,421	0,329	10,208	10,845
3412	7	56,174	5,557	52,345	68,651
3413	7	63,960	12,747	52,345	88,932
3421	7	46,110	15,166	12,770	60,000
3422	6	60,459	28,166	12,770	89,373
3423	4	57,098	0,185	56,938	57,258
3426	3	56,590	0,352	56,235	56,938
3431	4	51,735	3,469	50,000	56,938
3433	4	51,686	6,773	45,644	57,550
Tüm Sınıflar	48	50,017	20,015	10,208	89,373

Model-2 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.66’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında

anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.67’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.66 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1122).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	9331,588	8	1166,448	5,756	0,000
Gruplar içi	7903,845	39	202,663		
Toplam	17235,433	47			

Çizelge 5.67 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1122).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	33,501	8,113	29,464	50,000
3412	7	76,329	16,922	52,009	89,702
3413	7	67,608	13,386	52,272	89,106
3421	7	48,176	7,443	31,611	53,743
3422	6	46,452	10,973	24,169	52,272
3423	4	69,744	22,799	50,000	89,590
3426	3	53,782	2,826	52,033	57,043
3431	4	69,870	22,887	50,000	89,792
3433	4	52,888	15,278	42,835	75,282
Tüm Sınıflar	48	57,414	19,150	24,169	89,792

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.68’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.68 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1122).

FK-1122				FK-1122 (açılı model)			
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05		Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2			1	2
Tukey HSD ^a	3411	6	10,42053	Tukey HSD ^a	3411	6	33,50120
„b	3421	7	46,11003	„b	3422	6	46,45208
	3433	4	51,68605		3421	7	48,17597
	3431	4	51,73458		3433	4	52,88798
	3412	7	56,17397		3426	3	53,78233
	3426	3	56,58957		3413	7	67,60844
	3423	4	57,09825		3423	4	69,74448
	3422	6	60,45882		3431	4	69,87025
	3413	7	63,95976		3412	7	76,32921
Sig.			1,000	Sig.			,411
			,469				,051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

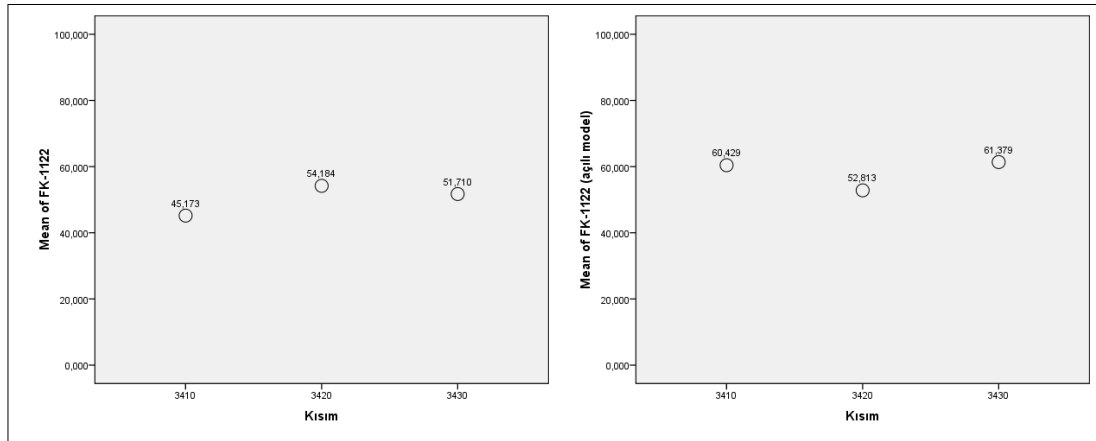
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada her iki modelde de iki alt sınıf göze çarpmaktadır. Her iki model de grup şefliği bazında kriter değerleri ortalamalarına göre farklı sıralama ve değer aralıkları ortaya koymuştur. İlk modelde 3413, 3422, 3423, 3426, 3412, 3431, 3433 ve 3421 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3411 grup şefliği sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. İkinci modele bakıldığında 3412, 3431, 3423 ve 3413 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3411 grup şefliği ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır. 3422, 3421, 3433 ve 3426 grup şeflikleri ise her iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.28'deki grafiklerde yer almaktadır. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olmadığını gösteriyor.



Şekil 5.28 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1122).

Çizelge 5.69’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95

güven aralığı için $p=0,358>0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.70’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.69 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1122).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	839,550	2	419,775	1,050	0,358
Gruplar içi	17989,585	45	399,769		
Toplam	18829,135	47			

Çizelge 5.70 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1122).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	45,173	24,841	10,208	88,932
3420	20	54,184	17,905	12,770	89,373
3430	8	51,710	4,982	45,644	57,550
Tüm Sınıflar	48	50,017	20,015	10,208	89,373

Model-2 (açı aralıklı) koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olmadığını gösteriyor. Çizelge 5.71’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,377>0,050$).

Çizelge 5.71 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1122).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	730,825	2	365,413	0,996	0,377
Gruplar içi	16504,607	45	366,769		
Toplam	17235,433	47			

Çizelge 5.72 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1122).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	60,429	22,482	29,464	89,702
3420	20	52,813	14,605	24,169	89,590
3430	8	61,379	20,172	42,835	89,792
Tüm Sınıflar	48	57,414	19,150	24,169	89,792

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.73’de ise her iki modelin ortaya koyduğu

sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.73 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 /FK-1122).

FK-1122				FK-1122 (açılı model)			
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05
			1				1
Tukey HSD ^a „b	3410	20	45,17297	Tukey HSD ^a „b	3420	20	52,81346
	3430	8	51,71031		3410	20	60,42854
	3420	20	54,18424		3430	8	61,37911
	Sig.		,481		Sig.		,486
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.				a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.			
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.				b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.			

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, her iki modelde de farklı sıralama ve kriter değer aralıkları olduğu görülecektir. Kriter değerleri ortalamaları açısından Varyans Analizi sonuçlarına paralel olarak her iki modelde de tek alt sınıf göze çarpmaktadır. Kriter değerleri ortalama büyüklüğüne göre kısım müdürlüklerinin sıralaması ilk modelde 3420. 3430. 3410. ikinci modelde ise 3430. 3410. 3420 olarak gerçekleşmektedir. Ancak bu sıralamalara rağmen aradaki farklılıkların göz ardı edilecek seviyede düşük olduğu hatırlanmalıdır.

Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki de yine regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.74’de yer alan Model-1 analiz tablosunda nispeten düşük R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %50,5 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İlk modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Baş Boyun Bölgesi - Frontal Düzlem Konumu (FK-11222)” ve “Baş Boyun Bölgesi - Medial Rotasyonu (FK-11223)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p<0,050$), aynı durumun “Baş Boyun Bölgesi - Sagital Düzlem Konumu (FK-11221)” kriteri için söz konusu olamıyor ($p>0,050$). Standardize edilmiş

katsayılara bakıldığında “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-11222}|=0,457>|\beta_{FK-11223}|=0,389$) sahip olan kriterin “Baş Boyun Bölgesi - Frontal Düzlem Konumu (FK-11222)” olduğunun altı özelliikle çizilmelidir.

Çizelge 5.74 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-1122).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,505	0,471	14,560

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	9502,026	3	3167,342	14,942	0,000
Hata	9327,109	44	211,980		
Toplam	18829,135	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-21,478	15,876	-	-1,353	0,183	-
FK-11221	0,251	0,171	0,185	1,462	0,151	-0,096
FK-11222	0,686	0,236	0,457	2,904	0,006	0,598
FK-11223	3,810	1,342	0,389	2,838	0,007	0,640

Çizelge 5.75’da yer alan Model-2 analiz tablosunda yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %89,5 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İkinci modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Baş Boyun Bölgesi - Sagital Düzlem Konumu (FK-11221)” ve “Baş Boyun Bölgesi - Frontal Düzlem Konumu (FK-11222)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p<0,050$), aynı durumun “Baş Boyun Bölgesi - Medial Rotasyonu (FK-11223)” için söz konusu olmadığı görülmektedir ($p>0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-11222}|=0,666>|\beta_{FK-11221}|=0,612$) ve yine ana kriter ile en kuvvetli pozitif ilişkiye (Pearson korelasyon katsayısı $r=\%72,1$) sahip olan kriter “Baş Boyun Bölgesi - Frontal Düzlem Konumu (FK-11222)” olarak belirlenmektedir.

Çizelge 5.75 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-1122).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,895	0,888	6,406

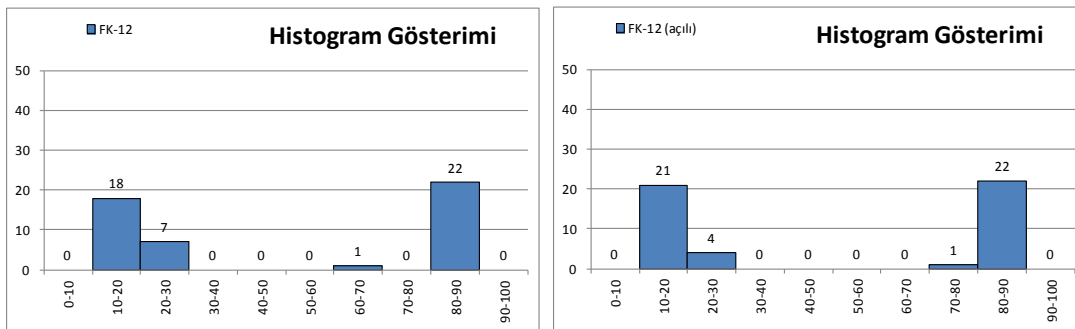
Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	15429,780	3	5143,260	125,331	0,000
Hata	1805,652	44	41,038		
Toplam	17235,433	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-12,757	5,798	-	-2,200	0,033	-
FK-11221 (açılı)	0,867	0,070	0,612	12,361	0,000	0,670
FK-11222 (açılı)	1,013	0,079	0,666	12,847	0,000	0,721
FK-11223 (açılı)	0,115	0,412	0,015	0,280	0,781	0,341

Bu verileri ışığında her iki model için de “Baş Boyun Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1122)” kriteri için özellikle bir alt hiyerarşide yer alan “Baş Boyun Bölgesi - Frontal Düzlem Konumu (FK-11222)” kriterini daha detaylı analiz etmenin diğer alt kriterlere göre daha öncelikli olduğu ortaya çıkmaktadır.

5.2.7 Gövde bel bölgesi - fizyolojik yüklenme faktörü sonuçlarının analizi

FuzzyErgonomics yazılımı her iki model için de 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” kriter değerlerinin Şekil 5.29’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde, her iki modelde de verilerin benzer şekilde dağıldığı görülecektir.



Şekil 5.29 : Model-1 ve Model-2 (açılı). verilerinin histogram gösterimi (FK-12).

Her iki modele göre elde edilen sonuçlar iş istasyonu bazında Çizelge 5.76’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, kriter değerleri ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi kabul edilir, dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında benzerlik söz konusudur ($p=0,541>0,050$), bu tespite paralel olarak %99,6’lık yüksek pozitif korelasyon değeri söz konusudur.

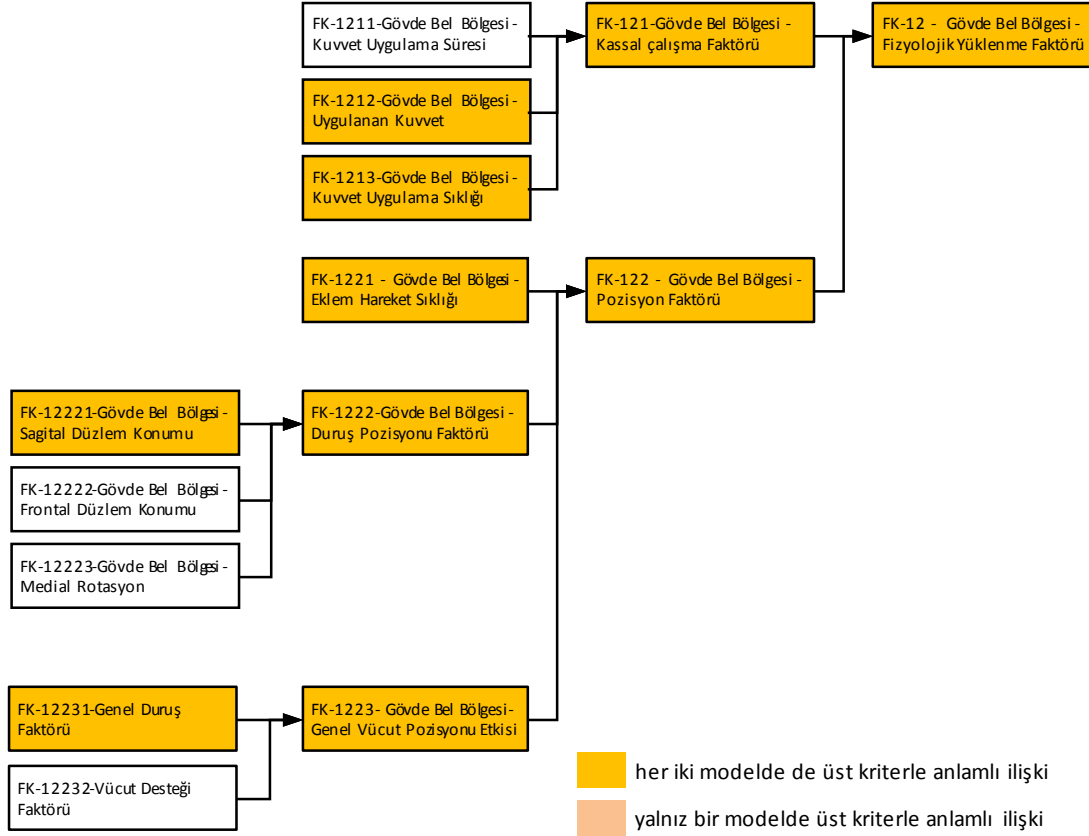
Çizelge 5.76 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-12).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	r	t	df	p değeri
FK-12	49,599	48	37,929	5,475	48	0,996	0,615	47	0,541
FK-12 (açılı)	49,296	48	38,368	5,538					

“Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.77 ve Çizelge 5.78’de gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tabloda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da yine tablodan okunabilmektedir, ayrıca Şekil 5.30’deki kriter hiyerarşisinde de gösterilmiştir. Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır. Örneğin her iki model için de “Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1222)” ile alt kriterleri arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde sadece “Gövde Bel Bölgesi - Sagital Düzlem Konumu (FK-12221)” alt faktörünün görece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla veri toplama esnasında belin lateral konumu üzerinde yoğunlaşmak analiz sürecini hızlandıracaktır. Alt kriterler ile ilişkinin anlamlılığı kadar, alt kriterin bağlı olduğu üst kritere ne düzeyde etkisinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.77 ve Çizelge 5.78’de verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanılması gereken kriterler belirlenebilmektedir.

Her iki modelde de “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” ile alt faktörleri olan “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” ve “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Faktörü (FK-122)” kriterleri arasındaki ilişki

istatistiksel olarak anlamlıdır. Regresyon katsayıları incelendiğinde her iki modelde de “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Faktörü (FK-122)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” kriterinin bel bölgesinde meydana gelen yüklenmelerdeki payının daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.30 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (FK-12 / Model-1&2).

Çizelge 5.77 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1 / FK-12).

050100

0-100 aralığında yüklenme skalası

|--|

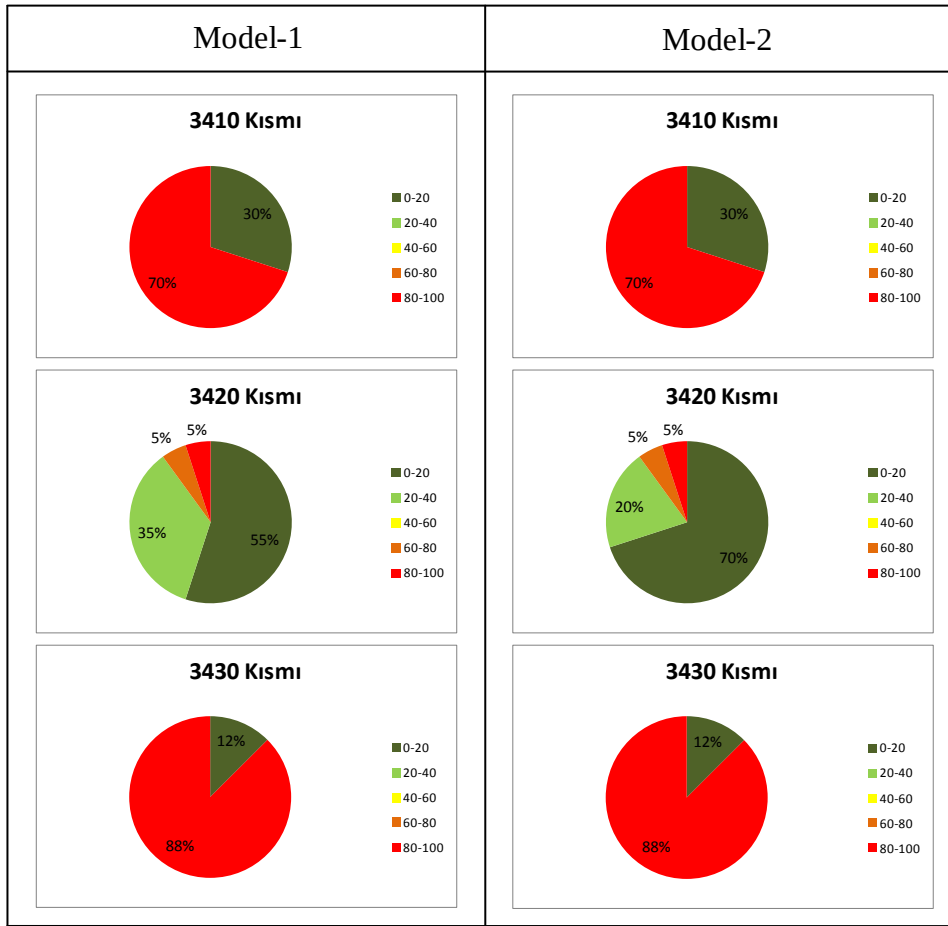
Çizelge 5.78 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-2 / FK-12).

050100 0-100 aralığında yüklenme skalası		Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü		Gövde Bel Bölgesi - Kasal Çalışma Faktörü		Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Süresi		Gövde Bel Bölgesi - Uygulanan Kuvvet		Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Sıklığı		Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Faktörü		Gövde Bel Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı		Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü		Gövde Bel Bölgesi - Sagittal Düzlemde Konumu		Gövde Bel Bölgesi - Frontal Düzlemde Konumu		Gövde Bel Bölgesi - Medial Rotasyonu		Gövde Bel Bölgesi - Genel Vücut Pozisyonu Etkisi		Genel Duruş Faktörü		Vücut Desteği Faktörü			
		FK-12		FK-121		FK-1211		FK-1212		FK-1213		FK-122		FK-1221		FK-1222		FK-12221		FK-12222		FK-12223		FK-1223		FK-12231		FK-12232			
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi				p		-		p		0,000		p		0,430		p		0,009		p		0,000		p		0,000		p		0,000	
				Beta		-		Beta		0,902		Beta		-0,026		Beta		0,052		Beta		1,006		Beta		0,120		Beta		0,520	
				Kor.		-		Kor.		0,989		Kor.		0,813		Kor.		0,175		Kor.		0,991		Kor.		0,771		Kor.		0,816	
Grup Şefliği	Kod	Açıklama		Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra		
	3411	Parça Üretimi		10,3	9	10,3	9	36,5	7	2,8	8	0,5	9	25,0	8	5,6	9	24,6	8	20,0	7	12,8	9	12,8	9	50,0	1	50,0	1	10,2	4
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi		89,4	2	89,8	1	100,0	1	4,3	6	100,0	1	52,0	2	18,6	6	49,5	2	41,5	2	13,4	7	13,5	5	35,7	7	35,7	7	10,7	3
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi		89,6	1	89,6	2	100,0	1	4,1	7	100,0	1	50,4	3	18,2	7	50,8	1	43,2	1	13,8	4	13,8	2	32,9	8	32,9	8	11,1	1
	3421	Koltuklandırma		21,7	6	21,6	6	22,1	9	1,3	9	12,9	5	22,6	9	8,9	8	16,5	9	13,8	9	12,9	8	12,9	8	32,1	9	30,9	9	10,7	2
	3422	Montaj I		16,8	7	10,9	8	46,7	6	4,5	5	1,5	7	36,5	7	19,3	5	29,2	6	25,6	6	13,6	5	13,5	6	50,0	1	50,0	1	10,2	4
	3423	Montaj II		13,9	8	11,3	7	47,5	5	5,5	3	0,6	8	36,5	6	21,3	2	25,2	7	18,1	8	14,0	1	13,6	4	50,0	1	50,0	1	10,2	4
	3426	Montaj III		36,0	5	23,9	5	65,0	4	8,7	1	11,3	6	42,1	5	20,8	4	35,5	5	29,9	5	13,9	2	13,9	1	50,0	1	50,0	1	10,2	4
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi		69,5	4	60,5	4	34,4	8	7,3	2	57,1	4	63,5	1	39,7	1	41,8	3	33,8	3	13,4	6	13,1	7	50,0	1	50,0	1	10,2	4
	3433	Astar ve Son Kat Boya		89,3	3	88,7	3	90,0	3	5,0	4	100,0	1	46,7	4	21,3	2	39,5	4	33,5	4	13,8	3	13,8	3	50,0	1	50,0	1	10,2	4
Kısmi Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM		65,8	2	65,9	2	81,0	1	3,8	3	70,1	2	43,3	2	14,5	3	42,5	1	35,6	1	13,3	3	13,4	2	39,0	3	39,0	3	10,7	1
	3420	Montaj KM		20,8	3	16,7	3	41,0	3	4,2	2	6,8	3	32,5	3	16,3	2	24,9	3	20,6	3	13,5	2	13,4	3	43,7	2	43,3	2	10,4	2
	3430	Boya KM		79,4	1	74,6	1	62,2	2	6,1	1	78,5	1	55,1	1	30,5	1	40,6	2	33,6	2	13,6	1	13,4	1	50,0	1	50,0	1	10,2	3

“Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” kriteri ile alt faktörleri olan “Gövde Bel Bölgesi - Uygulanan Kuvvet (FK-1212)” ve “Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1213)” kriterleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlyken, aynı durum “Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Süresi (FK-1211)” kriteri için söz konusu olmamaktadır. Regresyon katsayıları incelendiğinde her iki modelde de “Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1213)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Gövde Bel Bölgesi - Uygulanan Kuvvet (FK-1212)” kriterine göre daha yüksek olduğu görölmektedir ki, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1213)” kriterinin “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” kriterinden kaynaklanan yüklenmelerdeki payının daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.77 ve Çizelge 5.78’da göröleceğı üzere “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” kriteri açısından yüklenme değeri incelenendiğinde özellikle grup şefliğı bazında 3412, 3413 ve 3433 birimlerinde çalışanların oldukça yüksek yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları görölmektedir. 3411, 3423, 3422, 3421 ve 3426 grup şefliklerinde ise yüklenme maruziyeti düşük seviyelerde kalmaktadır.

Yine Çizelge 5.77, Çizelge 5.78 ve Şekil 5.31’den de görölebileceğı üzere “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında 3430 kısım müdürlüğünde çalışanların en yüksek yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görölmektedir. 3410 kısım müdürlüğünde de 3430 kısım müdürlüğündeki kadar olmasa da yüksek seviyelerde yüklenme maruziyeti ortalaması söz konusudur. 3420 kısım müdürlüğündeki yüklenme seviyelerinin ise kabul edilebilir seviyelerde olduğu görölmektedir.

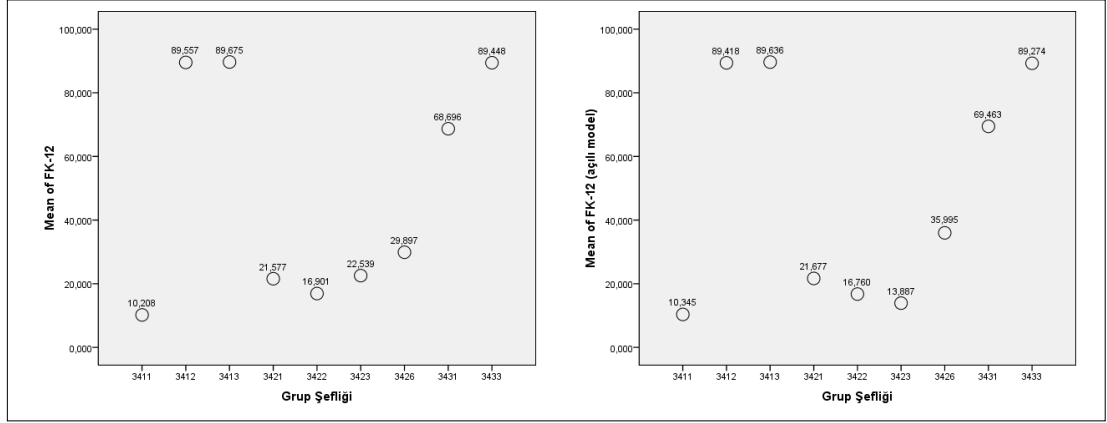


Şekil 5.31 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (FK-12 / Model-1&2).

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet çizelgeler yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

5.2.7.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.32’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.32 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-12).

Çizelge 5.79’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.80’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.79 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-12).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	55545,009	8	6943,126	22,433	0,000
Gruplar içi	12070,783	39	309,507		
Toplam	67615,792	47			

Çizelge 5.80 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-12).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	10,208	0,000	10,208	10,208
3412	7	89,557	0,429	88,704	89,792
3413	7	89,675	0,310	88,972	89,792
3421	7	21,577	30,080	10,208	89,792
3422	6	16,901	4,957	10,208	21,275
3423	4	22,539	1,721	21,048	24,029
3426	3	29,897	31,139	10,208	65,797
3431	4	68,696	39,023	10,208	89,792
3433	4	89,448	0,514	88,704	89,792
Tüm Sınıflar	48	49,599	37,929	10,208	89,792

Model-2 (açı aralıklı) koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.81’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri

ortalamları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.82’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.81 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-12).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	57020,313	8	7127,539	22,841	0,000
Gruplar içi	12169,870	39	312,048		
Toplam	69190,183	47			

Çizelge 5.82 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-12).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	10,345	0,335	10,208	11,028
3412	7	89,418	0,458	88,704	89,792
3413	7	89,636	0,312	88,964	89,792
3421	7	21,677	30,037	10,208	89,792
3422	6	16,760	5,070	10,208	21,275
3423	4	13,887	4,248	10,208	17,566
3426	3	35,995	30,731	10,208	70,000
3431	4	69,463	39,505	10,208	89,539
3433	4	89,274	0,486	88,704	89,792
Tüm Sınıflar	48	49,296	38,368	10,208	89,792

Grup şeffliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.83’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şefflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.83 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-12).

FK-12			
Grup Şeffliği	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Tukey HSD ^a	3411	6	10,20800
	3422	6	16,90083
	3421	7	21,57714
	3423	4	22,53850
	3426	3	29,89700
	3431	4	68,69625
	3433	4	89,44825
	3412	7	89,55743
	3413	7	89,67486
Sig.			,714 ,642

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

FK-12 (açılı model)				
Grup Şeffliği	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	3411	6	10,34467	
	3423	4	13,88700	
	3422	6	16,75983	
	3421	7	21,67671	
	3426	3	35,99500	35,99500
	3431	4		69,46250
	3433	4		89,27425
	3412	7		89,41814
	3413	7		89,63643
Sig.			,385 ,106 ,692	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

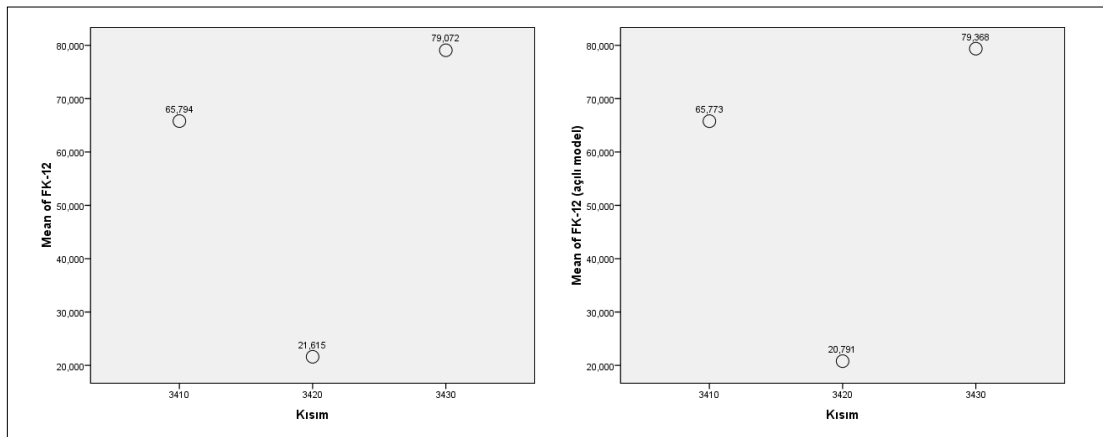
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada birinci modelde iki, ikinci modelde ise üç alt sınıf göze çarpmaktadır. Her iki model de grup şefliği bazında kriter değerleri ortalamasına göre benzer sıralama ve değer aralıkları ortaya koymuştur. İlk modelde 3413, 3412, 3433 ve 3431 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3411, 3422, 3421, 3423 ve 3426 grup şefliği sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. İkinci modele bakıldığında 3413, 3412 ve 3433 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile üçüncü alt sınıfta, 3411, 3423, 3422 ve 3421 grup şeflikleri en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır. 3426 ve 3431 grup şeflikleri ise en az iki alt sınıfa ait olacak şekilde ikinci alt sınıfta konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

5.2.7.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.33’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.33 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-12).

Çizelge 5.84’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven

aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.85’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.84 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-12).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	27857,391	2	13928,695	15,765	0,000
Gruplar içi	39758,402	45	883,520		
Toplam	67615,792	47			

Çizelge 5.85 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-12).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	65,794	37,336	10,208	89,792
3420	20	21,615	20,316	10,208	89,792
3430	8	79,072	27,853	10,208	89,792
Tüm Sınıflar	48	49,599	37,929	10,208	89,792

Model-2 (açı aralıklı) koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim de ilk modele paralel olarak “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.86’da görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.87’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.86 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-12).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	28914,470	2	14457,235	16,153	0,000
Gruplar içi	40275,713	45	895,016		
Toplam	69190,183	47			

Çizelge 5.87 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	65,773	37,231	10,208	89,792
3420	20	20,791	21,116	10,208	89,792
3430	8	79,368	27,948	10,208	89,792
Tüm Sınıflar	48	49,296	38,368	10,208	89,792

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.88’de ise her iki modelin ortaya koyduğu

sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.88 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-12).

FK-12				FK-12 (açılı model)			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2			1	2
Tukey HSD ^a	3420	20	21,61450	Tukey HSD ^a	3420	20	20,79145
„b	3410	20	65,79370	„b	3410	20	65,77250
	3430	8	79,07225		3430	8	79,36838
Sig.		1,000	,487	Sig.		1,000	,475

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, her iki modelde de benzer sıralama ve kriter değer aralıkları olduğu görülecektir. Kriter değerleri ortalamaları açısından her iki modelde de 2 alt sınıf göze çarpmaktadır. Her iki modelde de 3430 ve 3410 kısım müdürlükleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3410 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta yer almaktadır.

5.2.7.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyedeki alt kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.89 ve Çizelge 5.90’da yer alan her iki modele ait analiz tablolarındaki yüksek R^2 (Belirlilik) değerlerinden hareketle ($R^2_{\text{Model-1}}=\%98,8$; $R^2_{\text{Model-2}}=\%98,5$) ana kriterin alt kriterlere yüksek derecede bağlı olduğu görülmektedir. Varyans analizi tablolarındaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tabloları incelendiğinde her iki modelde de “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” ve “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Faktörü (FK-122)”, kriterleri ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p<0,050$), özellikle “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” kriterinin ana kriter üzerinde göreceli olarak daha yüksek etkiye (Model-1 için

$|\beta_{FK-121}|=0,949 > |\beta_{FK-122}|=0,094$; Model-2 için $|\beta_{FK-121}|=0,902 > |\beta_{FK-122}|=0,120$) sahip olduğunun altı çizilmelidir.

Çizelge 5.89 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-12).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası	
	0,988	0,988	4,193	

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	66824,779	2	33412,390	1900,800	0,000
Hata	791,013	45	17,578		
Toplam	67615,792	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-3,399	1,737	-	-1,957	0,057	-
FK-121	0,930	0,018	0,949	52,833	0,000	0,991
FK-122	0,263	0,051	0,094	5,209	0,000	0,512

Çizelge 5.90 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-12).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası	
	0,985	0,984	4,876	

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	68120,138	2	34060,069	1432,373	0,000
Hata	1070,045	45	23,779		
Toplam	69190,183	47			

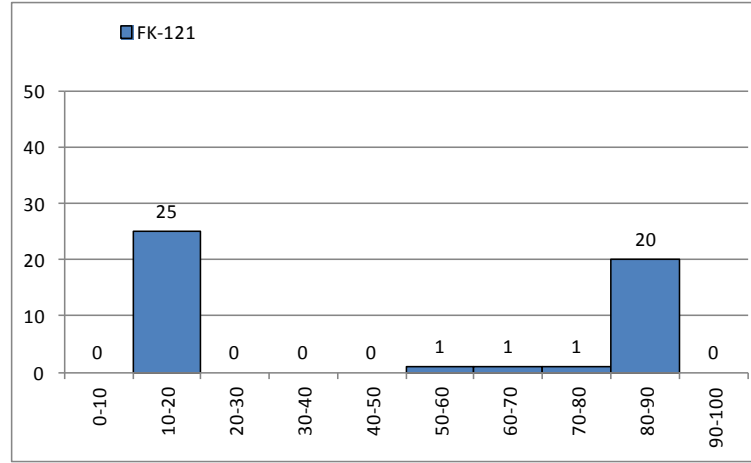
Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-3,438	1,895	-	-1,814	0,076	-
FK-121 (açılı)	0,894	0,027	0,902	33,662	0,000	0,989
FK-122 (açılı)	0,266	0,060	0,120	4,463	0,000	0,771

Analiz sonuçları ışığında her iki model için de en yüksek anlamlılık seviyesine sahip olan “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” ve “Gövde Bel

Bölgesi - Pozisyon Faktörü (FK-122)” kriterlerini daha detaylı incelemenin öncelikli olduğu ortaya çıkmaktadır.

5.2.7.4 Gövde bel bölgesi - kassal çalışma faktörü sonuçlarının analizi

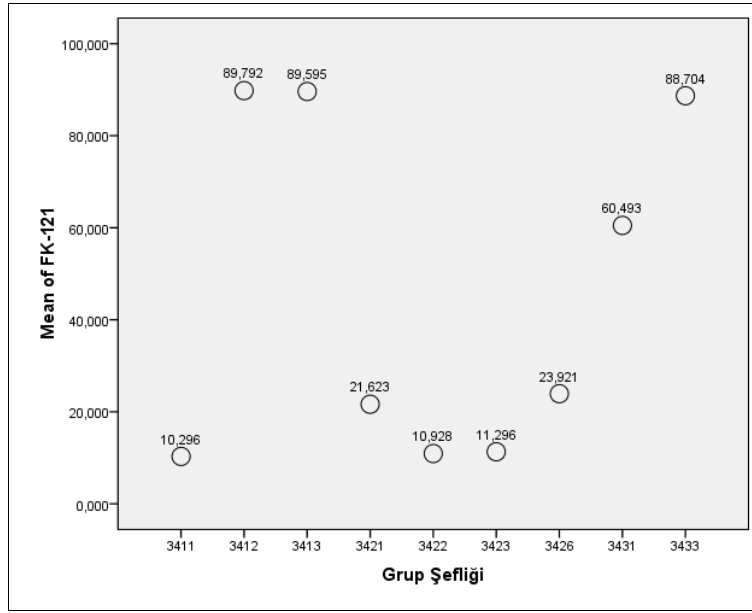
48 iş istasyonu için “FuzzyErgonomics” yazılımı çalıştırıldığında elde edilen “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” değerlerinin Şekil 5.34’de bulunan histogram gösterimlerine bakıldığında, değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve iki grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.34 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-121).

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.35’deki grafikte yer almaktadır. Grafiksel gösterim “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.91’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.92’da gösterilmiştir.



Şekil 5.35 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-121).

Çizelge 5.91 : GŞ bazında varyans analizi (FK-121).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	60297,819	8	7537,227	28,856	0,000
Gruplar içi	10186,840	39	261,201		
Toplam	70484,658	47			

Çizelge 5.92 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-121).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	10,296	0,215	10,208	10,735
3412	7	89,792	0,000	89,792	89,792
3413	7	89,595	0,310	89,044	89,792
3421	7	21,623	29,969	10,208	89,585
3422	6	10,928	0,447	10,208	11,296
3423	4	11,296	0,000	11,296	11,296
3426	3	23,921	23,297	10,208	50,821
3431	4	60,493	35,169	10,208	88,704
3433	4	88,704	0,000	88,704	88,704
Tüm Sınıflar	48	46,836	38,726	10,208	89,792

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.93’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.93 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-121).

FK-121				
Grup Şefliği		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
TukeyHSD ^a „b	3411	6	10,29583	
	3422	6	10,92767	
	3423	4	11,29600	
	3421	7	21,62286	
	3426	3	23,92133	
	3431	4		60,49325
	3433	4		88,70400
	3413	7		89,59514
	3412	7		89,79200
	Sig.		,920	,139

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

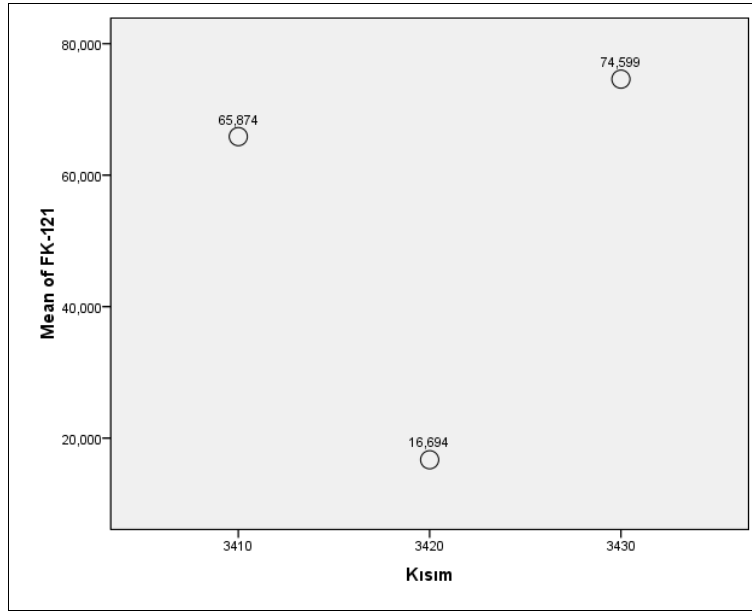
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada iki alt sınıf göze çarpmaktadır. 3412, 3413, 3433 ve 3431 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta yer alırken, 3411, 3422, 3423, 3421 ve 3426 grup şeflikleri en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almaktadırlar.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.36’da yer alan grafiksel gösterimine göre “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor. Çizelge 5.94’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.95’de gösterilmiştir.



Şekil 5.36 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-121).

Çizelge 5.94 : KM bazında varyans analizi (FK-121).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	31586,371	2	15793,186	18,271	0,000
Gruplar içi	38898,287	45	864,406		
Toplam	70484,658	47			

Çizelge 5.95 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-2).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	65,874	37,330	10,208	89,792
3420	20	16,694	19,356	10,208	89,585
3430	8	74,599	27,522	10,208	88,704
Tüm Sınıflar	48	46,836	38,726	10,208	89,792

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.96’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.96 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-121).

FK-121				
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a „b	3420	20	16,69370	
	3410	20		65,87425
	3430	8		74,59863
	Sig.		1,000	,725

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa iki alt sınıf olduğu görülecektir. 3430 ve 3410 kısım müdürlükleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3410 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır.

Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki de yine regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.97’de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %98,4 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Süresi (FK-1211)” hariç diğer iki alt kriter olan “Gövde Bel Bölgesi - Uygulanan Kuvvet (FK-1212)”, “Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1213)” ile “Gövde Bel Bölgesi - Kassal Çalışma Faktörü (FK-121)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olmadığı görülecektir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılar bakıldığında ise ($|\beta_{FK-1213}|=1,006 > |\beta_{FK-1212}|=0,052$) “Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1213)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin göreceli olarak daha büyük olduğu görülmektedir. “Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1213)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki de dikkate alınmalıdır (Pearson korelasyon katsayısı $r=\%99,1$). Dolayısıyla kuvvetli pozitif korelasyon ve ana kriter

üzerindeki görece yüksek etkisi sebebiyle “Gövde Bel Bölgesi - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1213)” diğer alt kriterlere göre önem kazanmaktadır.

Çizelge 5.97 : Regresyon ve korelasyon analizi (FK-121).

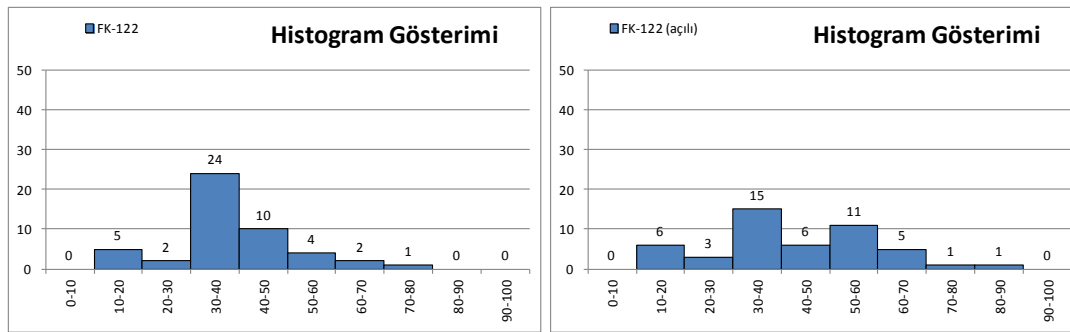
Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,985	0,984	4,838

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	69454,909	3	23151,636	989,243	0,000
Hata	1029,749	44	23,403		
Toplam	70484,658	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	8,591	1,820	-	4,722	0,000	-
FK-1211	-0,030	0,037	-0,026	-0,797	0,430	0,813
FK-1212	0,817	0,298	0,052	2,743	0,009	0,175
FK-1213	0,809	0,026	1,006	31,213	0,000	0,991

5.2.7.5 Gövde bel bölgesi - pozisyon faktörü sonuçlarının analizi

FuzzyErgonomics yazılımı her iki model için de 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Faktörü (FK-122)” kriter değerlerinin Şekil 5.37’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde, her iki modelde de verilerin benzer şekilde dağıldığı ancak ikinci modelde biraz daha üst düzeylerde yüklenme sonuçlarının elde edildiği görülecektir.



Şekil 5.37 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-122).

Her iki modele göre elde edilen sonuçlar iş istasyonu bazında Çizelge 5.98’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, kriter değerleri ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi reddedilir,

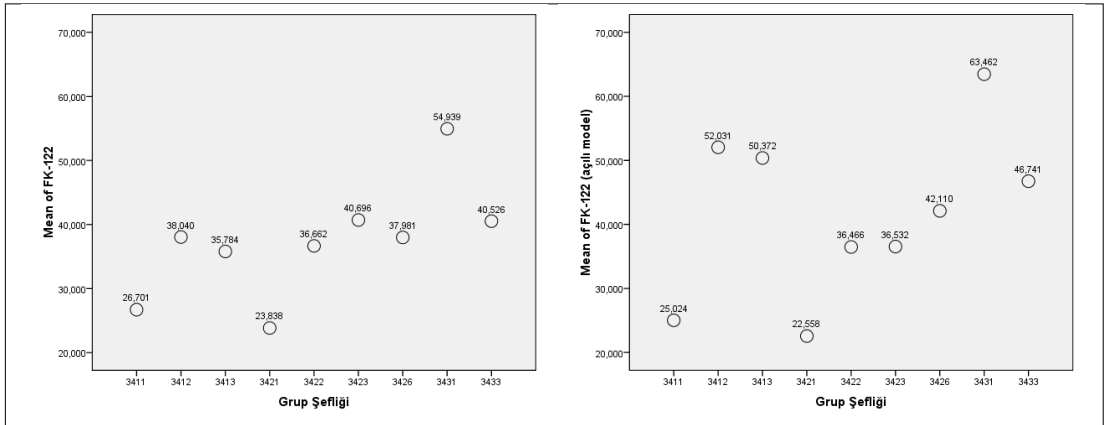
dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında farklılık söz konusudur ($p=0,000<0,050$).

Çizelge 5.98 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-122).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	r	t	df	p değeri
FK-122	35,883	48	13,477	1,945	48	0,870	-3,924	47	0,000
FK-122 (açılı)	40,770	48	17,231	2,487					

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.38’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Faktörü (FK-122)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sırlama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.38 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-122).

Çizelge 5.99’da görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,012<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.100’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.99 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-122).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	3202,184	8	400,273	2,926	0,012
Gruplar içi	5334,801	39	136,790		
Toplam	8536,985	47			

Çizelge 5.100 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-122).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	26,701	8,080	10,208	30,000
3412	7	38,040	8,860	30,000	52,345
3413	7	35,784	7,307	30,000	50,000
3421	7	23,838	21,139	10,499	67,656
3422	6	36,662	4,957	27,213	40,000
3423	4	40,696	0,938	39,883	41,508
3426	3	37,981	4,553	34,444	43,118
3431	4	54,939	19,317	30,000	75,109
3433	4	40,526	9,120	32,345	53,377
Tüm Sınıflar	48	35,883	13,477	10,208	75,109

Model-2 koşuldığında ortaya çıkan grafiksel gösterim “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Faktörü (FK-122)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.101’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.102’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.101 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-122).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	7733,156	8	966,645	6,059	0,000
Gruplar içi	6221,617	39	159,529		
Toplam	13954,773	47			

Çizelge 5.102 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-122).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	25,024	8,031	10,208	30,000
3412	7	52,031	8,744	35,576	61,020
3413	7	50,372	4,411	43,742	58,864
3421	7	22,558	21,185	10,488	67,685
3422	6	36,466	5,290	26,350	40,000
3423	4	36,532	1,927	34,863	38,201
3426	3	42,110	7,114	34,352	48,327
3431	4	63,462	24,735	30,000	89,155
3433	4	46,741	13,453	32,315	60,000
Tüm Sınıflar	48	40,770	17,231	10,208	89,155

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.103’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.103 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-122).

FK-122				FK-122 (açılı model)					
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05		Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2			1	2	3	4
Tukey HSD ^a	3421	7	23,83786	Tukey HSD ^a	3421	7	22,55829		
	3411	6	26,70133		3411	6	25,02367	25,02367	
	3413	7	35,78386		3422	6	36,46567	36,46567	36,46567
	3422	6	36,66217		3423	4	36,53200	36,53200	36,53200
	3426	3	37,98067		3426	3	42,11000	42,11000	42,11000
	3412	7	38,03957		3433	4	46,74050	46,74050	46,74050
	3433	4	40,52550		3413	7		50,37229	50,37229
	3423	4	40,69550		3412	7		52,03114	52,03114
	3431	4	54,93850		3431	4			63,46200
	Sig.		,395		Sig.		,099	,071	,602

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

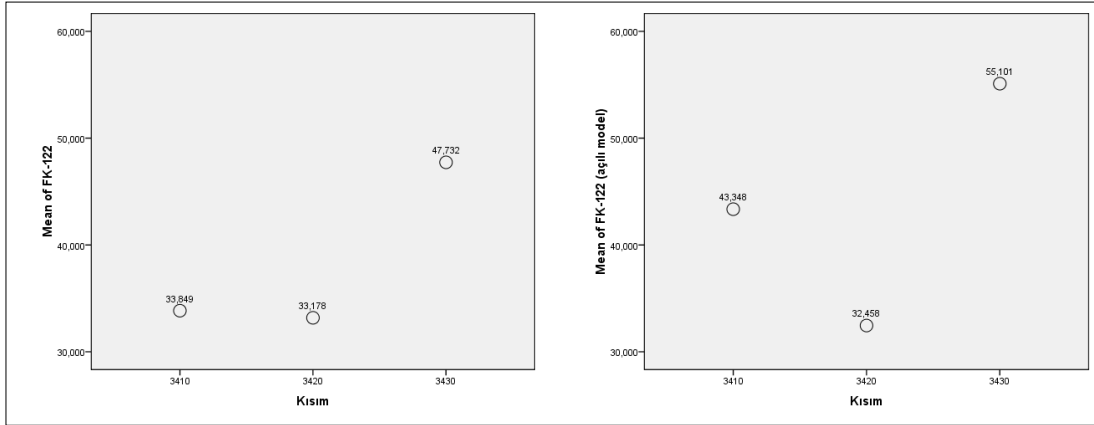
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablolarına göre yapılan sınıflamada ilk modelde 2, ikinci modelde ise 4 alt sınıf göze çarpmaktadır. İlk modelde 3431 grup şefliği en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta, 3421 ve 3411 grup şeflikleri sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. Diğer grup şeflikleri de her iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmışlardır. İkinci modele bakıldığında 3431 grup şefliği en yüksek kriter değerleri ortalaması ile dördüncü alt sınıfta, 3421 grup şefliği ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. Diğer grup şeflikleri en az iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup

şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.39’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Faktörü (FK-122)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.39 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-122).

Çizelge 5.104’da görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,012 < 0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.105’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.104 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-122).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	3202,184	8	400,273	2,926	0,012
Gruplar içi	5334,801	39	136,790		
Toplam	8536,985	47			

Çizelge 5.105 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-122).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	33,849	9,100	10,208	52,345
3420	20	33,178	14,192	10,499	67,656
3430	8	47,732	15,966	30,000	75,109
Tüm Sınıflar	48	35,883	13,477	10,208	75,109

Model-2 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim de ilk modele paralel olarak “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Faktörü (FK-122)” ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.106’da görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,003<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.107’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.106 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-122).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	3157,817	2	1578,909	6,581	0,003
Gruplar içi	10796,956	45	239,932		
Toplam	13954,773	47			

Çizelge 5.107 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-122).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	43,348	14,116	10,208	61,020
3420	20	32,458	14,642	10,488	67,685
3430	8	55,101	20,486	30,000	89,155
Tüm Sınıflar	48	40,770	17,231	10,208	89,155

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.108’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.108 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-122).

FK-122				
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	3420	20	33,17810	
	3410	20	33,84860	
	3430	8		47,73200
Sig.			,990	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

FK-122 (açılı model)				
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	3420	20	32,45800	
	3410	20	43,34830	43,34830
	3430	8		55,10125
Sig.			,176	,134

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, her iki modelde

de benzer sıralama ve kriter değer aralıkları olduğu görülecektir. Kriter değerleri ortalamaları açısından her iki modelde de 2 alt sınıf göze çarpmaktadır. İlk modelde 3430 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3420 ve 3410 kısım müdürlükleri ise sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır. İkinci modelde ise 3430 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta yer alırken, 3420 kısım müdürlüğü en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır. 3410 kısım müdürlüğü ise her iki alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmıştır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Kriteri (FK-122)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki de yine regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.109’de yer alan Model-1 analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %91,2 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İlk modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde tüm alt kriterler ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Kriteri (FK-122)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-1221}|=0,653 > |\beta_{FK-1222}|=0,403 > |\beta_{FK-1223}|=0,146$) ve yine ana kriter ile kuvvetli pozitif ilişkiye (Pearson korelasyon katsayısı $r=\%85,7$) sahip olan kriterin “Gövde Bel Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı (FK-1221)” olduğunun altı özellikle çizilmelidir.

Çizelge 5.109 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-122).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,912	0,906	4,137

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	7784,062	3	2594,687	151,631	0,000
Hata	752,923	44	17,112		
Toplam	8536,985	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-3,075	3,050	-	-1,008	0,319	-
FK-1221	0,599	0,046	0,653	13,127	0,000	0,857
FK-1222	0,642	0,080	0,403	7,987	0,000	0,717
FK-1223	0,193	0,063	0,146	3,066	0,004	0,439

Çizelge 5.110’de yer alan Model-2 analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %96,3 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İkinci modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde tüm alt kriterler ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Kriteri (FK-122)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-1222}|=0,620 > |\beta_{FK-1222}|=0,520 > |\beta_{FK-1223}|=0,092$) ve yine ana kriter ile kuvvetli pozitif ilişkiye (Pearson korelasyon katsayısı $r=\%84,2$) sahip olan kriterin “Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1222)” olduğunun altı özellikle çizilmelidir.

Çizelge 5.110 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-122).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,963	0,961	3,417

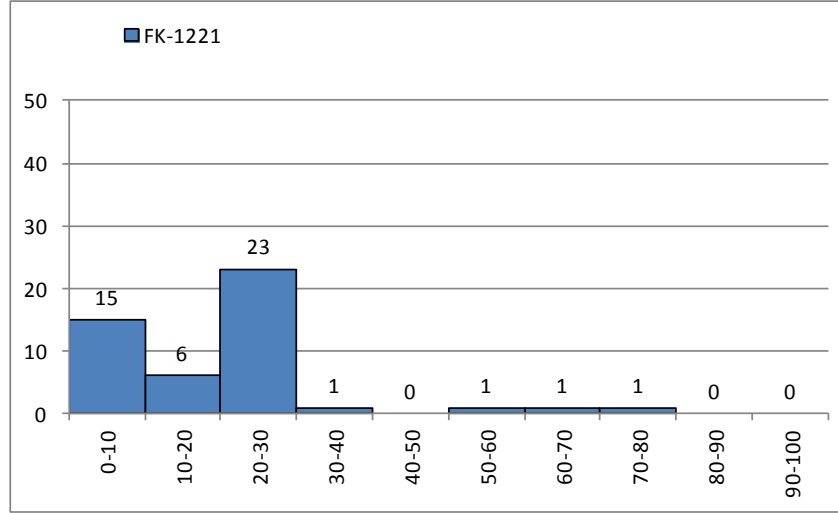
Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	13441,166	3	4480,389	383,829	0,000
Hata	513,607	44	11,673		
Toplam	13954,773	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-3,241	2,630	-	-1,232	0,224	-
FK-1221 (açılı)	0,610	0,040	0,520	15,292	0,000	0,816
FK-1222 (açılı)	0,758	0,040	0,620	18,838	0,000	0,842
FK-1223 (açılı)	0,155	0,052	0,092	3,003	0,004	0,187

Bu verileri ışığında her iki model için de “Gövde Bel Bölgesi - Pozisyon Kriteri (FK-122)” için özellikle bir alt hiyerarşide yer alan “Gövde Bel Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı (FK-1221)” ve “Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu (FK-1222)” kriterlerini daha detaylı analiz etmenin diğer alt faktörlere göre daha öncelikli olduğu ortaya çıkmaktadır.

5.2.7.6 Gövde bel bölgesi - eklem hareket sıklığı faktörü sonuçlarının analizi

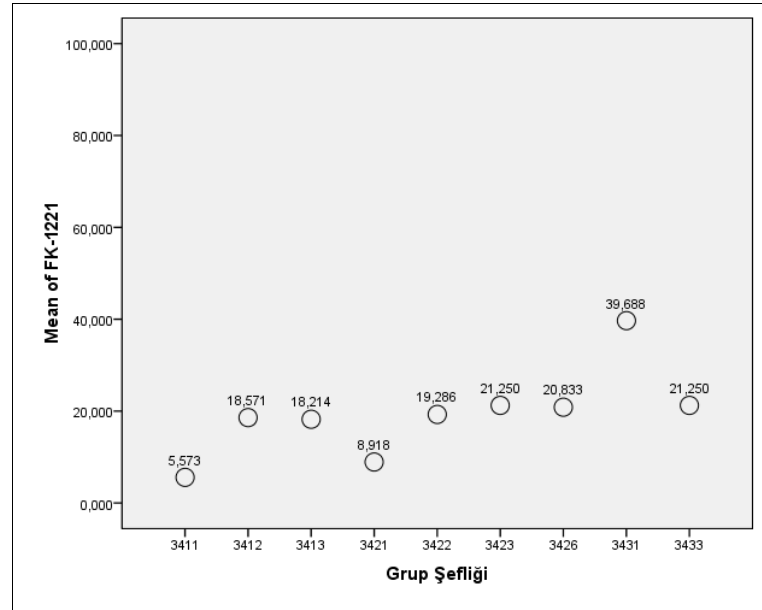
FuzzyErgonomics yazılımı her iki model için de 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Gövde Bel Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı Faktörü (FK-1221)” kriter değerlerinin Şekil 5.40’de bulunan histogram gösterimi incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 7 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.40 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-1221).

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.41'deki grafikte yer almaktadır. Grafiksel gösterim “Gövde Bel Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı Faktörü (FK-1221)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.41 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-1221).

Çizelge 5.111'de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,023 < 0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.112'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.111 : GŞ bazında varyans analizi (FK-1221).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	3506,150	8	438,269	2,582	0,023
Gruplar içi	6619,231	39	169,724		
Toplam	10125,381	47			

Çizelge 5.112 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-1221).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	5,573	2,884	2,222	9,524
3412	7	18,571	3,780	15,000	25,000
3413	7	18,214	7,734	2,500	25,000
3421	7	8,918	22,532	0,000	60,000
3422	6	19,286	9,422	0,714	25,000
3423	4	21,250	1,443	20,000	22,500
3426	3	20,833	3,819	17,500	25,000
3431	4	39,688	29,090	3,750	70,000
3433	4	21,250	4,787	15,000	25,000
Tüm Sınıflar	48	17,924	14,678	0,000	70,000

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.113’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.113 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-1221).

FK-1221			
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
TukeyHSD ^a	3411	5,57283	
	3421	8,91843	
	3413	18,21429	18,21429
	3412	18,57143	18,57143
	3422	19,28567	19,28567
	3426	20,83333	20,83333
	3423	21,25000	21,25000
	3433	21,25000	21,25000
	3431		39,68750
	Sig.	,631	,230

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

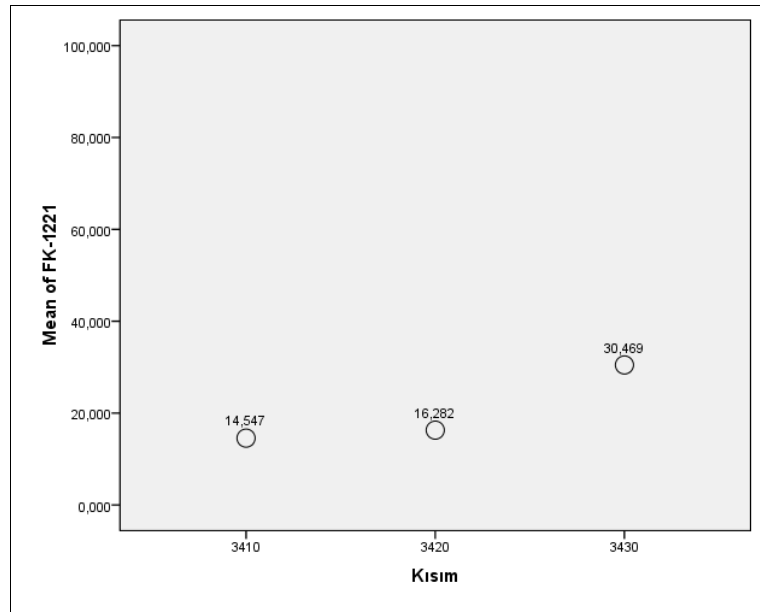
Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada iki alt sınıf göze çarpmaktadır. 3431 grup şefliği en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta yer alırken, 3411 ve 3421 grup şeflikleri sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta konumlanmaktadır. Diğer grup şeflikleri de her iki alt sınıfta yer alacak

şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.42’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Gövde Bel Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı Faktörü (FK-1221)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor.

Şekil 5.42 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-1221).



Çizelge 5.114’da görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,024<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.115’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.114 : KM bazında varyans analizi (FK-1221).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	1540,982	2	770,491	4,039	0,024
Gruplar içi	8584,398	45	190,764		
Toplam	10125,381	47			

Çizelge 5.115 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-1221).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	14,547	7,871	2,222	25,000
3420	20	16,282	14,726	0,000	60,000
3430	8	30,469	21,671	3,750	70,000
Tüm Sınıflar	48	17,924	14,678	0,000	70,000

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.116’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.116 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-1221).

FK-1221				
		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
TukeyHSD ^a „b	3410	20	14,54685	30,46875
	3420	20	16,28215	
	3430	8		
	Sig.		,944	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

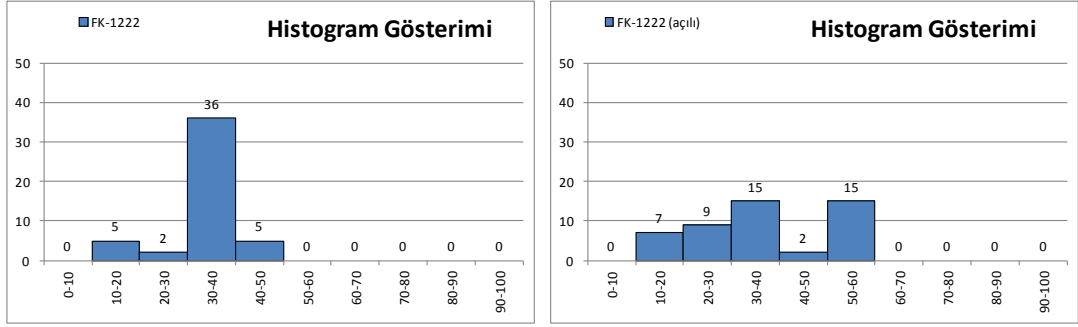
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa iki alt sınıf olduğu görülecektir. 3430 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta yer alırken, 3410 ve 3420 kısım müdürlükleri ise sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almışlardır.

5.2.7.7 Gövde bel bölgesi - duruş pozisyonu faktörü sonuçlarının her iki modele göre karşılaştırmalı incelenmesi

FuzzyErgonomics yazılımı her iki model için de 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Gövde Bel Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı Faktörü (FK-1222)” kriter değerlerinin Şekil 5.43’da bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde özellikle ikinci modelde verilerin daha düzgün dağıldığı ve ilgili kritere göre daha üst yüklenme düzeylerinde sonuçların elde edildiği görülecektir.



Şekil 5.43 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-1222).

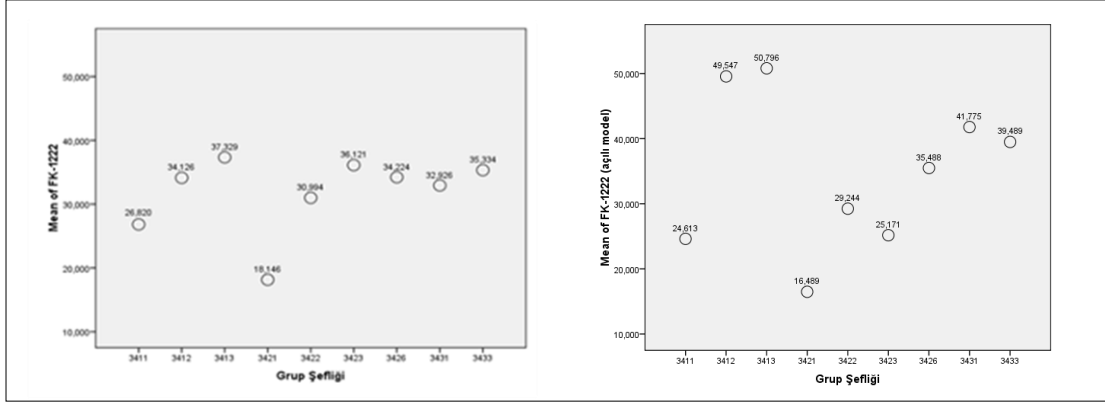
Her iki modele göre elde edilen sonuçlar iş istasyonu bazında Çizelge 5.117’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, kriter değerleri ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi reddedilir, dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında farklılık söz konusudur ($p=0,011<0,050$).

Çizelge 5.117 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-1222).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	r	t	df	p değeri
FK-1222	31,131	48	8,465	1,222	48	0,738	-2,664	47	0,011
FK-1222 (açılı)	34,858	48	14,079	2,032					

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.44’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Gövde Bel Bölgesi - Eklem Hareket Sıklığı Faktörü (FK-1222)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.44 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1222).

Çizelge 5.118’da görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.119’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.118 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1222).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	1835,505	8	229,438	5,839	0,000
Gruplar içi	1532,531	39	39,296		
Toplam	3368,035	47			

Çizelge 5.119 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1222).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	26,820	7,790	10,918	30,000
3412	7	34,126	7,073	30,000	45,506
3413	7	37,329	5,980	30,000	48,538
3421	7	18,146	9,283	10,918	30,000
3422	6	30,994	3,954	23,347	33,276
3423	4	36,121	0,000	36,121	36,121
3426	3	34,224	1,643	33,276	36,121
3431	4	32,926	4,089	30,000	38,672
3433	4	35,334	4,603	33,032	42,238
Tüm Sınıflar	48	31,131	8,465	10,918	48,538

Model-2 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1222)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.120’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için

$p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.121’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.120 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1222).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	7123,049	8	890,381	15,833	0,000
Gruplar içi	2193,253	39	56,237		
Toplam	9316,301	47			

Çizelge 5.121 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1222).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	24,613	8,592	10,208	34,099
3412	7	49,547	6,365	37,472	59,359
3413	7	50,796	5,182	41,984	58,911
3421	7	16,489	8,533	10,208	30,000
3422	6	29,244	3,287	22,769	32,250
3423	4	25,171	1,062	24,251	26,091
3426	3	35,488	4,785	30,000	38,784
3431	4	41,775	9,038	30,000	50,000
3433	4	39,489	14,546	24,251	53,704
Tüm Sınıflar	48	34,858	14,079	10,208	59,359

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.122’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.122 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1222).

FK-1222				FK-1222 (açılı model)					
Grup Şefliği		N	Subset for alpha = 0.05		N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2		1	2	3	4
Tukey HSD ^a ..b	3421	7	18,14557		3421	7	16,48929		
	3411	6	26,81967	26,81967	3411	6	24,61300	24,61300	
	3422	6	30,99383	30,99383	3423	4	25,17100	25,17100	
	3431	4		32,92600	3422	6	29,24417	29,24417	
	3412	7		34,12586	3426	3		35,48800	35,48800
	3426	3		34,22433	3433	4		39,48875	39,48875
	3433	4		35,33350	3431	4		41,77450	41,77450
	3423	4		36,12100	3412	7			49,54729
	3413	7		37,32886	3413	7			50,79643
	Sig.		,061	,212	Sig.		,197	,077	,216

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

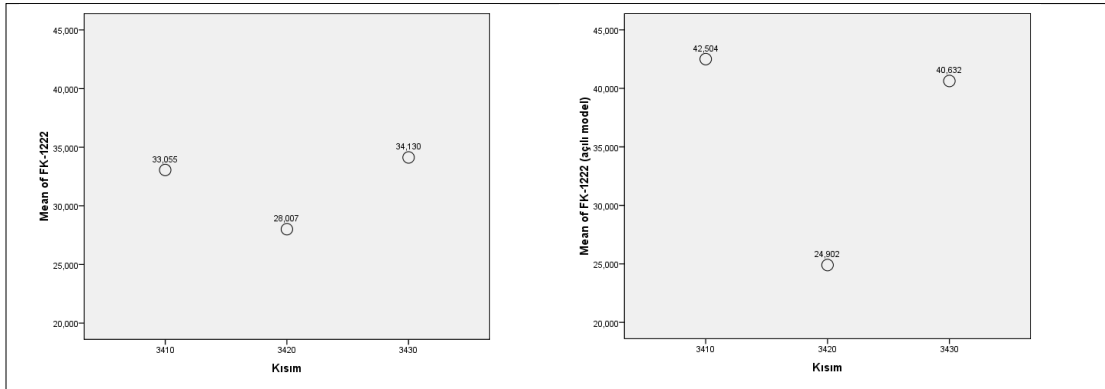
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablolarına göre yapılan sınıflamada ilk modelde 2, ikinci modelde ise 4

alt sınıf göze çarpmaktadır. Her iki model de grup şefliği bazında kriter değerleri ortalamalarına göre farklı sıralama ve değer aralıkları ortaya koymuştur. İlk modelde 3413, 3423, 3433, 3426, 3412 ve 3431 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3421 grup şefliği en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. 3411 ve 3422 grup şeflikleri ise her iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmışlardır. İkinci modele bakıldığında 3413 ve 3412 grup şeflikleri en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile dördüncü alt sınıfta, 3421 grup şefliği ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. Diğer grup şeflikleri en az iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.45’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1222)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olmadığını gösteriyor.



Şekil 5.45 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1222).

Çizelge 5.123’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,090>0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.124’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.123 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1222).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	341,173	2	170,587	2,536	0,090
Gruplar içi	3026,862	45	67,264		
Toplam	3368,035	47			

Çizelge 5.124 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1222).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	33,055	7,905	10,918	48,538
3420	20	28,007	9,499	10,918	36,121
3430	8	34,130	4,231	30,000	42,238
Tüm Sınıflar	48	31,131	8,465	10,918	48,538

Model-2 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim de ilk modele paralel olarak “Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1222)” ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.125’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.126’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.125 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1222).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	3418,444	2	1709,222	13,041	0,000
Gruplar içi	5897,857	45	131,063		
Toplam	9316,301	47			

Çizelge 5.126 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1222).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	42,504	13,616	10,208	59,359
3420	20	24,902	8,841	10,208	38,784
3430	8	40,632	11,278	24,251	53,704
Tüm Sınıflar	48	34,858	14,079	10,208	59,359

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.127’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.127 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1222).

FK-1222				FK-1222 (açılış model)			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1				1	2
TukeyHSD ^a	3420	20	28,00695	TukeyHSD ^a	3420	20	24,90190
„b	3410	20	33,05505	„b	3430	8	40,63163
	3430	8	34,12975		3410	20	42,50420
Sig.			,143	Sig.			1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1				1	2
TukeyHSD ^a	3420	20	28,00695	TukeyHSD ^a	3420	20	24,90190
„b	3410	20	33,05505	„b	3430	8	40,63163
	3430	8	34,12975		3410	20	42,50420
Sig.			,143	Sig.			1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, her iki modelde de farklı sıralama ve kriter değer aralıkları olduğu görülecektir. Kriter değerleri ortalamaları açısından ilk modelde tek, ikinci modelde ise 2 alt sınıf göze çarpmaktadır. İlk modelde 3430 kısım müdürlüğü en yüksek, 3420 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalamasına sahipken, 3420 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır. Ancak 3 kısmın ortalaması da istatistiki olarak birbirlerinden ayırt edici şekilde farklı değildir İkinci modelde 3410 ve 3430 kısım müdürlükler sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır.

Alt kriterler ile ilişkinin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1222)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki de yine regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.128’de yer alan Model-1 analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %63,0 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İlk modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Gövde Bel Bölgesi - Sagital Düzlemde Konumu (FK-12221)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p<0,050$), aynı durumun “Gövde Bel Bölgesi - Frontal Düzlemde Konumu (FK-12222)” ve “Gövde Bel Bölgesi - Medial Rotasyonu (FK-12223)” alt kriterleri için söz konusu olamıyor ($p>0,050$). Standardize edilmiş katsayılar bakıldığında “Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1222)”

kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-12221}|=0,497$) ve yine ana kriter ile en kuvvetli pozitif ilişkiye (Pearson korelasyon katsayısı $r=0,664$) sahip olan kriterin “Gövde Bel Bölgesi - Sagital Düzlemde Konumu (FK-12221)” olduğunun altı özelliikle çizilmelidir.

Çizelge 5.128 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-1222).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,630	0,605	5,321

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	2122,321	3	707,440	24,988	0,000
Hata	1245,715	44	28,312		
Toplam	3368,035	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-12,608	8,966	-	-1,406	0,167	-
FK-12221	1,001	0,198	0,497	5,057	0,000	0,664
FK-12222	-1,191	1,624	-0,370	-0,734	0,467	0,603
FK-12223	2,529	1,559	0,826	1,622	0,112	0,634

Çizelge 5.129’da yer alan Model-2 analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %97,8 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İkinci modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Gövde Bel Bölgesi - Sagital Düzlemde Konumu (FK-12221)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p<0,050$), aynı durumun “Gövde Bel Bölgesi - Frontal Düzlemde Konumu (FK-12222)” ve “Gövde Bel Bölgesi - Medial Rotasyonu (FK-12223)” alt kriterleri için söz konusu olmadığı ortaya çıkmakta ($p>0,050$). Standardize edilmiş katsayılar bakıldığında “Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1222)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-12221}|=0,969$) ve yine ana kriter ile kuvvetli pozitif ilişkiye (Pearson korelasyon katsayısı $r=0,988$) sahip olan kriter

“Gövde Bel Bölgesi - Sagital Düzlemde Konumu (FK-12221)” olarak belirlenmektedir.

Çizelge 5.129 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-1222).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,978	0,976	2,178

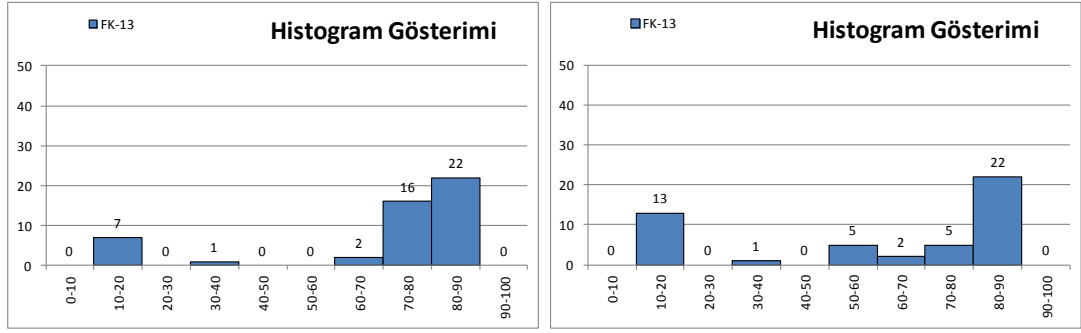
Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	9107,498	3	3035,833	639,726	0,000
Hata	208,803	44	4,746		
Toplam	9316,301	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-5,292	10,540	-	-0,502	0,618	-
FK-12221 (açılı)	1,110	0,033	0,969	34,080	0,000	0,988
FK-12222 (açılı)	-1,410	1,064	-0,050	-1,325	0,192	0,454
FK-12223 (açılı)	2,004	1,206	0,070	1,662	0,104	0,617

Bu verileri ışığında her iki model için de “Gövde Bel Bölgesi - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1222)” kriteri için özellikle bir alt hiyerarşide yer alan “Gövde Bel Bölgesi - Sagital Düzlemde Konumu (FK-12221)” kriterini daha detaylı analiz etmenin diğer alt kriterlere göre daha öncelikli olduğu ortaya çıkmaktadır.

5.2.8 Üst kol omuz - fizyolojik yüklenme faktörü sonuçlarının analizi

FuzzyErgonomics yazılımı her iki model için de 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” kriter değerlerinin Şekil 5.46’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde, her iki modelde de verilerin farklı şekilde dağıldığı görülecektir



Şekil 5.46 : Model-1 ve Model-2 (açılı). verilerinin histogram gösterimi.

Her iki modele göre elde edilen sonuçlar iş istasyonu bazında Çizelge 5.130’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, kriter değerleri ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi kabul edilir, dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında farklılık söz konusudur ($p=0,002<0,050$).

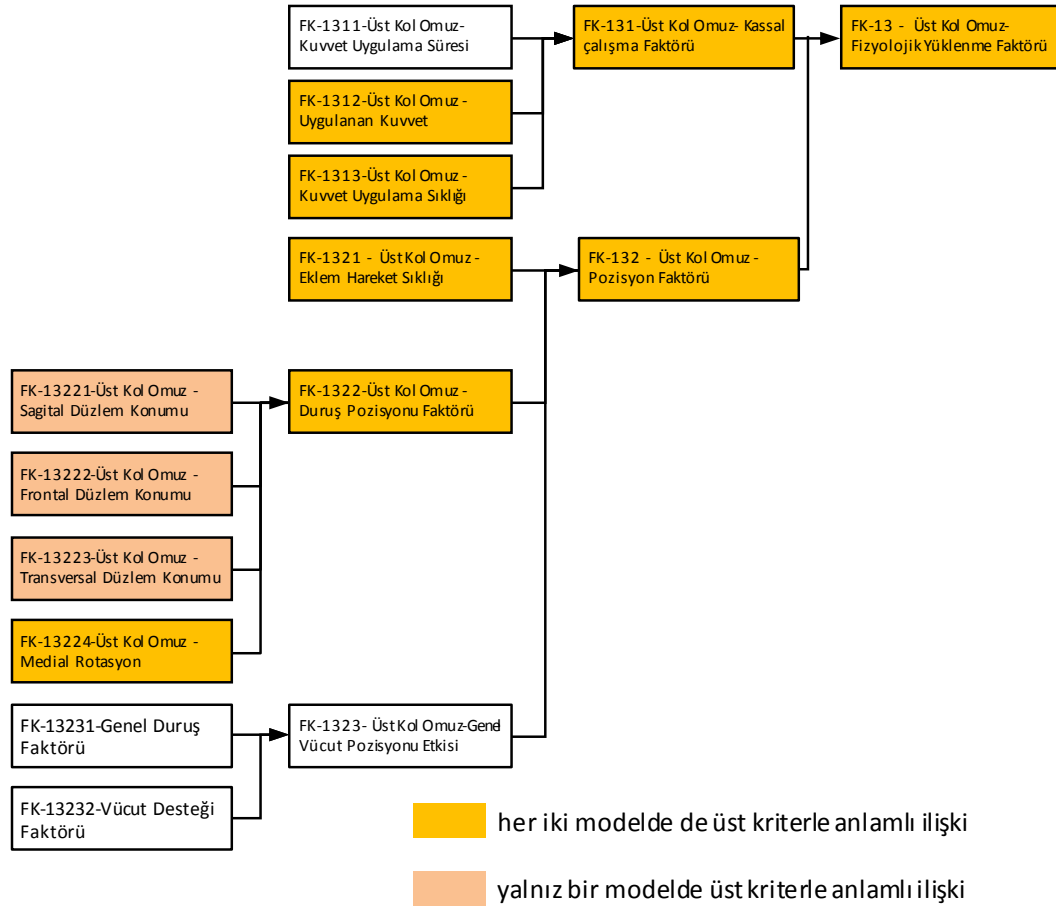
Çizelge 5.130 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-13).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	r	t	df	p değeri
FK-13	69,240	48	27,322	3,944	48	0,812	3,308	47	0,002
FK-13 (açılı)	59,832	48	33,764	4,873					

“Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.131 ve Çizelge 5.132’de gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tablolarda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da anlaşılabilmektedir. Alt ve üst kriterler arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı Şekil 5.47’de gösterilen kriter hiyerarşisinde de ifade edilmeye çalışılmıştır. Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır. Örneğin her iki model için de “Üst Kol Omuz - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1322)” ile alt kriterleri arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde sadece “Üst Kol Omuz - Medial Rotasyon (FK-13224)” alt faktörünün görece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla veri toplama

esnasında omuzun döndürüldüğü iş adımları üzerinde yoğunlaşmak analiz sürecini hızlandıracaktır.

Alt kriterler ile ilişkilerin anlamlılığı kadar, alt kriterlerin bağlı oldukları üst kriterlere ne düzeyde etkilerinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.131 ve Çizelge 5.132’de verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanılması gereken kriterler belirlenebilmektedir.



Şekil 5.47 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (FK-13 / Model-1&2).

Her iki modelde de “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” ile alt faktörleri olan “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” ve “Üst Kol Omuz - Pozisyon Faktörü (FK-132)” kriterleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlıdır. Regresyon katsayıları incelendiğinde her iki modelde de “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Üst Kol Omuz - Pozisyon Faktörü (FK-132)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir.

Dolayısıyla “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” kriterinin omuz bölgesinde meydana gelen yüklenmelerdeki payının daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.131 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-1 / FK-13).

0

50

100

0-100 aralığında yüklenme skalası

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	</

Çizelge 5.132 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (Model-2 / FK-13).

050100

0-100 aralığında yüklenme skalası

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								</

“Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” kriteri ile alt faktörleri olan “Üst Kol Omuz - Uygulanan Kuvvet (FK-1312)” ve “Üst Kol Omuz - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1313)” kriterleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlıyken, aynı durum “Üst Kol Omuz - Kuvvet Uygulama Süresi (FK-1311)” kriteri için söz konusu olmamaktadır. Regresyon katsayıları incelendiğinde her iki modelde de “Üst Kol Omuz - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1313)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Üst Kol Omuz - Uygulanan Kuvvet (FK-1312)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Üst Kol Omuz - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1313)” kriterinin “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” kriterinden kaynaklanan yüklenmelerdeki payının daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.131 ve Çizelge 5.132’de görüleceği üzere “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” kriteri açısından yüklenme değerleri incelendiğinde özellikle grup şefliği bazında her iki modelde de 3412, 3413 ve 3433 birimlerinde çalışanların oldukça yüksek yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3411 grup şefliği ise her iki modelde de yüklenme maruziyeti açısından en düşük seviyede yer almaktadır. Yüklenme değerleri karşılaştırıldığında birinci modelden elde edilen analiz sonuçlarının ikinci modelin elde edilen sonuçlara göre daha yüksek yüklenme seviyeleri ortaya koyduğu görülmektedir, eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları da bunu teyit etmektedir. Dolayısıyla anlık gözlemlere dayanan ilk model sonuçları yanıltıcı olabilir. Örnek vermek gerekirse Çizelge 5.131 ve Çizelge 5.132’de görüleceği üzere 3421 grup şefliği ilk modelde 64,3 puanlık “yüksek / olumsuz” yüklenme değeri ile risk potansiyeli yüksek bir çalışma ortamı olarak yorumlanırken, ikinci modelde 21,6 puanlık “çok düşük / oldukça olumlu” yüklenme değeri ile rahat bir çalışma ortamı olarak tanımlanmaktadır.

Yine Çizelge 5.131, Çizelge 5.132 ve Şekil 5.48’den de görülebileceği üzere “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında 3430 kısım müdürlüğünde çalışanların en yüksek yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. İlk modelde 3410 ve 3420 kısım müdürlüklerinde ise 3430 kısım müdürlüğündeki kadar olmasa da yüksek seviyelerde yüklenme maruziyeti söz

konusudur. İkinci modelde ise 3420 kısım müdürlüğündeki yüklenme seviyelerinin ise kabul edilebilir seviyelerde olduğu görülmektedir.

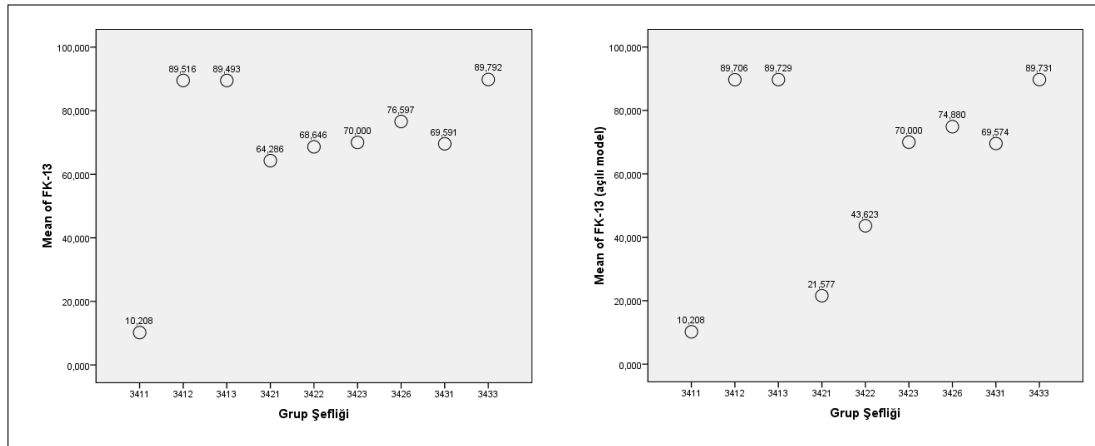


Şekil 5.48 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (FK-13 / Model-1&2).

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet çizelgeler yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

5.2.8.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.49’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.49 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-13).

Çizelge 5.133’da görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.134’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.133 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-13).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	28686,429	8	3585,804	21,858	0,000
Gruplar içi	6397,873	39	164,048		
Toplam	35084,302	47			

Çizelge 5.134 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-13).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	10,208	0,000	10,208	10,208
3412	7	89,516	0,477	88,704	89,792
3413	7	89,493	0,398	88,843	89,792
3421	7	64,286	24,961	10,208	89,792
3422	6	68,646	3,317	61,876	70,000
3423	4	70,000	0,000	70,000	70,000
3426	3	76,597	11,427	70,000	89,792
3431	4	69,591	27,935	30,000	89,792
3433	4	89,792	0,000	89,792	89,792
Tüm Sınıflar	48	69,240	27,322	10,208	89,792

Model-2 (açı aralıklı) koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.135’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında

anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.136’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.135 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-13).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	44148,303	8	5518,538	22,816	0,000
Gruplar içi	9433,057	39	241,873		
Toplam	53581,360	47			

Çizelge 5.136 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-13).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	10,208	0,000	10,208	10,208
3412	7	89,706	0,226	89,193	89,792
3413	7	89,729	0,166	89,354	89,792
3421	7	21,577	30,080	10,208	89,792
3422	6	43,623	16,222	10,516	50,612
3423	4	70,000	0,000	70,000	70,000
3426	3	74,880	13,169	64,848	89,792
3431	4	69,574	27,935	30,000	89,792
3433	4	89,731	0,122	89,548	89,792
Tüm Sınıflar	48	59,832	33,764	10,208	89,792

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.137’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.137 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-13).

FK-13				FK-13 (açılı model)					
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05		Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2			1	2	3	4
Tukey HSD ^a	3411	6	10,20800	Tukey HSD ^a	3411	6	10,20800		
	3421	7	64,28571		3421	7	21,57714	21,57714	
	3422	6	68,64600		3422	6		43,62333	
	3431	4	69,59125		3431	4		69,57425	69,57425
	3423	4	70,00000		3423	4		70,00000	70,00000
	3426	3	76,59733		3426	3		74,88000	74,88000
	3413	7	89,49300		3412	7			89,70643
	3412	7	89,51600		3413	7			89,72943
	3433	4	89,79200		3433	4			89,73100
Sig.			1,000	Sig.			,964	,417	,070

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

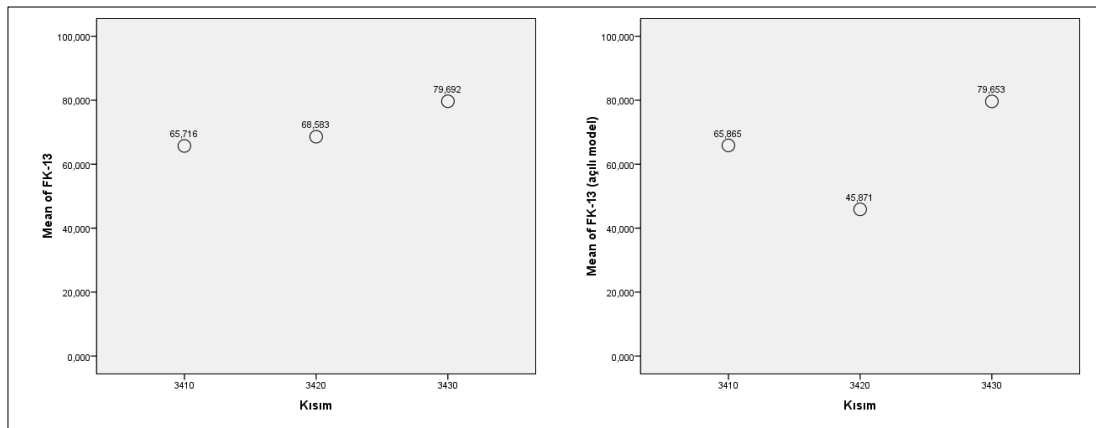
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada birinci modelde iki, ikinci modelde ise dört alt sınıf göze çarpmaktadır. Her iki model de grup şefliği bazında kriter değerleri ortalamasına göre benzer sıralama ve değer aralıkları ortaya koymuştur. İlk modelde 3433, 3412, 3413, 3426, 3423, 3431, 3422 ve 3421 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3411 grup şefliği ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır. İkinci modele bakıldığında 3433, 3413 ve 3412 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile dördüncü alt sınıfta, 3411 grup şefliği ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır. Diğer grup şeflikleri ise en az iki alt sınıfa ait olacak şekilde ikinci ve üçüncü alt sınıflarda konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

5.2.8.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.50’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.50 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-13).

Ancak Çizelge 5.138’de de görüleceği üzere Varyans Analizi kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor

(%95 güven aralığı için $p=0,478>0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.139’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.138 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-13).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	1130,949	2	565,475	0,749	0,478
Gruplar içi	33953,353	45	754,519		
Toplam	35084,302	47			

Çizelge 5.139 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-13).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	65,716	37,284	10,208	89,792
3420	20	68,583	15,191	10,208	89,792
3430	8	79,692	21,238	30,000	89,792
Tüm Sınıflar	48	69,240	27,322	10,208	89,792

Model-2 (açı aralıklı) koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim de ilk modelden daha belirgin şekilde “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.140’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,029<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.141’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.140 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-13).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	7768,978	2	3884,489	3,816	0,029
Gruplar içi	45812,382	45	1018,053		
Toplam	53581,360	47			

Çizelge 5.141 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-13).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	65,865	37,383	10,208	89,792
3420	20	45,871	29,115	10,208	89,792
3430	8	79,653	21,226	30,000	89,792
Tüm Sınıflar	48	59,832	33,764	10,208	89,792

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.142’de ise her iki modelin ortaya koyduğu

sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.142 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-13).

FK-13			FK-13 (açılı model)			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1			1	2
Tukey HSD ^a	3410	20	65,71555	3420	45,87100	
„b	3420	20	68,58340	3410	65,86495	65,86495
	3430	8	79,69163	3430		79,65263
Sig.			,395	Sig.	,249	,510

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, varyans analizinde çıkan sonuca paralel olarak ikinci modelde iki alt sınıf olduğu ve 3430 kısım müdürlüğünün en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğünün ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlandığı görülecektir. 3410 kısım müdürlüğü ise her iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmıştır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir. İlk modelde ise Varyans Analizi sonucu ile de örtüşür nitelikte tek bir alt sınıf mevcuttur. 3430 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalamasına sahipken, 3410 kısım müdürlüğünün en düşük kriter değerleri ortalamasına sahip olduğu görülmektedir. 3420 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır. Her iki modelde de kriter değer aralıklarının ve kriter değerleri ortalamasına göre sıralamanın farklı olduğu görülmektedir.

5.2.8.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Üst Kol Omuz - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-13)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyedeki alt kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.143 ve 0’da yer alan her iki modele ait analiz tablolarındaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere yüksek derecede

($R^2_{\text{Model-1}}=\%82,4$; $R^2_{\text{Model-2}}=\%88,7$) bağılı olduğu görülmektedir. Varyans analizi tablolarındaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tabloları incelendiğinde her iki modelde de “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” ve “Üst Kol Omuz- Pozisyon Faktörü (FK-132)”, kriterleri ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p<0,050$), özellikle “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” kriterinin ana kriter üzerinde göreceli olarak daha yüksek etkiye (Model-1 için $|\beta_{\text{FK-131}}|=0,883>|\beta_{\text{FK-132}}|=0,094$; Model-2 için $|\beta_{\text{FK-131}}|=0,826>|\beta_{\text{FK-132}}|=0,442$) sahip olduğunun altı çizilmelidir.

Çizelge 5.143 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-13).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,824	0,816	11,711

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	28912,597	2	14456,298	105,406	0,000
Hata	6171,705	45	137,149		
Toplam	35084,302	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	3,364	5,299	-	0,635	0,529	-
FK-131	0,623	0,046	0,883	13,433	0,000	0,692
FK-132	0,597	0,064	0,618	9,395	0,000	0,345

Çizelge 5.144 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-13).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,887	0,882	11,613

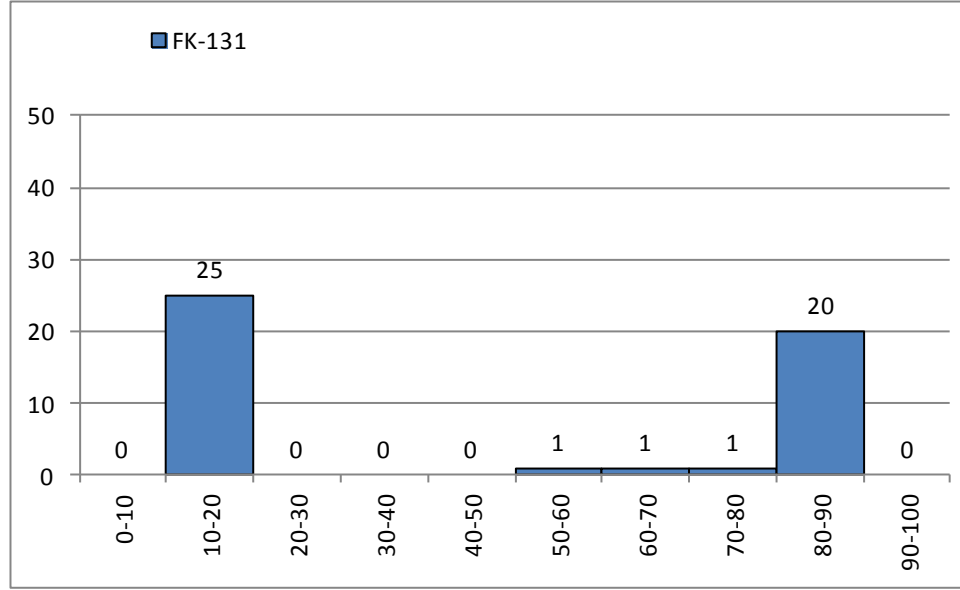
Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	47512,696	2	23756,348	176,157	0,000
Hata	6068,664	45	134,859		
Toplam	53581,360	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
(Constant)	-4,186	4,317	-	-0,970	0,337	-
FK-131 (açılı)	0,720	0,044	0,826	16,456	0,000	0,831
FK-132 (açılı)	0,580	0,066	0,442	8,816	0,000	0,453

Analiz sonuçları ışığında her iki model için de en yüksek anlamlılık seviyesine sahip olan “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” ve “Üst Kol Omuz- Pozisyon Faktörü (FK-132)” kriterlerini daha detaylı incelemenin öncelikli olduğu ortaya çıkmaktadır.

5.2.8.4 Üst kol omuz bölgesi - kassal çalışma faktörü sonuçlarının her iki modele göre karşılaştırmalı incelenmesi

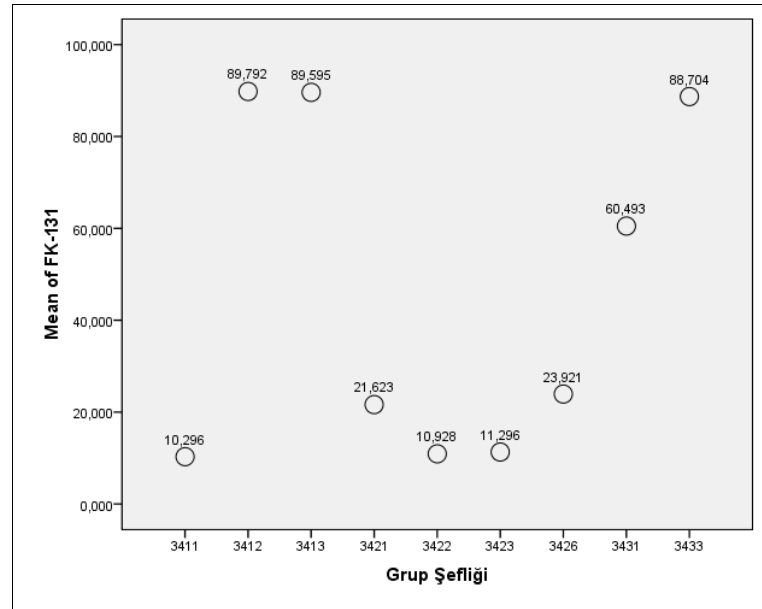
48 iş istasyonu için “FuzzyErgonomics” yazılımı çalıştırıldığında elde edilen “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” değerlerinin Şekil 5.51’de bulunan histogram gösterimlerine bakıldığında, değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve iki ana grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.51 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi.

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.52’deki grafikte yer almaktadır. Grafıksel gösterim “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” kriter değeri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.52 : GŞ ortalamalarının grafıksel gösterimi (FK-131).

Çizelge 5.145’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değeri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven

aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.146’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.145 : GŞ bazında varyans analizi (FK-131).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	60297,819	8	7537,227	28,856	0,000
Gruplar içi	10186,840	39	261,201		
Toplam	70484,658	47			

Çizelge 5.146 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-131).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	10,296	0,215	10,208	10,735
3412	7	89,792	0,000	89,792	89,792
3413	7	89,595	0,310	89,044	89,792
3421	7	21,623	29,969	10,208	89,585
3422	6	10,928	0,447	10,208	11,296
3423	4	11,296	0,000	11,296	11,296
3426	3	23,921	23,297	10,208	50,821
3431	4	60,493	35,169	10,208	88,704
3433	4	88,704	0,000	88,704	88,704
Tüm Sınıflar	48	46,836	38,726	10,208	89,792

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.147’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.147 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-131).

FK-131			
		Subset for alpha = 0.05	
Grup Şefliği	N	1	2
Tukey HSD ^a			
3411	6	10,29583	
3422	6	10,92767	
3423	4	11,29600	
3421	7	21,62286	
3426	3	23,92133	
3431	4		60,49325
3433	4		88,70400
3413	7		89,59514
3412	7		89,79200
Sig.		,920	,139

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

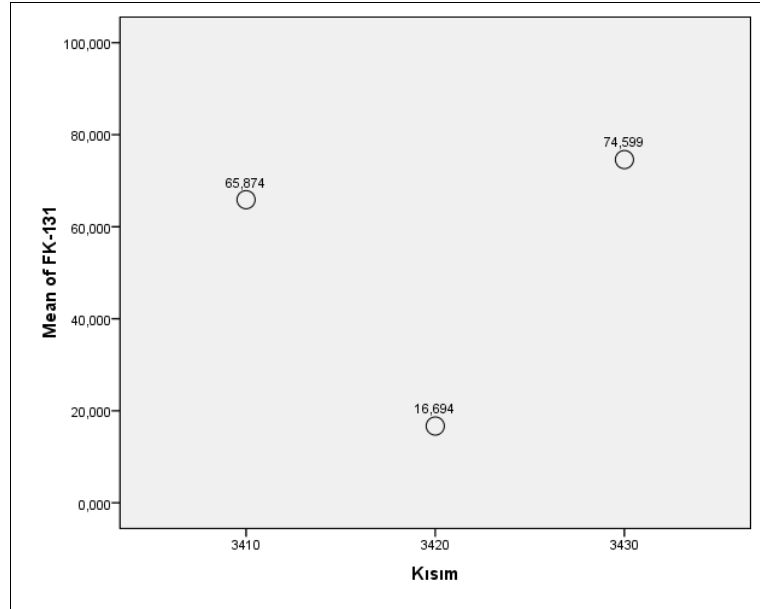
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada iki alt sınıf göze çarpmaktadır. 3412, 3413, 3433 ve 3431 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta yer alırken, 3411, 3422, 3423, 3421 ve 3426 grup şeflikleri en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almaktadırlar.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılmaları

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.53’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor.



Şekil 5.53 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-131).

Çizelge 5.148’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de 0’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.148 : KM bazında varyans analizi (FK-131).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	31586,371	2	15793,186	18,271	0,000
Gruplar içi	38898,287	45	864,406		
Toplam	70484,658	47			

Çizelge 5.149 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-131).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	65,874	37,330	10,208	89,792
3420	20	16,693	19,355	10,208	89,585
3430	8	74,599	27,522	10,208	88,704
Tüm Sınıflar	48	46,836	38,726	10,208	89,792

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.150’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.150 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-131).

FK-131				
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	
TukeyHSD ^a	3420	20	16,69370	
„b	3410	20		65,87425
	3430	8		74,59863
Sig.			1,000	,725

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa iki alt sınıf olduğu görülecektir. 3430 ve 3410 kısım müdürlükleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır.

Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki de yine regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.151’de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %98,5 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Üst

Kol Omuz - Kuvvet Uygulama Süresi (FK-1311)” hariç diğer iki alt kriter olan “Üst Kol Omuz - Uygulanan Kuvvet (FK-1312)”, “Üst Kol Omuz - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1313)” ile “Üst Kol Omuz - Kassal Çalışma Faktörü (FK-131)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olmadığı görülecektir ($p < 0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında ise ($|\beta_{FK-1313}| = 1,006 > |\beta_{FK-1312}| = 0,052$) “Üst Kol Omuz - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1313)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin göreceli olarak daha büyük olduğu görülmektedir. “Üst Kol Omuz - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1313)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki de dikkate alınmalıdır (Pearson korelasyon katsayısı $r = 0,991$). Dolayısıyla kuvvetli pozitif korelasyon ve ana kriter üzerindeki görece yüksek etkisi sebebiyle “Üst Kol Omuz - Kuvvet Uygulama Sıklığı (FK-1313)” diğer alt kriterlere göre önem kazanmaktadır.

Çizelge 5.151 : Regresyon ve korelasyon analizi (FK-131).

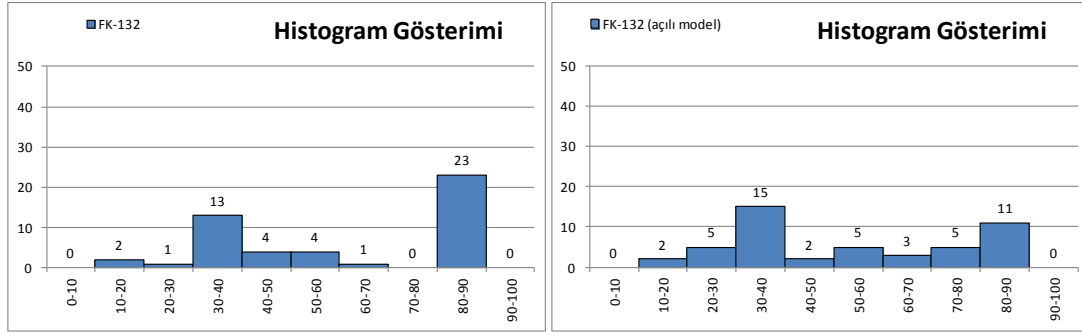
Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,985	0,984	4,838

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	69454,909	3	23151,636	989,243	0,000
Hata	1029,749	44	23,403		
Toplam	70484,658	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	8,591	1,820	-	4,722	0,000	-
FK-1311	-0,030	0,037	-0,026	-0,797	0,430	0,813
FK-1312	0,817	0,298	0,052	2,743	0,009	0,175
FK-1313	0,809	0,026	1,006	31,213	0,000	0,991

5.2.8.5 Üst kol omuz - pozisyon faktörü sonuçlarının analizi

FuzzyErgonomics yazılımı her iki model için de 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Üst Kol Omuz - Pozisyon Faktörü (FK-132)” kriter değerlerinin Şekil 5.54’da bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde, her iki modelde de verilerin farklı şekilde dağıldığı ve ilk modelde biraz daha üst düzeylerde yüklenme sonuçlarının elde edildiği görülecektir.



Şekil 5.54 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-132).

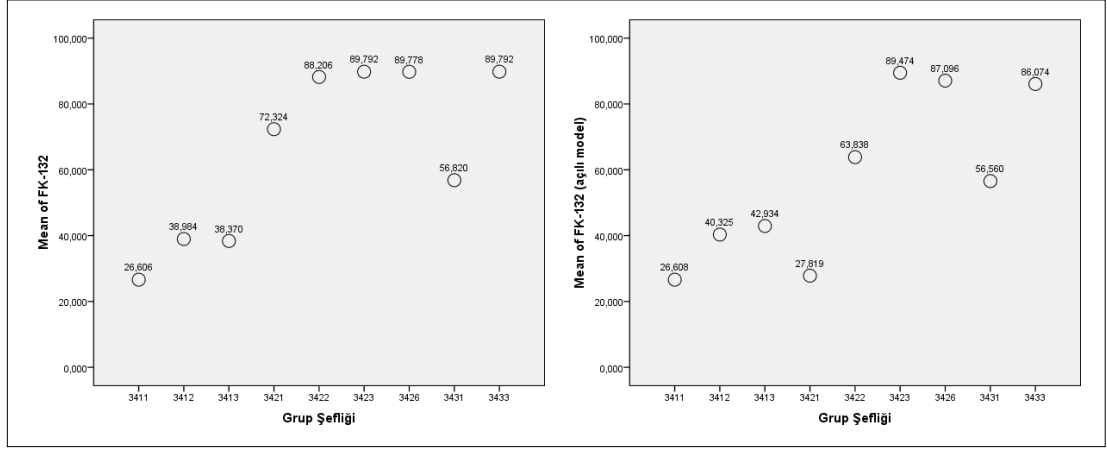
Her iki modele göre elde edilen sonuçlar iş istasyonu bazında Çizelge 5.152’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, kriter değerleri ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi reddedilir, dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında farklılık söz konusudur ($p=0,004<0,050$).

Çizelge 5.152 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-132).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	r	T	df	p değeri
FK-132	61,491	48	28,281	4,082	48	0,702	3,037	47	0,004
FK-132 (açılı)	52,291	48	25,773	3,720					

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.55’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Üst Kol Omuz - Pozisyon Faktörü (FK-132)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sırlama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.55 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-132).

Çizelge 5.153’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.154’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.153 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-132).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	28589,202	8	3573,650	15,483	0,000
Gruplar içi	9001,495	39	230,808		
Toplam	37590,697	47			

Çizelge 5.154 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-132).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	26,606	7,743	10,830	30,000
3412	7	38,984	13,313	30,000	67,212
3413	7	38,370	7,970	30,000	52,556
3421	7	72,324	30,664	11,113	89,792
3422	6	88,206	3,514	81,054	89,769
3423	4	89,792	0,000	89,792	89,792
3426	3	89,778	0,024	89,751	89,792
3431	4	56,820	22,759	37,489	89,792
3433	4	89,792	0,000	89,792	89,792
Tüm Sınıflar	48	61,491	28,281	10,830	89,792

Model-2 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Üst Kol Omuz - Pozisyon Faktörü (FK-132)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.155’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir

farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.156’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.155 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-132).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	24367,257	8	3045,907	17,337	0,000
Gruplar içi	6851,817	39	175,688		
Toplam	31219,073	47			

Çizelge 5.156 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-132).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	26,608	7,744	10,830	30,000
3412	7	40,325	14,404	26,223	62,170
3413	7	42,934	14,803	26,481	68,090
3421	7	27,819	7,379	11,113	30,905
3422	6	63,838	20,069	23,518	75,249
3423	4	89,474	0,368	89,155	89,792
3426	3	87,096	3,915	82,577	89,450
3431	4	56,560	22,284	37,453	88,787
3433	4	86,074	6,606	76,180	89,792
Tüm Sınıflar	48	52,291	25,773	10,830	89,792

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.157’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.157 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-132).

FK-132					FK-132 (açılı model)				
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05			Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3			1	2	3
Tukey HSD ^a					Tukey HSD ^a				
3411	6	26,60550			3411	6	26,60833		
3413	7	38,36971			3421	7	27,81900		
3412	7	38,98386			3412	7	40,32543	40,32543	
3431	4	56,82025	56,82025		3413	7	42,93429	42,93429	
3421	7		72,32414	72,32414	3431	4		56,56000	
3422	6		88,20617	88,20617	3422	6		63,83800	63,83800
3426	3			89,77833	3433	4			86,07400
3423	4			89,79200	3426	3			87,09633
3433	4			89,79200	3423	4			89,47350
Sig.		,076	,057	,685	Sig.		,602	,157	,092

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

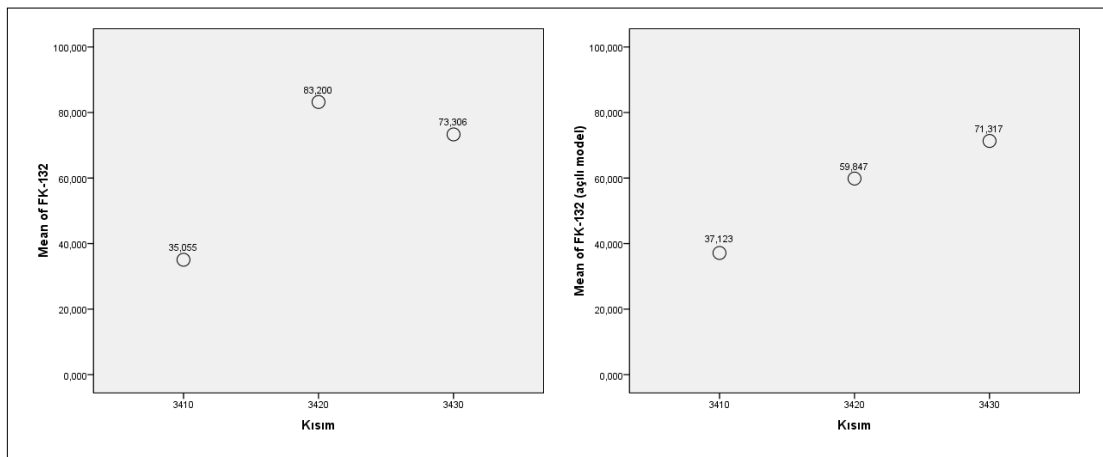
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada her iki modelde de 3 alt sınıf göze çarpmaktadır. İlk modelde 3433, 3423 ve 3426 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile üçüncü alt sınıfta, 3411, 3413 ve 3412 grup şeflikleri sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. Diğer grup şeflikleri de her iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada, ikinci alt sınıfta konumlanmışlardır. İkinci modele bakıldığında 3423, 3426 ve 3433 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile üçüncü alt sınıfta, 3423, 3426 ve 3433 grup şeflikleri ise sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. Diğer grup şeflikleri ise en az bir alt sınıfa ait olacak şekilde arada, ikinci alt sınıfta konumlanmışlardır. Sadece 3431 grup şefliği tek başına, başka bir alt sınıfa ait olmadan ikinci alt sınıfta yer almaktadır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.56’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Üst Kol Omuz - Pozisyon Faktörü (FK-132)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.56 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-132).

Çizelge 5.158’da görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor

(%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.159’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.158 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-132).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	24519,601	2	12259,800	42,207	0,000
Gruplar içi	13071,096	45	290,469		
Toplam	37590,697	47			

Çizelge 5.159 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-132).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	35,055	11,140	10,830	67,212
3420	20	83,200	19,174	11,113	89,792
3430	8	73,306	23,078	37,489	89,792
Tüm Sınıflar	48	61,491	28,281	10,830	89,792

Model-2 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim de ilk modele paralel olarak “Üst Kol Omuz - Pozisyon Faktörü (FK-132)” ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.160’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,001<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.161’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.160 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-132).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	8638,954	2	4319,477	8,608	0,001
Gruplar içi	22580,119	45	501,780		
Toplam	31219,073	47			

Çizelge 5.161 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-122).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	37,123	14,200	10,830	68,090
3420	20	59,847	28,457	11,113	89,792
3430	8	71,317	21,918	37,453	89,792
Tüm Sınıflar	48	52,291	25,773	10,830	89,792

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.162’de ise her iki modelin ortaya koyduğu

sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.162 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-132).

FK-132				FK-132 (açılı model)			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2			1	2
Tukey HSD ^a	3410	20	35,05540	Tukey HSD ^a	3410	20	37,12340
„b	3430	8	73,30613	„b	3420	20	59,84720
	3420	20	83,20045		3430	8	71,31700
Sig.			1,000	Sig.			1,000
			,301				,391

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, her iki modelde de benzer sıralama ve kriter değer aralıkları olduğu görülecektir. Kriter değerleri ortalamaları açısından her iki modelde de 2 alt sınıf göze çarpmaktadır. İlk modelde 3420 ve 3430 kısım müdürlükler sırayla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3410 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır. İkinci modelde ise 3430 ve 3420 kısım müdürlükleri sırayla en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta yer alırken, 3410 kısım müdürlüğü en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmıştır.

Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Üst Kol Omuz- Pozisyon Kriteri (FK-132)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki de yine regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.163’da yer alan Model-1 analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %96,2 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İlk modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde, sabit değer alması, yani ana kriter ile aralarında ilişki olmaması dolayısıyla analiz dışı kalan “Üst Kol Omuz - Genel Vücut Pozisyonu Etkisi (FK-1323)” dışında tüm alt kriterler ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0,050$). Standardize edilmiş

katsayılara bakıldığında “Üst Kol Omuz- Pozisyon Kriteri (FK-132)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ve yine ana kriter ile kuvvetli pozitif ilişkiye ($|\beta_{FK-1322}|=0,900>|\beta_{FK-1321}|=0,249$; Pearson korelasyon katsayısı $r=0,95,0$) sahip olan kriterin “Üst Kol Omuz - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1322)” olduğunun altı özellikle çizilmelidir.

Çizelge 5.163 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-132).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,962	0,961	5,617

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	36171,132	2	18085,566	573,310	0,000
Hata	1419,565	45	31,546		
Toplam	37590,697	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-5,440	2,966	-	-1,834	0,073	-
FK-1321	0,675	0,080	0,249	8,432	0,000	0,429
FK-1322	0,801	0,026	0,900	30,457	0,000	0,950

Çizelge 5.164’da yer alan Model-2 analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %94,3 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İkinci modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde, ilk modele benzer şekilde, sabit değer alması, yani ana kriter ile aralarında ilişki olmaması dolayısıyla analiz dışı kalan “Üst Kol Omuz - Genel Vücut Pozisyonu Etkisi (FK-1323)” dışında tüm alt kriterler ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında “Üst Kol Omuz- Pozisyon Kriteri (FK-132)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ve yine ana kriter ile kuvvetli pozitif ilişkiye ($|\beta_{FK-1322}|=0,865>|\beta_{FK-1321}|=0,296$; Pearson korelasyon katsayısı $r=0,92,7$) sahip olan kriterin “Üst Kol Omuz - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1322)” olduğunun altı özellikle çizilmelidir.

Çizelge 5.164 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-132).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,943	0,940	6,303

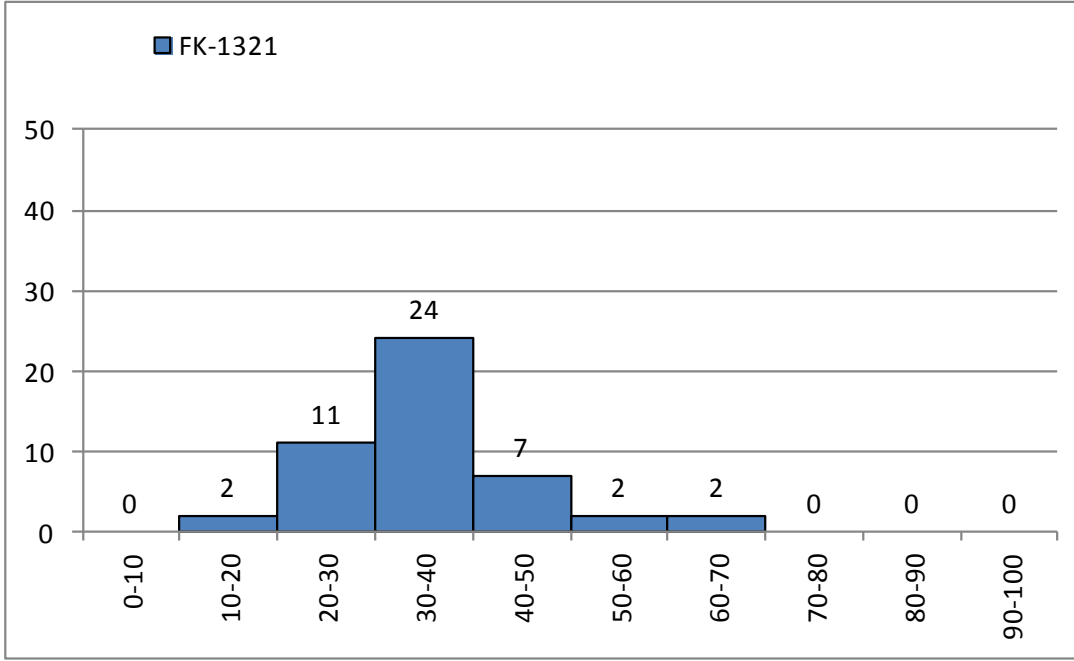
Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	29431,341	2	14715,670	370,416	0,000
Hata	1787,733	45	39,727		
Toplam	31219,073	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-8,012	3,284	-	-2,440	0,019	-
FK-1321 (açılı)	0,730	0,090	0,296	8,107	0,000	0,478
FK-1322 (açılı)	0,883	0,037	0,865	23,699	0,000	0,927

Bu verileri ışığında her iki model için de “Üst Kol Omuz- Pozisyon Kriteri (FK-132)” için özellikle bir alt hiyerarşide yer alan “Üst Kol Omuz - Eklem Hareket Sıklığı (FK-1321)” ve “Üst Kol Omuz - Duruş Pozisyonu (FK-1322)” kriterlerini daha detaylı analiz etmenin diğer alt faktörlere göre daha öncelikli olduğu ortaya çıkmaktadır.

5.2.8.6 Üst kol omuz - eklem hareket sıklığı faktörü sonuçlarının analizi

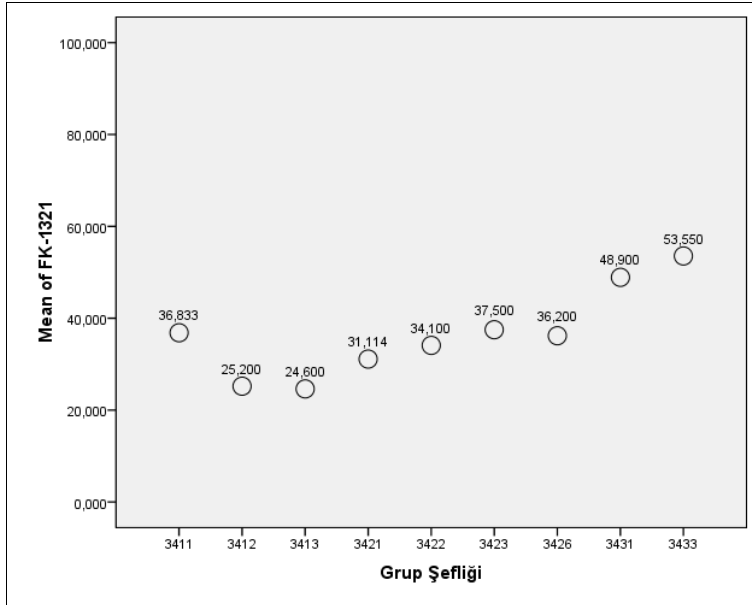
FuzzyErgonomics yazılımı her iki model için de 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Üst Kol Omuz - Eklem Hareket Sıklığı Faktörü (FK-1321)” kriter değerlerinin Şekil 5.57’de bulunan histogram gösterimi incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 6 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.57 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-1321).

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.58’deki grafikte yer almaktadır. Grafiksel gösterim “Üst Kol Omuz - Eklem Hareket Sıklığı Faktörü (FK-1321)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.58 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-1321).

Çizelge 5.165’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven

aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.166’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.165 : GŞ bazında varyans analizi (FK-1321).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	3730,662	8	466,333	13,052	0,000
Gruplar içi	1393,444	39	35,729		
Toplam	5124,107	47			

Çizelge 5.166 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-1321).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	36,833	8,172	22,069	44,211
3412	7	25,200	3,919	22,200	31,200
3413	7	24,600	6,138	16,800	34,200
3421	7	31,114	6,354	19,200	39,000
3422	6	34,100	3,628	28,200	37,200
3423	4	37,500	0,346	37,200	37,800
3426	3	36,200	1,249	34,800	37,200
3431	4	48,900	7,877	42,000	60,000
3433	4	53,550	9,012	40,200	60,000
Tüm Sınıflar	48	34,592	10,441	16,800	60,000

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.167’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.167 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-1321).

FK-1321					
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
TukeyHSD ^a	3413	7	24,60000		
„b	3412	7	25,20000	25,20000	
	3421	7	31,11429	31,11429	
	3422	6	34,10000	34,10000	
	3426	3	36,20000	36,20000	
	3411	6	36,83250	36,83250	36,83250
	3423	4		37,50000	37,50000
	3431	4		48,90000	48,90000
	3433	4			53,55000
	Sig.		,061	,059	,068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

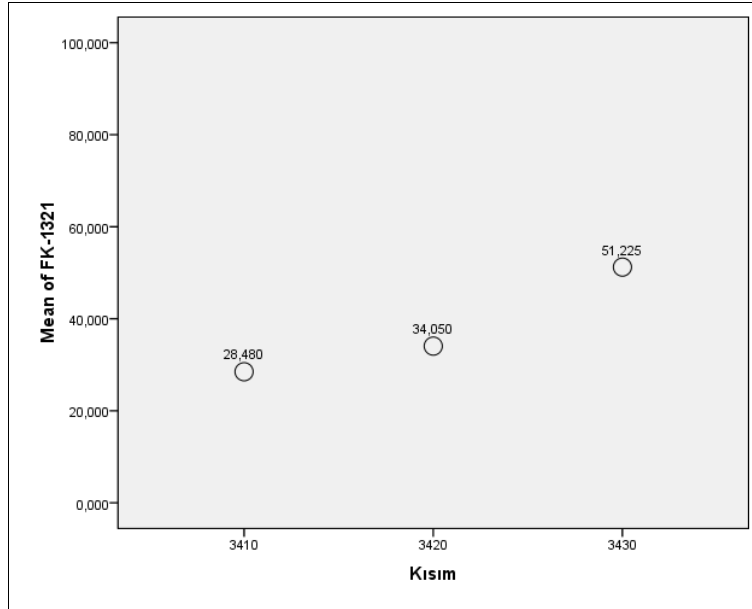
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada dört alt sınıf göze çarpmaktadır. 3433 grup şefliği en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta yer

alırken, 3413 grup şefliği en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmaktadır. Diğer grup şeflikleri de en az iki alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.59’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Üst Kol Omuz - Eklem Hareket Sıklığı Faktörü (FK-1321)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor.



Şekil 5.59 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (FK-1321).

Çizelge 5.168’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.169’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.168 : KM bazında varyans analizi (FK-1321).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	2966,321	2	1483,160	30,931	0,000
Gruplar içi	2157,786	45	47,951		
Toplam	5124,107	47			

Çizelge 5.169 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (FK-1321).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	28,480	8,116	16,800	44,211
3420	20	34,050	4,776	19,200	39,000
3430	8	51,225	8,220	40,200	60,000
Tüm Sınıflar	48	34,592	10,441	16,800	60,000

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.170’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.170 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (FK-1321).

FK-1321				
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a „b	3410	20	28,47975	
	3420	20	34,05000	
	3430	8		51,22500
	Sig.		,106	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

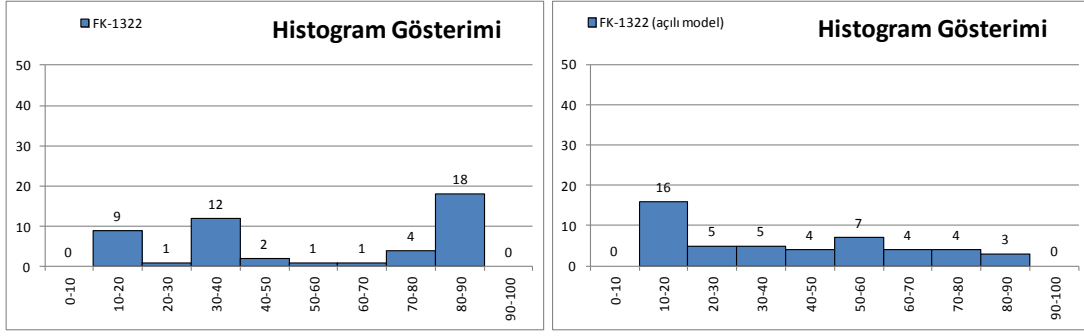
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa iki alt sınıf olduğu görülecektir. 3430 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta yer alırken, 3410 ve 3420 kısım müdürlükleri ise sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almışlardır.

5.2.8.7 Üst kol omuz bölgesi- duruş pozisyonu faktörü sonuçlarının her iki modele göre karşılaştırmalı incelenmesi

FuzzyErgonomics yazılımı her iki model için de 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Üst Kol Omuz - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1322)” kriter değerlerinin Şekil 5.60’da bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde özellikle ikinci modelde verilerin daha düzgün dağıldığı ve ilgili kritere göre daha düşük yüklenme düzeylerinde sonuçların elde edildiği görülecektir.



Şekil 5.60 : Model-1&2 için kriter değerlerinin histogram gösterimi (FK-1322).

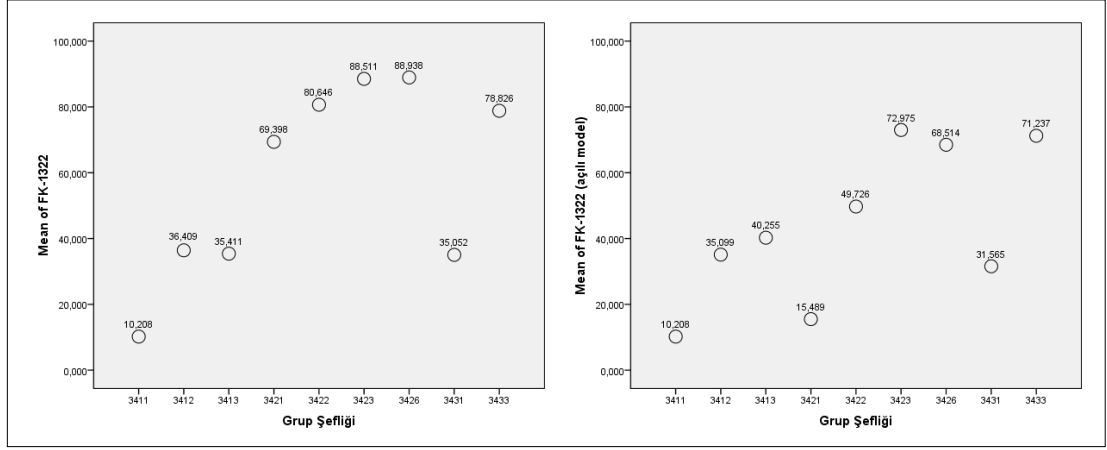
Her iki modele göre elde edilen sonuçlar iş istasyonu bazında Çizelge 5.171’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, kriter değerleri ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi reddedilir, dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında farklılık söz konusudur ($p=0,000<0,050$).

Çizelge 5.171 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK-1322).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	r	t	df	p değeri
FK-1322	54,375	48	31,772	4,586	48	0,617	3,975	47	0,000
FK-1322 (açılı)	39,670	48	25,226	3,641					

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.61’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Üst Kol Omuz - Eklem Hareket Sıklığı Faktörü (FK-1322)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sırlama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.61 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1322).

Çizelge 5.172’da görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.173’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.172 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1322).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	34331,866	8	4291,483	12,763	0,000
Gruplar içi	13113,515	39	336,244		
Toplam	47445,381	47			

Çizelge 5.173 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1322).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	10,208	0,000	10,208	10,208
3412	7	36,409	10,292	30,000	57,807
3413	7	35,411	4,011	30,000	40,000
3421	7	69,398	35,150	10,208	89,792
3422	6	80,646	6,492	74,530	89,373
3423	4	88,511	1,479	87,230	89,792
3426	3	88,938	1,479	87,230	89,792
3431	4	35,052	37,667	10,208	89,792
3433	4	78,826	12,782	65,721	89,792
Tüm Sınıflar	48	54,375	31,772	10,208	89,792

Model-2 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Üst Kol Omuz - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1322)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.174’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında

anamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.175’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.174 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1322).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	21237,930	8	2654,741	11,941	0,000
Gruplar içi	8670,902	39	222,331		
Toplam	29908,833	47			

Çizelge 5.175 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1322).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	10,208	0,000	10,208	10,208
3412	7	35,099	10,246	22,769	47,344
3413	7	40,255	12,903	23,218	58,385
3421	7	15,489	4,527	10,208	19,099
3422	6	49,726	19,410	10,208	59,644
3423	4	72,975	5,807	67,946	78,004
3426	3	68,514	7,494	61,873	76,639
3431	4	31,565	33,318	10,208	80,360
3433	4	71,237	22,299	38,641	88,768
Tüm Sınıflar	48	39,670	25,226	10,208	88,768

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.176’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.176 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / FK-1322).

FK-1322					FK-1322 (açılı model)				
Grup Şefliği		Subset for alpha = 0.05			Grup Şefliği		Subset for alpha = 0.05		
	N	1	2	3		N	1	2	3
Tukey HSD ^a	3411	6	10,20800		Tukey HSD ^a	3411	6	10,20800	
	3431	4	35,05200	35,05200		3421	7	15,48900	
	3413	7	35,41100	35,41100		3431	4	31,56450	31,56450
	3412	7	36,40914	36,40914		3412	7	35,09929	35,09929
	3421	7		69,39786		3413	7	40,25471	40,25471
	3433	4		78,82625		3422	6	49,72600	49,72600
	3422	6		80,64617		3426	3		68,51400
	3423	4		88,51100		3433	4		71,23675
	3426	3		88,93800		3423	4		72,97500
Sig.			,407	,114	,764	Sig.		,069	,616

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

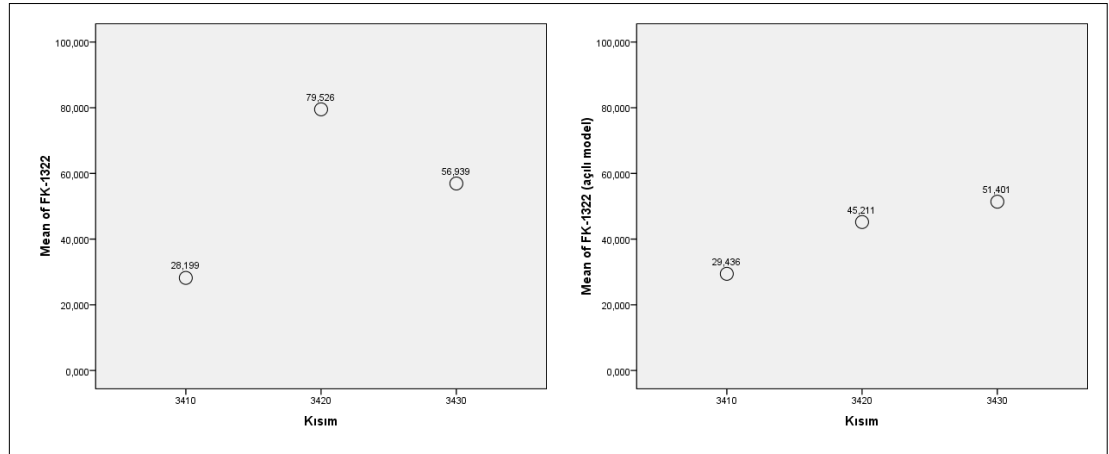
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablolarına göre yapılan sınıflamada ilk modelde 3, ikinci modelde ise 4

alt sınıf göze çarpmaktadır. Her iki model de grup şefliği bazında kriter değerleri ortalamalarına göre farklı sıralama ve değer aralıkları ortaya koymuştur. İlk modelde 3426, 3423, 3422 ve 3433 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile üçüncü alt sınıfta, 3411 grup şefliği en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. Diğer grup şeflikleri ise en az iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada, ikinci alt sınıfta konumlanmışlardır. İkinci modele bakıldığında 3423 grup şefliği en yüksek kriter değerleri ortalaması ile dördüncü alt sınıfta, 3411 ve 3421 grup şeflikleri ise en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta konumlanmışlardır. Diğer grup şeflikleri en az iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının her iki modele göre karşılaştırılması Şekil 5.62’de görülmektedir. Model-1 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim “Üst Kol Omuz - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1322)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.62 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / FK-1322).

Çizelge 5.177’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.178’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.177 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / FK-1322).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	26407,242	2	13203,621	28,242	0,000
Gruplar içi	21038,139	45	467,514		
Toplam	47445,381	47			

Çizelge 5.178 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / FK-1322).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	28,199	13,592	10,208	57,807
3420	20	79,526	21,703	10,208	89,792
3430	8	56,939	35,008	10,208	89,792
Tüm Sınıflar	48	54,375	31,772	10,208	89,792

Model-2 koşulduğunda ortaya çıkan grafiksel gösterim de ilk modele paralel olarak “Üst Kol Omuz - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1322)” ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında az da olsa ayırt edici bir fark olduğunu gösteriyor. Çizelge 5.179’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,047<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.180’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.179 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / FK-1322).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	3809,498	2	1904,749	3,284	0,047
Gruplar içi	26099,335	45	579,985		
Toplam	29908,833	47			

Çizelge 5.180 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / FK-1322).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	29,436	16,044	10,208	58,385
3420	20	45,211	26,396	10,208	78,004
3430	8	51,401	33,742	10,208	88,768
Tüm Sınıflar	48	39,670	25,226	10,208	88,768

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki modele göre irdelenmiştir. Çizelge 5.181’de ise her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.181 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 /FK-1322).

FK-1322					FK-1322 (açılı model)			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05			Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2	3			1	
Tukey HSD ^a	3410	20	28,19945		Tukey HSD ^a	3410	20	29,43630
„b	3430	8		56,93913	„b	3420	20	45,21105
	3420	20				3430	8	51,40063
Sig.			1,000	1,000	Sig.			,058

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, her iki modelde de farklı sıralama ve kriter değer aralıkları olduğu görülecektir. Kriter değerleri ortalamaları açısından ilk modelde 3, ikinci modelde ise tek alt sınıf göze çarpmaktadır. İlk modelde 3420 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalaması ile üçüncü, 3410 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta konumlanırken, 3420 kısım müdürlüğü arada, ikinci alt sınıfta konumlanmıştır. İkinci modelde 3430 en yüksek kriter değerleri ortalamasına sahipken, 3410 en düşük kriter değerleri ortalamasına sahiptir, 3420 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır. Ancak Varyans analizinin tersine, ikili karşılaştırma sonuçları 3 kısmın ortalamasının istatistiki olarak birbirlerinden ayırt edici şekilde farklı olmadığını göstermekte.

Alt kriterler ile ilişkinin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Üst Kol Omuz - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1322)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki de yine regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.182’de yer alan Model-1 analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %93,6 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İlk modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Üst Kol Omuz - Transversal Düzlem Konumu (FK-13223)” ve “Üst Kol Omuz - Medial Lateral Rotasyonu (FK-13224)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p<0,050$), aynı durumun “Üst Kol Omuz - Sagittal Düzlem Konumu (FK-

13221)” ve “Üst Kol Omuz - Frontal Düzlem Konumu (FK-13222)” alt kriterleri için söz konusu olamıyor ($p>0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında “Üst Kol Omuz - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1322)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-13223}|=0,376>|\beta_{FK-13224}|=0,202$) sahip olan kriterin “Üst Kol Omuz - Transversal Düzlem Konumu (FK-13223)” olduğunun altı özellikle çizilmelidir.

Çizelge 5.182 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1 / FK-1322).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,936	0,930	8,435

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	44385,817	4	11096,454	155,953	0,000
Hata	3059,564	43	71,153		
Toplam	47445,381	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-149,875	9,937	-	-15,083	0,000	-
FK-13221	-0,757	5,322	-0,203	-0,142	0,888	0,838
FK-13222	3,648	5,006	1,042	0,729	0,470	0,835
FK-13223	1,420	0,169	0,376	8,400	0,000	0,417
FK-13224	0,807	0,171	0,202	4,730	0,000	0,387

Çizelge 5.183’de yer alan Model-2 analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %95,1 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. İkinci modele ait katsayılar tablosu incelendiğinde “Üst Kol Omuz - Sagital Düzlem Konumu (FK-13221)”, “Üst Kol Omuz - Frontal Düzlem Konumu (FK-13222)” ve “Üst Kol Omuz - Medial Lateral Rotasyonu (FK-13224)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülürken ($p<0,050$), aynı durumun “Üst Kol Omuz - Transversal Düzlem Konumu (FK-13223)” için söz konusu olmadığı ortaya çıkmakta, zira üst kriter ile arasında herhangi bir ilişki ve etkileşim olmadığı ortaya çıktığı için analiz dışında kalmıştır. Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında “Üst Kol Omuz - Duruş

Pozisyonu Faktörü (FK-1322)” kriteri üzerinde göreceli olarak en yüksek etkiye ($|\beta_{FK-13221}|=0,678>|\beta_{FK-13222}|=0,424>|\beta_{FK-13224}|=0,215$) ve yine ana kriter ile en kuvvetli pozitif ilişkiye (Pearson korelasyon katsayısı $r=0,843$) sahip olan kriter “Üst Kol Omuz - Sagital Düzlem Konumu (FK-13221)” olarak belirlenmektedir.

Çizelge 5.183 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-2 / FK-1322).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,951	0,948	5,768

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	28444,731	3	9481,577	284,946	0,000
Hata	1464,102	44	33,275		
Toplam	29908,833	47			

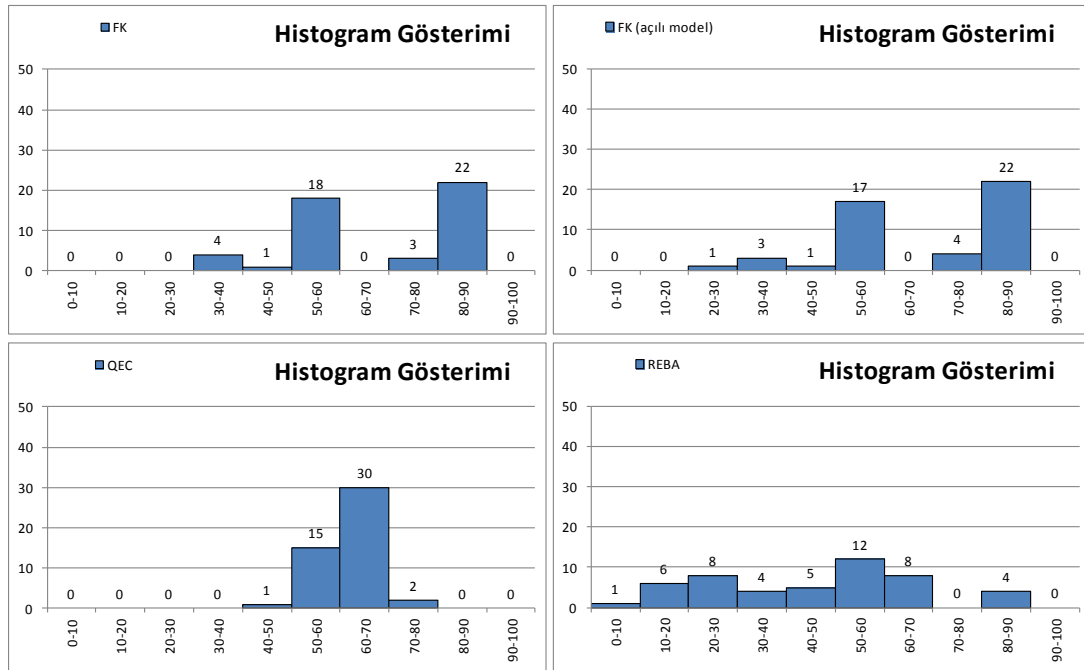
Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-14,793	2,503	-	-5,910	0,000	-
FK-13221 (açılı)	1,051	0,058	0,678	18,038	0,000	0,843
FK-13222 (açılı)	0,966	0,088	0,424	11,014	0,000	0,762
FK-13224 (açılı)	0,414	0,067	0,215	6,155	0,000	0,260

Bu verileri ışığında her iki model için de “Üst Kol Omuz - Duruş Pozisyonu Faktörü (FK-1322)” kriteri için özellikle bir alt hiyerarşide yer alan “Üst Kol Omuz - Medial Lateral Rotasyonu (FK-13224)” kriterini daha detaylı analiz etmenin diğer alt kriterlere göre daha öncelikli olduğu ortaya çıkmaktadır.

5.2.9 QEC ve REBA Yöntemlerinin Uygulama Sonuçlarının İrdelenmesi

Bulanık Mantık tabanlı uzman sistem yaklaşımı ile geliştirilen Model-1 ve Model-2 yöntemlerini kullanılarak 48 iş istasyonu için fizyolojik yüklenme değerleri tespit edildi ve grup şefliği, kısım müdürlüğü bazında karşılaştırmalar yapıldı. Bu bölümde ise literatürde en sık bahsedilen ve sanayi uygulaması olan yöntemlerden QEC (Quick Exposure Check) ve REBA (Rapid Entire Body Assessment) kullanılarak elde edilen sonuçlar, Model-1 ve Model-2 yaklaşımlarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

FuzzyErgonomics yazılımı kullanılarak oluşturulan QEC ve REBA ergonomik değerlendirme yöntemlerini baz alan formlara Model-1 ve Model-2’de de kullanılan gözlemsel verilerin yüklenmesi ve modellerin koşturulması sonucu vücut bölgeleri bazında yüklenme değerleri 48 iş istasyonu için hesaplanmış ve 100’lük skalaya çevrilmiştir. “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriter değerlerinin dağılımı ve daha önce geliştirilen iki modele göre elde edilen sonuçların histogram gösterimleri Şekil 5.63’de görülmektedir. Model-1 ve Model-2 karşılaştırmaları daha önce detaylı bir şekilde yapılmıştı. Bu iki modele ek olarak QEC ve REBA yöntemlerinden elde edilen verilerin ortaya koyduğu yüklenme seviyeleri arasındaki benzerlik ve farklılıklar irdelenmeye çalışılacaktır.



Şekil 5.63 : Model-1, Model-2 (açılı), QEC ve REBA yöntemleri yüklenme değerlerinin histogram gösterimi (FK).

Her 4 yöntemden elde edilen sonuçlar iş istasyonu bazında Çizelge 5.184’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, iş istasyonlarının yüklenme değerleri ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi sadece Model-1 ve Model-2 çifti için kabul edilmektedir, dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında benzerlik söz konusudur ($p=0,778>0,050$). Bu durumu destekleyen diğer bir olgu da %89,9’luk oranında yüksek korelasyon katsayısıdır. Eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemine göre ikili karşılaştırma sonuçlarına göre diğer yöntemlerin ortaya koyduğu sonuçlar arasında benzerlik söz konusu değildir, ancak özellikle QEC yöntemi ile Model-1 ve Model-2

yöntemlerinin ortaya koyduğu sonuçlar arasında iş istasyonu bazında nispeten yüksek korelasyon değerleri söz konusudur.

Çizelge 5.184 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (FK).

Karşılaştırılan Yöntemler (paired t-Test)			p (%95 CI)	H ₀ : ($\mu_1 - \mu_2 = 0$)	Korelasyon
Çift 1	Model-1	Model-2 (açılı)	0,778	Kabul	0,889
Çift 2	Model-1	QEC	0,007	Ret	0,651
Çift 3	Model-1	REBA	0,000	Ret	0,309
Çift 4	Model-2 (açılı)	QEC	0,005	Ret	0,622
Çift 5	Model-2 (açılı)	REBA	0,000	Ret	0,364
Çift 6	QEC	REBA	0,000	Ret	0,019

Varyans analizi yardımı ile “Fizyolojik Yüklenme (FK)” yüklenme değerlerinin grup şefliği bazında ortalamaları karşılaştırıldığında Model-1, Model-2, QEC ve REBA yöntemleri çerçevesinde ortalamalar arasında farklılık olmadığı hipotezi reddedilmektedir ($p < 0,050$).

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosunda (Çizelge 5.185) görüleceği üzere grup şefliği bazında yapılan sınıflamada Model-1 için 3, Model-2 için 2, QEC için 3, REBA için ise 2 alt sınıf olduğu göze çarpmaktadır. Çizelge 5.186’den de Model-1 ve Model-2 grup şefliği bazında kriter değerleri ortalamasına göre benzer sıralama ve değer aralıkları ortaya koyarken, QEC ve REBA yöntemleri hem birbirlerinden, hem de Model-1 ve Model-2’den farklı sıralama ve değer aralıkları çıkardığı rahatlıkla fark edilmektedir.

Çizelge 5.185 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2, QEC, REBA / FK).

FK					FK (açılı model)					
Grup Seçiliği		N	Subset for alpha = 0.05			Grup Seçiliği		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2	3				1	2
Tukey HSD ^a ..b	3411	6	38,71667			Tukey HSD ^a ..b	3411	6	42,05000	
	3423	4	50,00000				3421	7	49,80857	
	3421	7	55,63857	55,63857			3422	6	50,00000	
	3422	6	56,66667	56,66667			3426	3	56,66667	
	3426	3	56,66667	56,66667			3423	4	60,00025	
	3431	4		74,64250	74,64250		3431	4		84,64250
	3413	7			89,21857		3413	7		89,21857
	3412	7			89,33286		3412	7		89,33286
	3433	4			89,59000		3433	4		89,59000
	Sig.		,309	,242	,550		Sig.		,147	,997
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.					a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.					
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.					b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.					
QEC - Tüm Vücut (hareketli)					Genel REBA Skoru					
Grup Seçiliği		N	Subset for alpha = 0.05			Grup Seçiliği		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2	3				1	2
Tukey HSD ^a ..b	3411	6	53,03017			Tukey HSD ^a ..b	3426	3	,00000	
	3421	7	54,38329	54,38329			3411	6	29,16667	29,16667
	3422	6	59,28017	59,28017	59,28017		3423	4		37,50000
	3423	4	60,22700	60,22700	60,22700		3421	7		50,00000
	3431	4	60,51125	60,51125	60,51125		3422	6		50,00000
	3433	4		61,93175	61,93175		3433	4		50,00000
	3412	7			63,79886		3413	7		53,57143
	3413	7			63,96114		3431	4		56,25000
	3426	3			65,15133		3412	7		57,14286
	Sig.		,087	,081	,317		Sig.		,065	,088
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.					a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.					
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.					b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.					

Çizelge 5.186 : GŞ ortalamaları (Model-1&2, QEC, REBA / FK).

0

50

100

0-100 aralığında yüklenme skalası

Tüm Vücut Fizyolojik Konfor Faktörü (FK)

Model-1

Model-2 (açılı)

QEC

REBA

	Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
Grup Şefliği	3411	Parça Üretimi	38,7	8	42,1	9	53,0	9	29,2	6
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi	89,3	2	89,3	2	63,8	3	57,1	1
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi	89,2	3	89,2	3	64,0	2	53,6	3
	3421	Koltuklandırma	55,6	6	49,8	8	54,4	8	50,0	4
	3422	Montaj I	56,7	5	50,0	7	59,3	7	50,0	4
	3423	Montaj II	50,0	7	60,0	5	60,2	6	37,5	5
	3426	Montaj III	56,7	5	56,7	6	65,2	1	0,0	7
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi	74,6	4	84,6	4	60,5	5	56,3	2
	3433	Astar ve Son Kat Boya	89,6	1	89,6	1	61,9	4	50,0	4
Kısım Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM	74,1	2	75,1	2	60,6	2	47,5	2
	3420	Montaj KM	55,0	3	52,9	3	58,6	3	40,0	3
	3430	Boya KM	82,1	1	87,1	1	61,2	1	53,1	1

Varyans analizi yardımı ile “Fizyolojik Yüklenme (FK)” yüklenme değerlerinin kısım müdürlüğü bazında ortalamaları karşılaştırıldığında, ortalamalar arasında

farklılık olmadığı hipotezi QEC ve REBA yöntemleri için kabul edilirken ($p>0,050$), Model-1 ve Model-2 için reddedilmektedir ($p<0,050$).

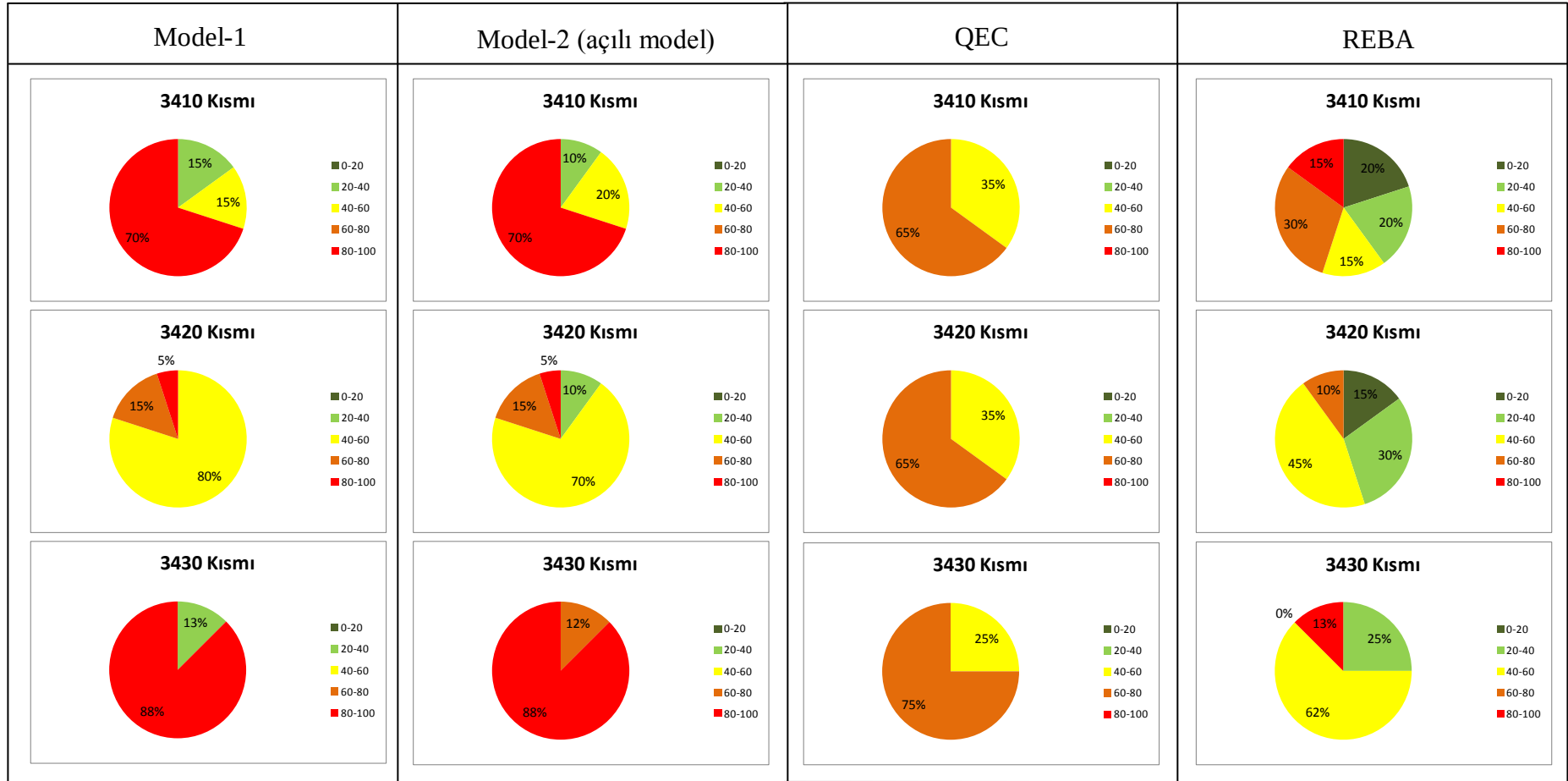
Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosunda (Çizelge 5.187) görüleceği üzere kısım müdürlüğü bazında yapılan sınıflamada Model-1 ve Model-2 için iki, QEC ve REBA için tek alt sınıf olduğu göze çarpmaktadır, bu QEC ve REBA yöntemlerinin ortaya koyduğu yüklenme sonuçlarına göre kısım müdürlüğü bazında anlamlı bir farklılık oluşmadığı anlamına gelmektedir. Yine Çizelge 5.187 ve Şekil 5.64'den de görülebileceği üzere "Tüm Vücut Fizyolojik Konfor (FK)" kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında tüm yöntemlerin ortaya koyduğu yüklenme sıralamasının 3430. 3410. 3420 olacak şekilde aynı olduğu görülmektedir. Her dört yöntemde de kısım müdürlüğü bazında 3430 kısım müdürlüğünde çalışanların en yüksek, 3420 kısmının nispeten en düşük yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3410 kısım müdürlüğü yüklenme düzeyi ile her dört yöntemde de arada konumlanmıştır.

Çizelge 5.187 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2, QEC, REBA / FK).

FK				FK (açılı model)			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2			1	2
Tukey HSD ^a	3420	20	54,97350	Tukey HSD ^a	3420	20	52,93305
„b	3410	20	74,10800	„b	3410	20	75,10800
	3430	8	82,11625		3430	8	87,11625
Sig.			1,000	Sig.			1,000
			,533				,188
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.				a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.			
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.				b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.			
QEC - Tüm Vücut (hareketli)				Genel REBA Skoru			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1				1	
Tukey HSD ^a	3420	20	58,63630	Tukey HSD ^a	3420	20	40,00000
„b	3410	20	60,62505	„b	3410	20	47,50000
	3430	8	61,22150		3430	8	53,12500
Sig.			,445	Sig.			,204
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.				a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.			
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.				b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.			

Kısım müdürlüğü bazında iş istasyonlarının yüklenme seviyelerine göre dağılımı incelendiğinde (Şekil 5.64) QEC yönteminin iş istasyonlarının yüklenme düzeyleri arasında ayırt edici bir farklılık yaratamadığı gözlemlenmektedir. REBA yönteminin

ortaya koyduğu sonuçların ise kısım müdürlüğü bazında farklı yüklenme düzeylerine düzgün şekilde dağıldığı görölmektedir ki, bu durum Şekil 5.63'deki histogram bulguları ile de örtüşmektedir. QEC yönteminin kısım müdürlüğü bazında ortaya koyduğu yüklenme değeri aralığı (58,63-61,22) olmaktadır ki bu “biraz yüksek” seviyede yüklenme olarak tanımlanmaktadır. REBA yönteminin kısım müdürlüğü bazında ortaya koyduğu yüklenme değeri aralığı ise (40,00-53,13) olmaktadır ki bu da “düşük” ve “biraz yüksek” seviyede yüklenme seviyeleri olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 5.64 : GŞ bazında İST'lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (FK / Model-1&2, QEC, REBA).

Yöntemlerin karşılaştırılmasında odaklanılması gereken diğer bir önemli boyut da vücut bölgesi bazlı belirlenmiş ve bir alt hiyerarşik seviyede yer alan alt kriterlerle olan ilişkilerin irdelenmesidir. Her dört yöntemin ortak kriterleri olan “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)”, “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)”, “Kol Bölgesi Yüklenmesi (FK-41)”, “Bacak Bölgesi Yüklenmesi (FK-42)” kriterleri ile FK arasındaki ilişkiyi Çizelge 5.188’da yer alan regresyon analizi sonuçlarını karşılaştırarak incelersek, dört yaklaşımda da “Baş Boyun Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-11)” ve “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” alt kriterleri ile ana kriter arasındaki ilişkinin yüksek derecede anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0,050$). Beta değerlerine bakıldığında her dört modelde de sırasıyla “Gövde Bel Bölgesi - Fizyolojik Yüklenme Faktörü (FK-12)” ve “Kol Bölgesi Yüklenmesi (FK-41)” alt kriterlerinin üst kriter üzerindeki etkisinin nispeten yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.188 : Regresyon ve korelasyon analizi (Model-1&2, QEC, REBA / FK).

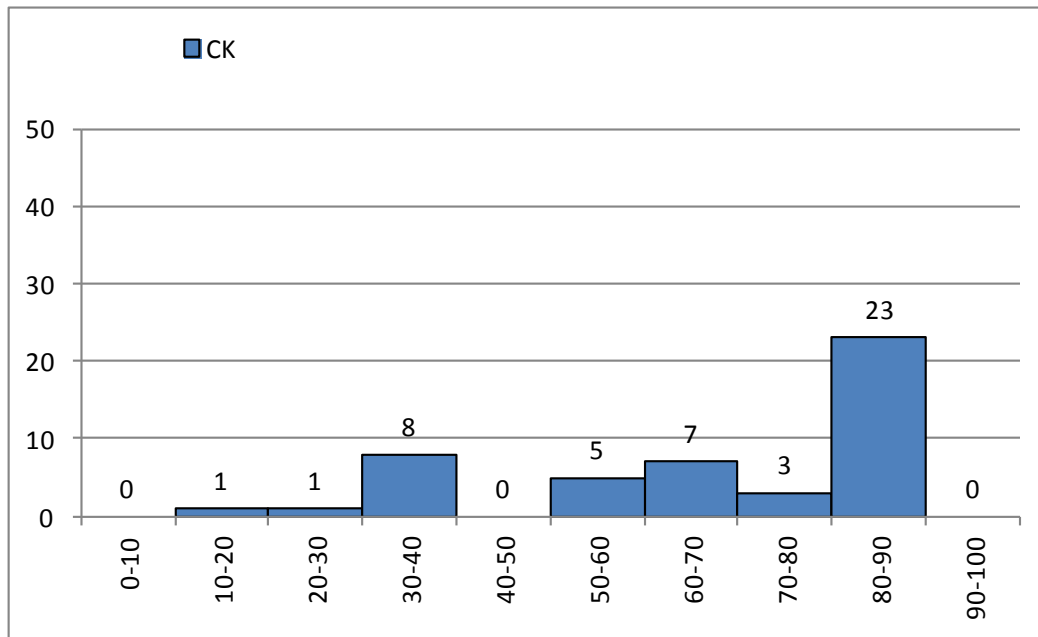
		Fizyolojik Yüklenme Alt Kriterleri (FK)							
		FK-11 (Baş-Boyun)		FK-12 (Gövde-Bel)		FK-41 (Omuz-Kol)		FK-42 (Bacak-Kalça)	
P (%95 CI)	Model-1	0,032		0,000		0,002		0,523	
	Model-2	0,001		0,000		0,000		0,221	
	QEC	0,000		0,000		0,000		0,000	
	REBA	0,000		0,000		0,195		0,000	
Beta (β)	Model-1	0,097	3	0,722	1	0,221	2	0,031	-
	Model-2	0,177	3	0,586	1	0,385	2	0,096	-
	QEC	0,603	1	0,200	4	0,344	3	0,494	2
	REBA	0,680	3	0,742	2	0,061	-	1,797	1
Korelasyon (Pearson)	Model-1	0,460		0,952		0,872		0,653	
	Model-2	0,623		0,935		0,915		0,790	
	QEC	0,796		0,059		0,324		0,803	
	REBA	0,152		0,510		0,021		0,777	

QEC ve REBA yöntemlerinin ortaya koyduğu sonuçlar ile Model-1 ve Model-2 yöntemlerinin ortaya koyduğu sonuçlar arasında çok büyük bir uyum ve benzerlik bulunamamışsa da benzerlik ve farklılıklar belli yaklaşımlar çerçevesinde

açıklanmaya çalışılmıştır. Hatta QEC ve REBA gibi iki kabul görmüş ve bilinen yöntemin ortaya koyduğu yüklenme değerleri arasındaki farklılıklar bile ikili karşılaştırma ve korelasyon değerlerinden de anlaşılacağı üzere oldukça büyüktür.

5.3 Çevresel Yüklenme Modeli Uygulama Sonuçları

FuzzyErgonomics yazılımı 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Çevresel Yüklenme (CK)” kriter değerlerinin Şekil 5.65’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 7 grupta toplandığı görülecektir.

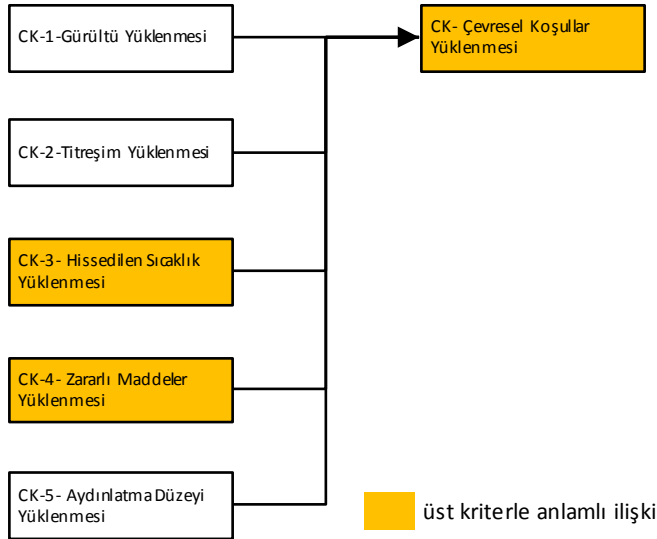


Şekil 5.65 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK).

“Çevresel Yüklenme (CK)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.189’da gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tabloda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da anlaşılabilir. Alt ve üst kriterler arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı Şekil 5.66’de gösterilen kriter hiyerarşisinde de ifade edilmeye çalışılmıştır. Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.189 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (CK).

050100 0-100 aralığında yüklenme skalası		Çevresel Koşullar		Gürültü Yüklenmesi		Titreşim Yüklenmesi		Hissedilen Sıcaklık Yüklenmesi		Zararlı Maddeler Yüklenmesi		Aydınlatma Yüklenmesi	
		CK		CK-1		CK-2		CK-3		CK-4		CK-5	
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi		p	-	p	0,964	p	0,207	p	0,000	p	0,018	p	0,054
		Beta	-	Beta	0,002	Beta	0,054	Beta	0,911	Beta	0,109	Beta	-0,082
		Kor.	-	Kor.	0,162	Kor.	0,035	Kor.	0,958	Kor.	0,431	Kor.	-0,149
Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
Grup Şefliği	3411 Parça Üretimi	49,3	7	28,1	6	17,6	4	71,0	8	50,8	5	69,9	1
	3412 Karoseri - Alt Yapı Üretimi	89,1	1	42,8	3	17,6	4	95,8	1	73,2	4	67,0	2
	3413 Karoseri - Üst Yapı Üretimi	72,3	4	55,7	1	17,6	4	83,3	5	82,3	2	55,7	4
	3421 Koltuklandırma	58,3	5	22,3	7	63,9	1	74,4	7	17,7	8	50,0	5
	3422 Montaj I	55,5	6	39,3	4	17,6	4	75,4	6	17,8	7	50,0	5
	3423 Montaj II	38,6	8	50,0	2	17,6	4	69,7	9	17,9	6	59,9	3
	3426 Montaj III	82,7	2	50,0	2	20,0	3	91,6	3	17,6	9	50,0	5
	3431 KTL ve Yapıştırma Merkezi	78,8	3	17,5	8	17,6	4	85,3	4	82,3	1	50,0	5
	3433 Astar ve Son Kat Boya	89,1	1	35,5	5	49,8	2	95,8	2	81,7	3	50,0	5
Kısm Müdürlüğü	3410 Parça ve Karoseri İmalat KM	71,3	2	42,9	1	17,6	3	84,0	2	69,6	2	63,9	1
	3420 Montaj KM	57,2	3	37,1	2	34,2	1	76,3	3	17,8	3	52,0	2
	3430 Boya KM	83,9	1	26,5	3	33,7	2	90,6	1	82,0	1	50,0	3



Şekil 5.66 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (CK).

Üst ve alt kriterler arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde “Çevresel Yüklenme Faktörü (CK)” ile alt kriterleri “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ve “Zararlı Maddeler (CK-4)” arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı ve görece önemli olduğu görülmektedir. Dolayısıyla veri toplama esnasında hissedilen sıcaklık (ısıl konfor) ve

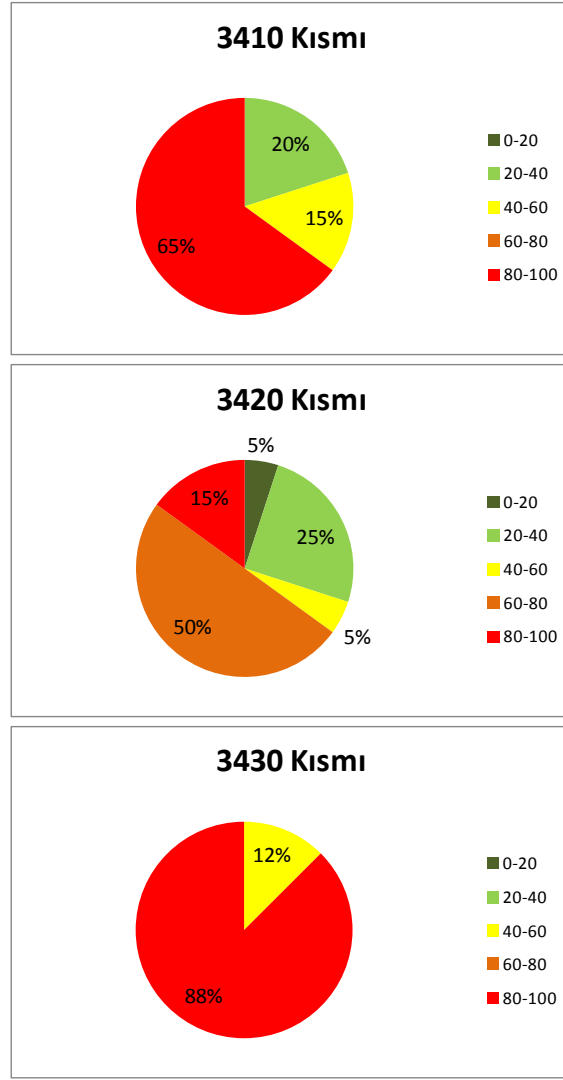
ortamdaki zararlı gaz ve tozlar üzerinde yoğunlaşmak analiz sürecini daha etkin kılacaktır.

Alt kriterler ile ilişkilerin anlamlılığı kadar, alt kriterlerin bağlı oldukları üst kriterlere ne düzeyde etkilerinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.189’da verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanılması gereken kriterler belirlenebilmektedir.

“Çevresel Yüklenme (CK)” ile alt kriterleri olan “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ve “Zararlı Maddeler (CK-4)” kriterleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmıştı. Regresyon katsayıları incelendiğinde “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Zararlı Maddeler (CK-4)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen yüklenmelerdeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.189’da görüleceği üzere “Çevresel Yüklenme (CK)” kriteri açısından yüklenme değerleri incelendiğinde özellikle grup şefliği bazında sırasıyla 3412, 3433, 3426, 3431 ve 3413 birimlerinde çalışanların “çok yüksek” yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3423 grup şefliği ise yüklenme maruziyeti açısından kısmen “düşük” ve “normal ”seviyelerde yer almaktadır.

Yine Çizelge 5.189’dan da görülebileceği üzere “Çevresel Yüklenme (CK)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında 3430 kısım müdürlüğünde çalışanların “çok yüksek” yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3410 kısım müdürlüğünde ise 3430 kısım müdürlüğündeki kadar olmasa da “yüksek” seviyelerde yüklenme maruziyeti söz konusudur. 3420 kısım müdürlüğündeki yüklenme seviyelerinin ise “normal”, yani kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir ki bu duruma ilişkin detaylar “Çevresel Yüklenme (CK)” kriteri için kısım müdürlüğü bazında iş istasyonlarının yüklenme aralıklarına dağılımını gösteren Şekil 5.67’da görülmektedir.

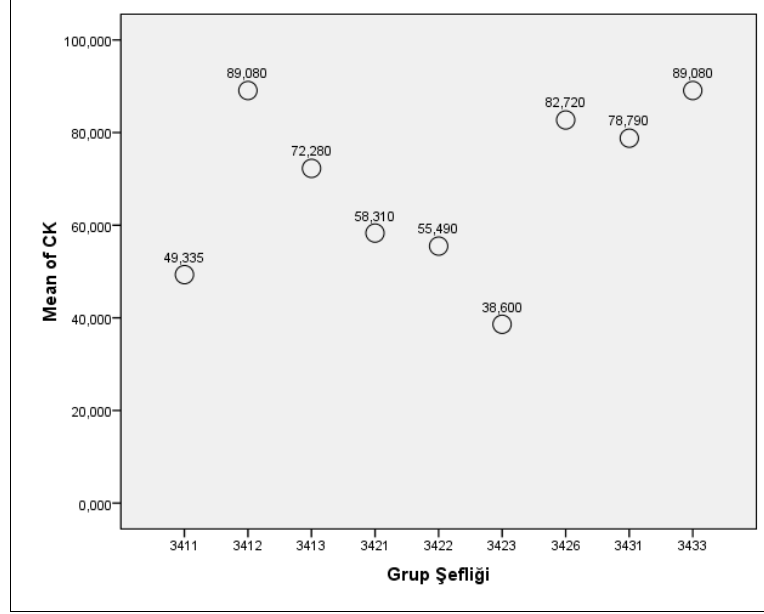


Şekil 5.67 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (CK).

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet çizelgeler yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

5.3.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.68’deki grafikte yer almaktadır. Grafiksel gösterim “Çevresel Yüklenme Faktörü (CK)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark olmadığını gösteriyor.



Şekil 5.68 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK).

Çizelge 5.190’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,257>0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.191’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.190 : GŞ bazında varyans analizi (CK).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	13264,668	8	1658,083	4,402	0,001
Gruplar içi	14688,824	39	376,637		
Toplam	27953,492	47			

Çizelge 5.191 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	49,335	29,957	30,000	88,730
3412	7	89,080	0,000	89,080	89,080
3413	7	72,280	20,841	50,000	89,080
3421	7	58,310	13,674	29,480	70,000
3422	6	55,490	29,108	10,820	89,080
3423	4	38,600	17,200	30,000	64,400
3426	3	82,720	11,016	70,000	89,080
3431	4	78,790	19,210	50,000	89,080
3433	4	89,080	0,000	89,080	89,080
Tüm Sınıflar	48	67,514	24,388	10,820	89,080

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.192’da ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.192 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK).

CK				
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	
Tukey HSD ^a ..b	3423	4	38,60000	
	3411	6	49,33500	49,33500
	3422	6	55,49000	55,49000
	3421	7	58,31000	58,31000
	3413	7	72,28000	72,28000
	3431	4	78,79000	78,79000
	3426	3		82,72000
	3433	4		89,08000
	3412	7		89,08000
	Sig.		,056	,061

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

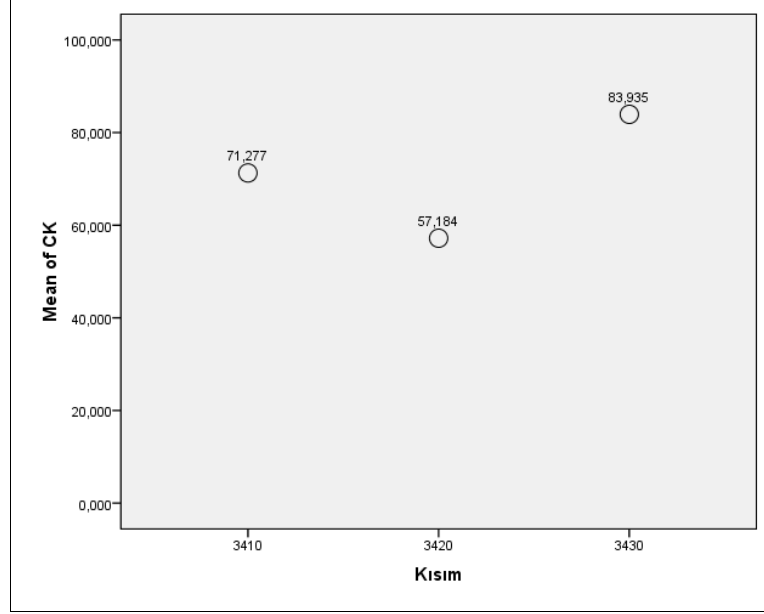
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada iki alt sınıf göze çarpmaktadır. 3412, 3433 ve 3426 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta yer alırken, 3423 grup şefliği en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta yer almaktadır. Diğer grup şeflikleri her iki alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.3.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.69’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Çevresel Yüklenme Faktörü (CK)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor.



Şekil 5.69 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK).

Çizelge 5.193’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,018<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.194’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.193 : KM bazında varyans analizi (CK).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	4574,707	2	2287,353	4,403	0,018
Gruplar içi	23378,785	45	519,529		
Toplam	27953,492	47			

Çizelge 5.194 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	71,277	25,348	30,000	89,080
3420	20	57,184	22,771	10,820	89,080
3430	8	83,935	13,726	50,000	89,080
Tüm Sınıflar	48	67,514	24,388	10,820	89,080

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.195’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.195 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK).

CK				
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a „b	3420	20	57,18350	
	3410	20	71,27650	71,27650
	3430	8		83,93500
	Sig.		,258	,332

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa iki alt sınıf olduğu görülecektir. 3430 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile ilk alt sınıfta konumlanırken, 3410 kısmı her iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmıştır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.3.3 Alt faktörler ile ilişkinin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Çevresel Yüklenme Faktörü (CK)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki de yine regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde, Çizelge 5.196’de yer alan analiz tablosundaki ki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %93,4 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ve “Zararlı Maddeler (CK-4)” alt kriterler ile “Çevresel Yüklenme Faktörü (CK)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$). “Gürültü Yüklenmesi (CK-1)”, “Titreşim Yüklenmesi (CK-2)” ve “Aydınlatma Düzeyi Yüklenmesi Zararlı Maddeler (CK-4)” kriterleri ile ana kriter arasındaki ilişkilerin anlamlılık seviyelerinin düşük olması ($p>0,050$) sebebiyle bu kriterlere ilişkin detaylı analiz yapılmayacaktır. Standardize

edilmiş katsayılara bakıldığında ise “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin göreceli olarak daha büyük olduğu görülmektedir ($|\beta_{CK-3}|=0,911>|\beta_{CK-4}|=0,018$). “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki de dikkat çekici derecede yüksektir (Pearson korelasyon katsayısı $r=0,958$). Bir sonraki adımda kuvvetli pozitif korelasyon ve ana kriter üzerindeki etki sebebiyle “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ve “Zararlı Maddeler (CK-4)” kriterleri üzerinde daha detaylı durulacaktır.

Çizelge 5.196 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,934	0,926	6,634

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	26105,251	5	5221,050	118,645	0,000
Hata	1848,241	42	44,006		
Toplam	27953,492	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-52,440	7,126	-	-7,359	0,000	-
CK-1	0,003	0,062	0,002	0,046	0,964	0,162
CK-2	0,057	0,044	0,054	1,283	0,207	0,035
CK-3	1,482	0,072	0,911	20,653	0,000	0,958
CK-4	0,090	0,036	0,109	2,466	0,018	0,431
CK-5	-0,134	0,068	-0,082	-1,979	0,054	-0,149

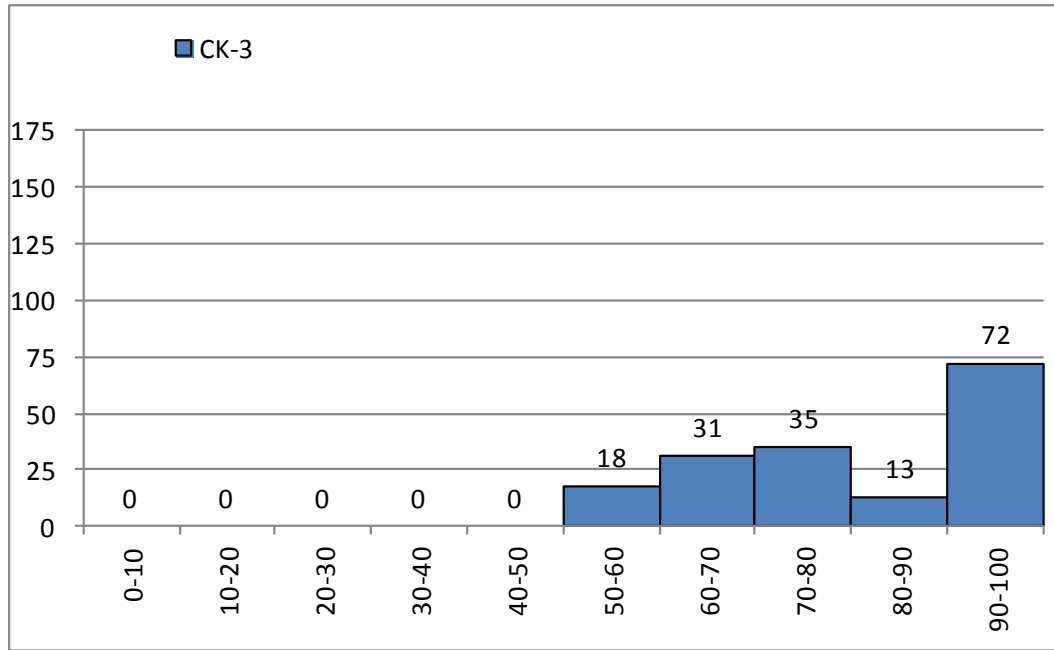
5.3.4 Hissedilen sıcaklık yüklenmesi faktörü sonuçlarının analizi

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere 169 iş istasyonu için “Hissedilen Sıcaklık Faktörü (CK-3)” kriteri ile ilişkili alt kriterlere ilişkin veri toplamaya yönelik ölçüm ve gözlemler gerçekleştirilmiştir. Toplanan veriler ISO 7730 standardı açısından da referans olarak kabul edilen “Fanger PMV ve PPD” metodolojisine göre hesaplanarak Isıl Konfor değerleri elde edilmiştir. Yine Fanger Metodolojisine göre yapılandırılan Hissedilen Sıcaklık (Thermal Comfort / Isıl Konfor) ile ilgili faktörlerin kullanıldığı Bulanık Çıkarım Modeli’ne göre toplanan veriler “FuzzyErgonomics” yazılımında koşturularak ikinci bir “Hissedilen Sıcaklık Yüklenmesi (CK-3)” veri kümesi oluşturulmuştur. Bu kısımda her iki veri kümesi

hem kendi içlerinde hem de birbirleri ile karşılaştırılarak istatistiksel analiz yöntemlerinden faydalanılarak çeşitli çıkarımlarda bulunulacaktır.

5.3.4.1 Hissedilen sıcaklık yüklenmesi faktörü için bulanık çıkarım modeli sonuçlarının analizi

FuzzyErgonomics yazılımı 169 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Hissedilen Sıcaklık Yüklenmesi (CK-3)” kriter değerlerinin Şekil 5.70’da bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 5 grupta toplandığı görülecektir.

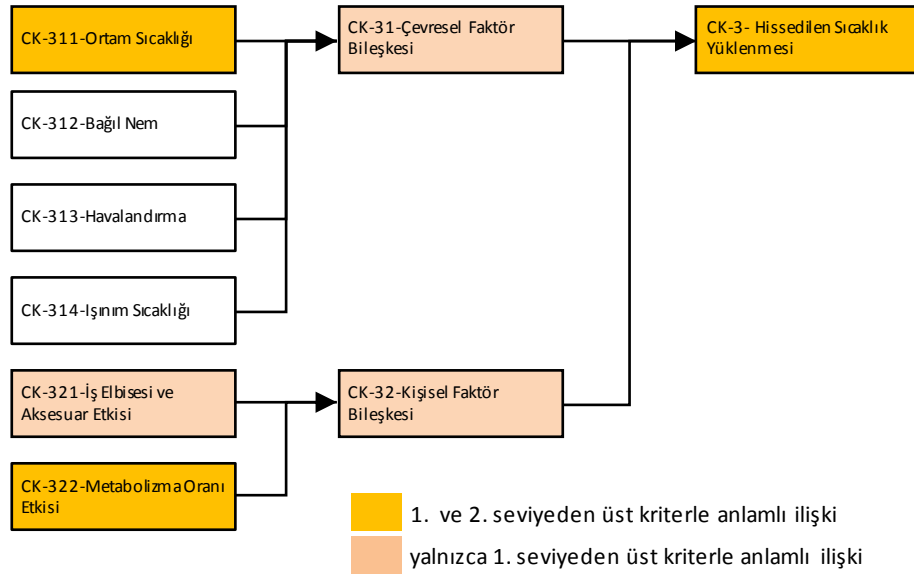


Şekil 5.70 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK).

“Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları Çizelge 5.197’de gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tabloda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da anlaşılabilmektedir. Alt ve üst kriterler arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı Şekil 5.71’de gösterilen kriter hiyerarşisinde de ifade edilmeye çalışılmıştır. Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.197 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (CK-3).

0 50 100		0-100 aralığında yüklenme skalası		Hissedilen Sıcaklık		Çevresel Faktör Bileşkesi		Ortam Sıcaklığı		Bağıl Nem		Işınım Sıcaklığı		Havalandırma		Kişisel Faktör Bileşkesi		İş Elbisesi ve Aksesuar Etkisi		Metabolizma Oranı Etkisi	
CK-3		CK-31		CK-311		CK-312		CK-313		CK-314		CK-32		CK-321		CK-322					
p		p		p		p		p		p		p		p		p		p		p	
Beta		Beta		Beta		Beta		Beta		Beta		Beta		Beta		Beta		Beta		Beta	
Kor.		Kor.		Kor.		Kor.		Kor.		Kor.		Kor.		Kor.		Kor.		Kor.		Kor.	
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi																					
Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
Grup Şefliği	3411 Parça Üretimi	73,9	9	61,7	9	58,8	9	40,3	5	40,8	6	4,5	10	56,8	6	32,1	6	60,9	4		
	3412 Karoseri - Alt Yapı Üretimi	95,8	1	70,0	1	63,1	1	33,9	9	49,7	1	10,0	3	84,6	2	39,7	2	74,6	2		
	3413 Karoseri - Üst Yapı Üretimi	84,9	4	63,2	4	60,2	4	39,8	6	45,4	4	8,5	4	87,7	1	40,3	1	76,0	1		
	3421 Koltuklandırma	75,0	8	62,3	8	58,9	8	39,1	7	40,5	9	5,9	9	51,9	10	25,9	10	53,4	10		
	3422 Montaj I	79,0	6	62,7	7	59,1	7	42,4	1	43,2	5	6,9	7	64,6	3	35,1	3	60,8	5		
	3423 Montaj II	81,0	5	62,9	6	59,2	6	41,3	4	40,7	7	7,1	5	61,1	4	33,3	4	62,5	3		
	3424 Montaj IV	71,9	10	60,9	10	58,4	10	42,0	2	39,5	10	6,8	8	53,7	8	28,1	8	59,9	6		
	3426 Montaj III	77,2	7	62,9	5	59,2	5	41,4	3	40,7	8	7,0	6	53,2	9	27,3	9	59,2	8		
	3431 KTL ve Yapıştırma Merkezi	92,3	3	68,3	3	62,4	3	37,0	8	47,3	3	13,6	2	56,0	7	30,9	7	58,8	9		
	3433 Astar ve Son Kat Boya	95,8	2	70,0	2	62,8	2	32,8	10	48,1	2	17,6	1	58,3	5	32,5	5	59,6	7		
Kısmi Müdürlüğü	3410 Parça ve Karoseri İmalatı KM	83,2	2	64,6	2	60,5	2	38,2	2	44,6	2	7,1	2	72,7	1	36,4	1	68,7	1		
	3420 Montaj KM	77,0	3	62,4	3	59,0	3	41,2	1	41,0	3	6,7	3	56,7	3	29,8	3	59,0	3		
	3430 Boya KM	93,8	1	69,1	1	62,6	1	35,1	3	47,6	1	15,4	1	57,1	2	31,7	2	59,2	2		



Şekil 5.71 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (CK-3).

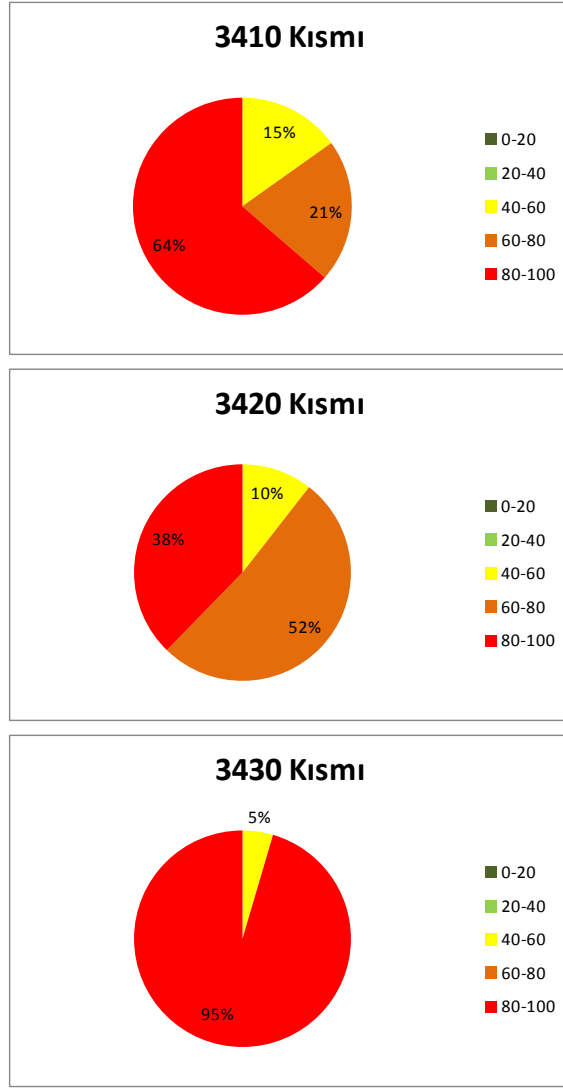
Üst ve alt kriterler arasındaki ilişkilerin analiz edildiğinde “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ile alt kriterleri “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” ve “Metabolizma Oranı Etkisi (CK-322)” arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı ve görece önemli olduğu görülmektedir. Dolayısıyla veri toplama esnasında ortam sıcaklığı ve fiziksel aktiviteden kaynaklanan vücuttaki enerji üretimi olarak tanımlanabilecek metabolik oran üzerinde odaklanılması analiz sürecini daha etkin kılacaktır. Alt kriterler ile ilişkilerin anlamlılığı kadar, alt kriterlerin bağlı oldukları üst kriterlere ne düzeyde

etkilerinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.197’de verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanması gereken kriterler belirlenebilmektedir.

“Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” ile ikinci dereceden hiyerarşik alt kriterleri olan “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” ve “Metabolizma Oranı Etkisi (CK-322)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmıştı. Regresyon katsayıları incelendiğinde “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Metabolizma Oranı Etkisi (CK-322)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen hissedilen sıcaklık yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.197’de görüleceği üzere “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” kriteri açısından yüklenme değerleri incelendiğinde özellikle grup şefliği bazında 3433, 3412, 3431 ve 3413 birimlerinde çalışanların “çok yüksek” yüklenme seviyelerine maruz kalma riski taşıdıklarını söyleyebiliriz. Kalan birimler olan 3423, 3422, 3426, 3421 ve 3411 grup şefliklerinde çalışanlar ise büyük oranda “yüksek”, kısmen “çok yüksek” yüklenme seviyelerine maruz kalmaktadırlar.

Yine Çizelge 5.197’den de görülebileceği üzere “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında 3430 kısım müdürlüğünde çalışanların büyük oranda “çok yüksek”, kısmen “normal” yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3410 kısım müdürlüğünde ise 3430 kısım müdürlüğündeki kadar olmasa da büyük oranda “çok yüksek” seviyelerde yüklenme maruziyeti söz konusudur. 3420 kısım müdürlüğündeki yüklenme seviyelerinin ise büyük ölçüde “yüksek”, yani olumsuz olduğu görülmektedir ki bu duruma ilişkin detaylar “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” kriteri yüklenme değerlerine göre kısım müdürlüğü bazında iş istasyonlarının yüklenme aralıklarına dağılımını gösteren Şekil 5.72’de görülmektedir.

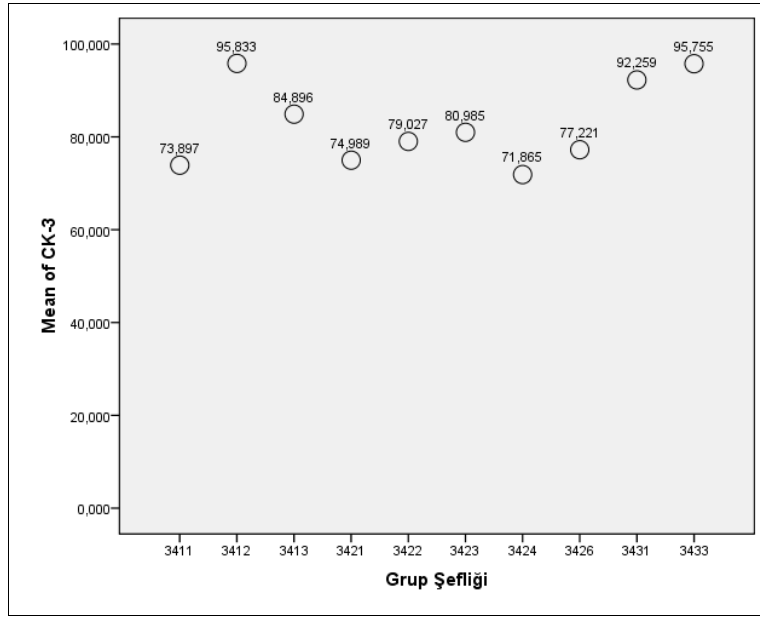


Şekil 5.72 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (CK-3).

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet çizelgeler yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.73’deki grafikte yer almaktadır. Grafiksel gösterim “Çevresel Yüklenme Faktörü (CK)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.73 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-3).

Çizelge 5.198’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.199’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.198 : GŞ bazında varyans analizi (CK-3).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	9568,939	9	1063,215	5,887	0,000
Gruplar içi	28717,352	159	180,612		
Toplam	38286,291	168			

Çizelge 5.199 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-3).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	15	73,897	18,907	50,000	95,712
3412	10	95,833	0,000	95,833	95,833
3413	8	84,896	15,095	66,667	95,833
3421	24	74,989	7,399	61,265	92,009
3422	22	79,027	17,819	50,000	95,833
3423	22	80,985	11,771	65,046	95,833
3424	18	71,865	15,716	50,000	95,833
3426	28	77,221	14,278	50,975	95,833
3431	12	92,259	11,975	54,240	95,833
3433	10	95,755	0,203	95,188	95,833
Total	169	80,393	15,096	50,000	95,833

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.200’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.200 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-3).

CK-3					
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	
Tukey HSD ^a	3424	18	71,86495		
	3411	15	73,89749		
	3421	24	74,98944		
	3426	28	77,22081	77,22081	
	3422	22	79,02709	79,02709	
	3423	22	80,98543	80,98543	80,98543
	3413	8	84,89581	84,89581	84,89581
	3431	12		92,25875	92,25875
	3433	10			95,75503
	3412	10			95,83322
	Sig.		,229	,090	,099

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

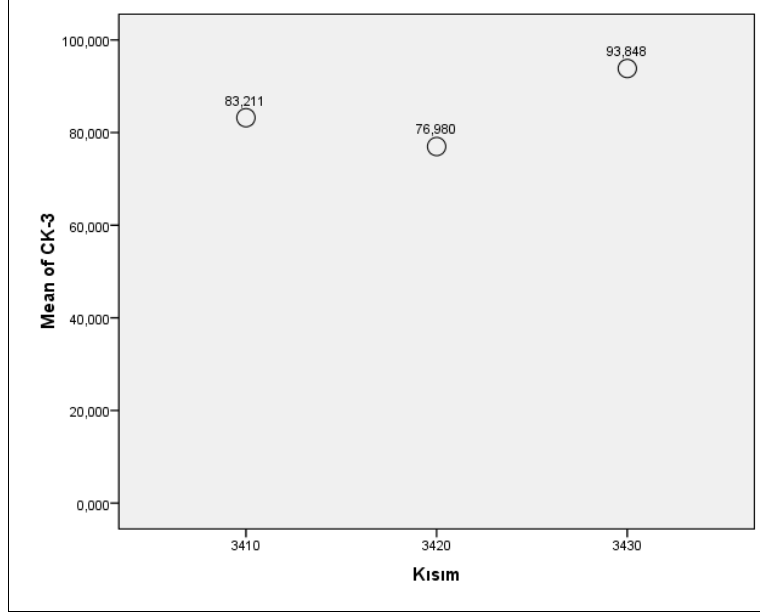
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 14,309.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada üç alt sınıf göze çarpmaktadır. 3412 ve 3433 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile üçüncü alt sınıfta yer alırken, 3424, 3411 ve 3421 grup şeflikleri sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almaktadırlar. Diğer grup şeflikleri en az iki alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.74’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor.



Şekil 5.74 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-3).

Çizelge 5.201’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.202’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.201 : KM bazında varyans analizi (CK-3).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	5572,410	2	2786,205	14,138	0,000
Gruplar içi	32713,880	166	197,072		
Toplam	38286,291	168			

Çizelge 5.202 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-3).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	33	83,211	17,245	50,000	95,833
3420	114	76,980	13,811	50,000	95,833
3430	22	93,848	8,849	54,240	95,833
Tüm Sınıflar	169	80,393	15,096	50,000	95,833

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.203’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.203 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-3).

CK-3				
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
TukeyHSD ^a ..b	3420	114	76,98047	93,84797
	3410	33	83,21094	
	3430	22		
	Sig.		,151	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 35,491.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa iki alt sınıf olduğu görülecektir. 3430 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta, 3420 ve 3410 kısım müdürlükleri ise sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile ilk alt sınıfta konumlanmışlardır

Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Daha önceki regresyon ve korelasyon analizlerinde hiyerarşik ilişki çerçevesinde birinci alt seviyedeki alt kriterlerle ana kriter arasındaki ilişkiler incelenmişti. “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” için Bulanık Çıkarım Modeli oluşturulurken çevresel ve kişisel faktörler diye iki ara kriter tanımlanarak temel kriterler bu iki ara kritere bağlanmışlardı. Orijinal modele sadık kalınarak, Bulanık Çıkarım Modeli’ndeki ara hiyerarşik seviye göz ardı edilmiş, temel kriterler ve ana kriter arasındaki ilişkiler regresyon analizi kapsamında incelenmiştir.

Çizelge 5.204’de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %80,9 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” ve “Metabolizma Oranı Etkisi (CK-322)” alt kriterler ile “Hissedilen Sıcaklık Yüklenmesi (CK-3)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$). Geri kalan alt kriterler ile ana kriter arasındaki ilişkilerin anlamlılık seviyelerinin düşük olması ($p>0,050$) sebebiyle bu kriterlere ilişkin detaylı analiz yapılmayacaktır. Standardize edilmiş katsayılarla bakıldığında

ise ($|\beta_{CK-311}|=0,920 > |\beta_{CK-322}|=0,144$) “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin göreceli olarak daha büyük olduğu görülmektedir. “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki de dikkat çekici derecede yüksektir (Pearson korelasyon katsayısı $r=0,885$).

Çizelge 5.204 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-3)

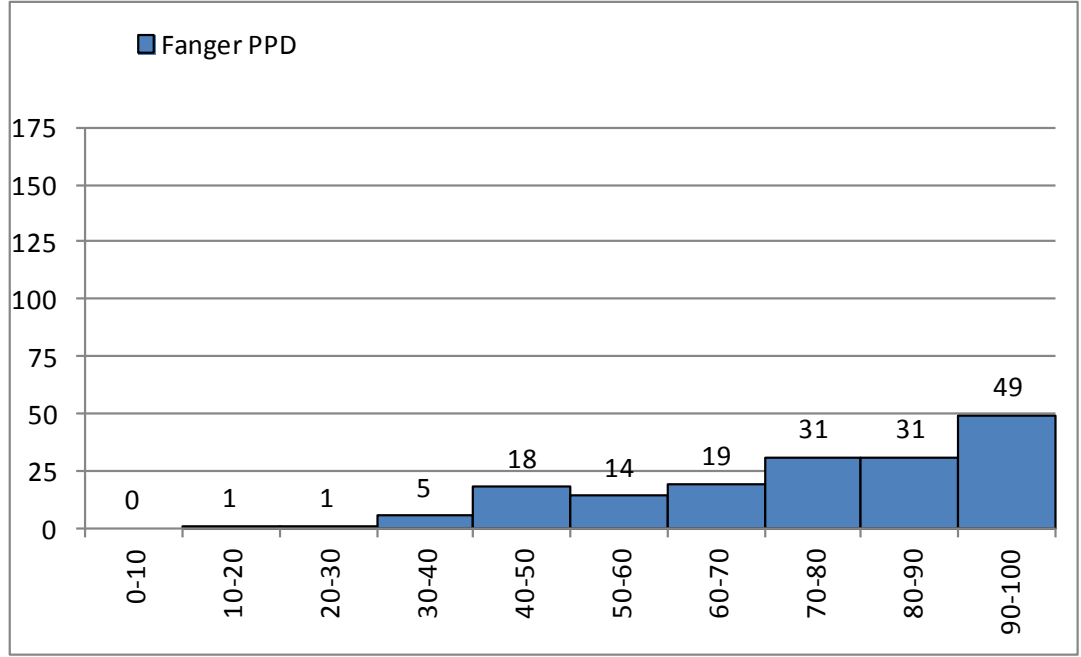
Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,809	0,802	6,724

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	30961,541	6	5160,257	114,128	0,000
Hata	7324,750	162	45,215		
Toplam	38286,291	168			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-295,001	27,523		-10,718	0,000	
CK-311	5,990	0,452	0,920	13,256	0,000	0,885
CK-312	0,168	0,166	0,050	1,009	0,314	-0,595
CK-313	-0,152	0,154	-0,058	-0,987	0,325	0,667
CK-314	0,070	0,144	0,022	0,484	0,629	0,551
CK-321	0,058	0,098	0,028	0,595	0,553	0,378
CK-322	0,243	0,068	0,144	3,594	0,000	0,287

5.3.4.2 Hissedilen sıcaklık yüklenmesi faktörü için Fanger metodu sonuçlarının analizi

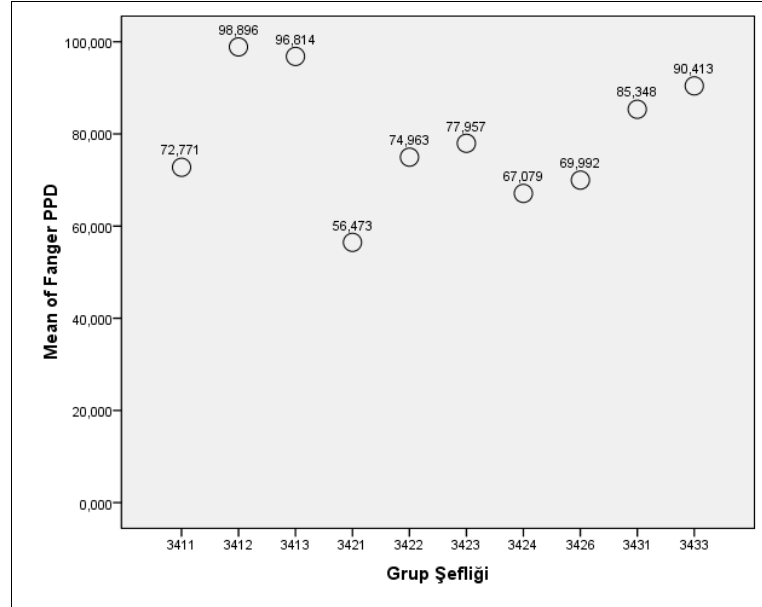
169 iş istasyonunun analizine yönelik Fanger Metodolojisine göre elde edilen “Hissedilen Sıcaklık Yüklenmesi (CK-3)” kriter değerlerinin Şekil 5.75’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 9 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.75 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK-3 / Fanger).

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.76'deki grafikte yer almaktadır. Grafikselsel gösterim "Hissedilen Sıcaklık (CK-3)" kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.76 : GŞ ortalamalarının grafikselsel gösterimi (CK-3 / Fanger).

Çizelge 5.205'da görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven

aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.206’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.205 : GŞ bazında varyans analizi (CK-3/Fanger).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	23513,657	9	2612,629	10,441	0,000
Gruplar içi	39784,327	159	250,216		
Toplam	63297,984	168			

Çizelge 5.206 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-3/Fanger).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	15	72,771	22,199	30,131	95,827
3412	10	98,896	1,355	95,771	99,951
3413	8	96,814	3,415	90,343	99,979
3421	24	56,473	16,480	30,027	89,150
3422	22	74,963	23,984	13,994	98,173
3423	22	77,957	13,595	58,024	94,296
3424	18	67,079	15,477	41,520	94,235
3426	28	69,992	13,546	45,314	94,720
3431	12	85,348	10,992	65,205	99,192
3433	10	90,413	4,989	80,778	95,061
Total	169	74,971	19,411	13,994	99,979

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.207’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.207 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-3/Fanger).

Fanger PPD						
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
Tukey HSD ^a	3421	56,47322				
„b	3424	67,07897	67,07897			
	3426	69,99158	69,99158			
	3411	72,77149	72,77149	72,77149		
	3422	74,96267	74,96267	74,96267		
	3423		77,95729	77,95729	77,95729	
	3431		85,34786	85,34786	85,34786	85,34786
	3433			90,41300	90,41300	90,41300
	3413				96,81356	96,81356
	3412					98,89592
	Sig.	,063	,070	,093	,053	,401

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

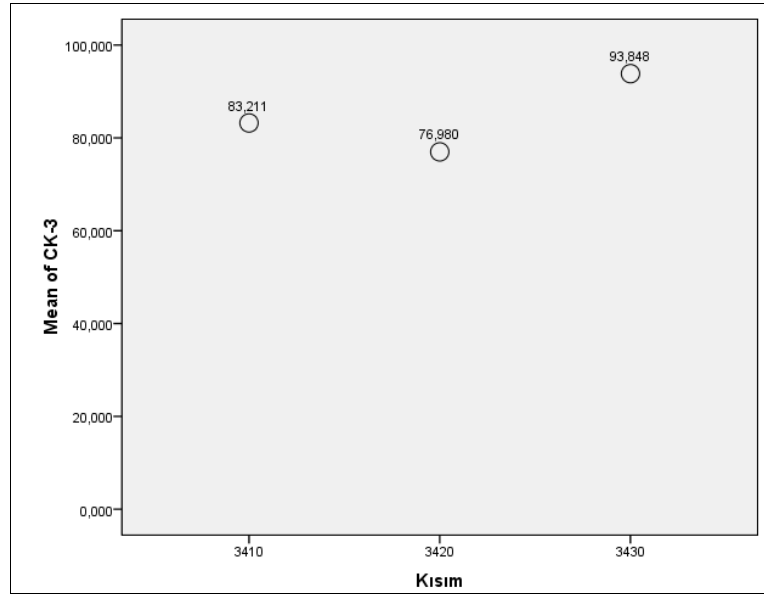
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 14,309.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada 5 alt sınıf göze çarpmaktadır. 3412 grup şefliği en yüksek kriter değerleri ortalaması ile beşinci alt sınıfta yer alırken, 3421 grup şefliği en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta yer almaktadır. Diğer grup şeflikleri en az iki alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.77’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Hissedilen Sıcaklık (CK-3)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor.



Şekil 5.77 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-3/Fanger).

Çizelge 5.208’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.209’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.208 : KM bazında varyans analizi (CK-3/Fanger).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	11755,547	2	5877,773	18,930	0,000
Gruplar içi	51542,438	166	310,497		
Toplam	63297,984	168			

Çizelge 5.209 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-3/Fanger).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	33	86,516	19,535	30,131	99,979
3420	114	69,182	18,250	13,994	98,173
3430	22	87,650	8,979	65,205	99,192
Tüm Sınıflar	169	74,971	19,411	13,994	99,979

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.210'de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.210 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-3/Fanger).

Fanger PPD				
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a ,b	3420	114	69,18230	
	3410	33		86,51636
	3430	22		87,65020
	Sig.		1,000	,960

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 35,491.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa iki alt sınıf olduğu görülecektir. 3430 ve 3410 kısım müdürlükleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile ilk alt sınıfta konumlanmışlardır

Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Çizelge 5.211'de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %89,0 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi

tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “İş Elbisesi ve Aksesuar Etkisi (CK-321)” alt kriteri hariç ($p=0,081>0,050$), tüm alt kriterlerin üst kriter ile olan ilişkilerinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılar bakıldığında ise “Metabolizma Oranı Etkisi (CK-322)” ve “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” kriterlerinin ana kriter üzerindeki etkisinin diğer kriterlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir ($|\beta_{CK-322}|=0,660>|\beta_{CK-311}|=0,339>|\beta_{CK-313}|=0,242>|\beta_{CK-312}|=0,126>|\beta_{CK-314}|=0,083$).

Çizelge 5.211 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-3/Fanger)

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,890	0,886	6,542

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	56364,560	6	9394,093	219,494	0,000
Hata	6933,424	162	42,799		
Toplam	63297,984	168			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-246,343	26,778	-	-9,199	0,000	-
CK-311	2,843	0,440	0,339	6,467	0,000	0,610
CK-312	0,541	0,162	0,126	3,339	0,001	-0,352
CK-313	0,814	0,150	0,242	5,442	0,000	0,605
CK-314	0,347	0,141	0,083	2,470	0,015	0,396
CK-321	0,167	0,095	0,062	1,756	0,081	0,613
CK-322	1,431	0,066	0,660	21,770	0,000	0,773

Hem Fanger hem de Bulanık Çıkarım Yöntemi’ne göre gerçekleştirilen analiz sonuçları doğrultusunda “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” ve “Metabolizma Oranı Etkisi (CK-322)” alt kriterlerinin ana kriter olan “Hissedilen Sıcaklık Yüklenmesi (CK-3)” üzerinde en etkili kriterler olduğu sonucuna varılmaktadır. Dolayısıyla sonraki adımlarda bu iki kriter üzerinde daha detaylı analiz çalışmaları yapılacaktır.

5.3.4.3 Hissedilen sıcaklık yüklenmesi faktörü için bulanık tabanlı ve Fanger metodu bazlı modellerin karşılaştırılması

Hissedilen Sıcaklık faktörü için kullanılan Bulanık Çıkarım Yöntemi tabanlı model ve Fanger metodu bazlı modele göre elde edilen sonuçlar iş istasyonu bazında Çizelge 5.212’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, kriter değerleri ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi reddedilir, dolayısıyla her iki modelin ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında farklılık söz konusudur ($p=0,000<0,050$). Her iki modelin karşılaştırıldığı 0’de ise özellikle kısım müdürlüğü bazında hesaplanan yüklenme değerleri ve sıralamalarının aynı olduğu, grup şefliği bazındaki yüklenme değerleri ve sıralamaların ise oldukça benzer olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.212 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (CK-3).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	R	t	df	p değeri
Fuzzy Model	80,393	169	15,096	1,161	169	0,713	5,160	168	0,000
Fanger Model	74,971	169	19,411	1,493					

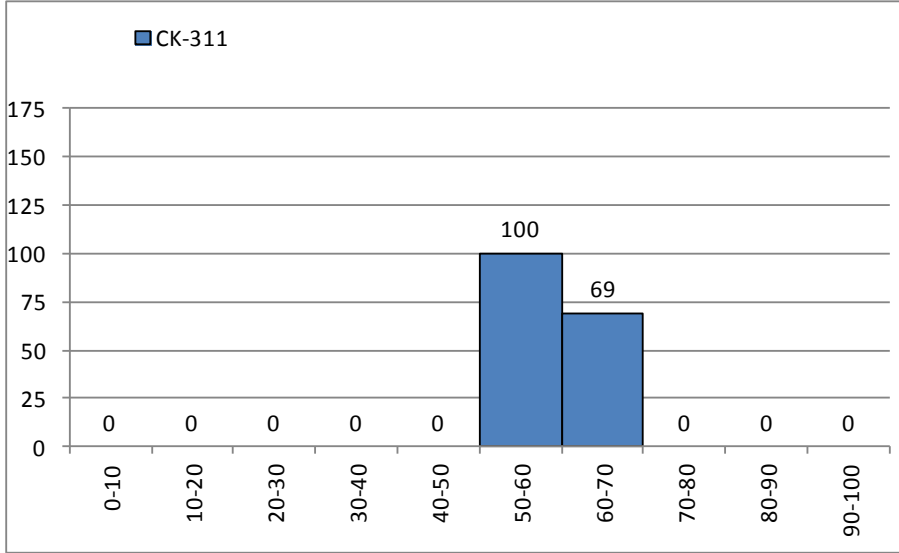
Her ne kadar iki modelin iş istasyonu bazında ikili karşılaştırılmalarından hareketle test edilen ortalamalarının benzerliği hipotezi reddedildiyse de, Fanger metoduna göre hesaplanan ısı konfor düzeyleri kontrol verisi olarak kabul edilirse, %71,3 Pearson korelasyon katsayısı değerinden hareketle geliştirilen Bulanık Çıkarım Yöntemi tabanlı modelin de hissedilen sıcaklık değerlerini tahmin edebildiği sonucuna varılması yanlış olmaz.

Çizelge 5.213 : GŞ ve KM bazlı yüklenme değerleri ve sıralaması (bulanık model ve Fanger metodu karşılaştırması / CK-3).

050100 0-100 aralığında yüklenme skalası			Hissedilen Sıcaklık (Bulanık Model) CK-3 (Fuzzy)		Hissedilen Sıcaklık (Fanger Modeli) CK-3 (Fanger)	
Grup Şefliği	Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra
	3411	Parça Üretimi	73,9	9	72,8	7
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi	95,8	1	98,9	1
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi	84,9	4	96,8	2
	3421	Koltuklandırma	75,0	8	56,5	10
	3422	Montaj I	79,0	6	75,0	6
	3423	Montaj II	81,0	5	78,0	5
	3424	Montaj IV	71,9	10	67,1	9
	3426	Montaj III	77,2	7	70,0	8
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi	92,3	3	85,3	4
	3433	Astar ve Son Kat Boya	95,8	2	90,4	3
Kısım Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM	83,2	2	86,5	2
	3420	Montaj KM	77,0	3	69,2	3
	3430	Boya KM	93,8	1	87,7	1

5.3.4.4 Ortam sıcaklığı faktörü değerlerinin analizi

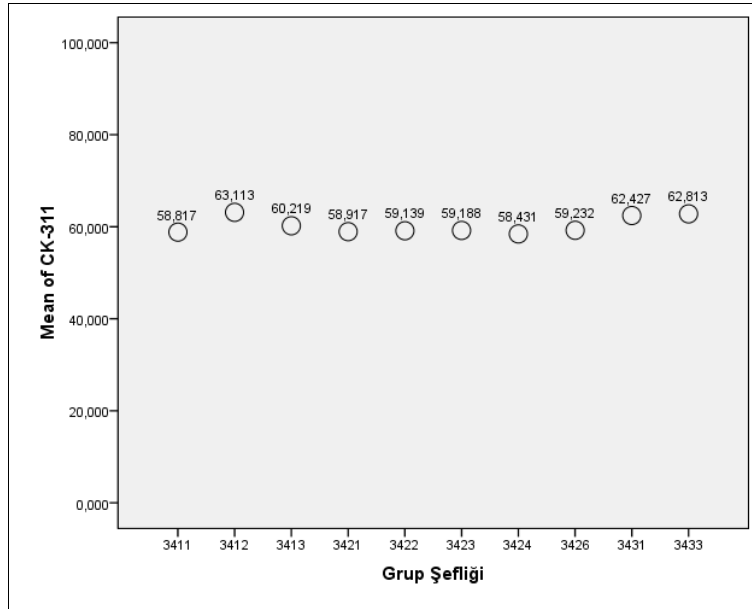
169 iş istasyonu için ölçümlenen “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” kriter değerlerinin Şekil 5.78’de bulunan histogram gösterimlerine bakıldığında değerlerin belirgin şekilde ayrıştığı ve 2 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.78 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK-311).

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.79'deki grafikte yer almaktadır. Grafikselsel gösterim “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.79 : GŞ ortalamalarının grafikselsel gösterimi (CK-311).

Çizelge 5.214'de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000 < 0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.215'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.214 : GŞ bazında varyans analizi (CK-311).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	378,335	9	42,037	12,754	0,000
Gruplar içi	524,082	159	3,296		
Toplam	902,416	168			

Çizelge 5.215 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-311).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	15	58,817	2,233	55,500	63,125
3412	10	63,113	0,622	62,125	64,000
3413	8	60,219	3,958	55,000	64,000
3421	24	58,917	0,592	57,625	59,750
3422	22	59,139	2,250	56,000	63,000
3423	22	59,188	1,725	55,875	62,750
3424	18	58,431	1,485	55,625	61,500
3426	28	59,232	1,624	56,500	62,250
3431	12	62,427	1,979	58,250	65,625
3433	10	62,813	1,180	61,375	65,000
Total	169	59,762	2,318	55,000	65,625

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.216'de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.216 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-311).**CK-311**

Grup Şefliği		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a „b	3424	18	58,43056	
	3411	15	58,81667	
	3421	24	58,91667	
	3422	22	59,13920	
	3423	22	59,18750	
	3426	28	59,23214	
	3413	8	60,21875	
	3431	12		62,42708
	3433	10		62,81250
	3412	10		63,11250
	Sig.		,211	,991

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

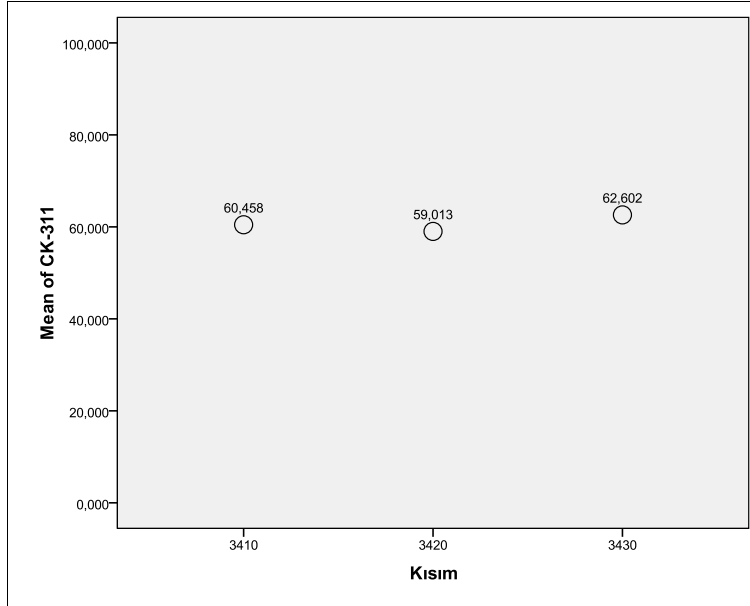
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 14,309.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada iki alt sınıf göze çarpmaktadır. 3412, 3433 ve 3431 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile üçüncü alt sınıfta yer alırlarken, 3424, 3411, 3421, 3422, 3423, 3426 ve 3413 grup şeflikleri sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almaktadırlar.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.80’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Ortam Sıcaklığı (CK-311)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor.



Şekil 5.80 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-311).

Çizelge 5.217’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.218’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.217 : KM bazında varyans analizi (CK-311).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	257,499	2	128,750	33,140	0,000
Gruplar içi	644,917	166	3,885		
Toplam	902,416	168			

Çizelge 5.218 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-311).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	33	60,458	3,032	55,000	64,000
3420	114	59,013	1,614	55,625	63,000
3430	22	62,602	1,639	58,250	65,625
Tüm Sınıflar	169	59,762	2,318	55,000	65,625

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.219’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.219 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK).

CK-311

	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD ^a	3420	114	59,01261		
„b	3410	33		60,45833	
	3430	22			62,60227
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

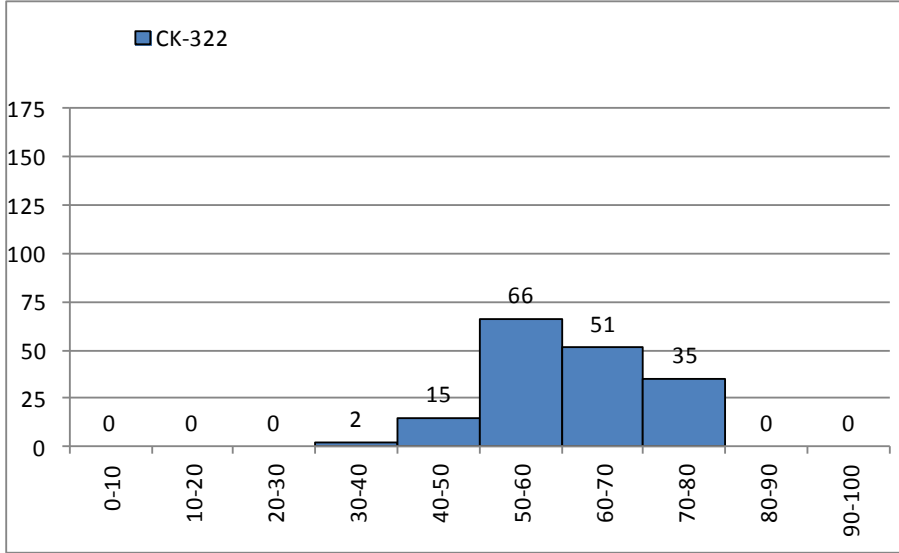
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 35,491.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa üç alt sınıf olduğu görülecektir. 3430 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalaması ile üçüncü alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile ilk alt sınıfta konumlanırken, 3420 kısmı arada ikinci alt sınıfta yer almaktadır.

5.3.4.5 Metabolizma oranı etkisi değerlerinin analizi

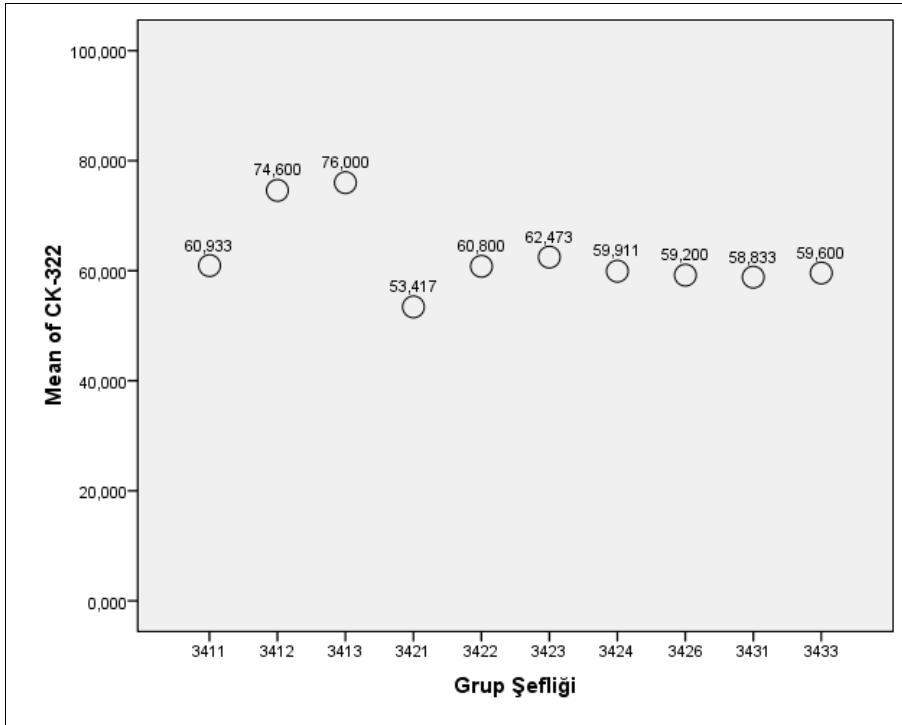
169 iş istasyonu için ölçümlenen “Metabolizma Oranı Etkisi (CK-322)” kriteri değerlerinin Şekil 5.81’de bulunan histogram gösterimlerine bakıldığında değerlerin belirgin şekilde ayrıştığı ve 5 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.81 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK-322).

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.82’deki grafikte yer almaktadır. Grafikselsel gösterim “Metabolizma Oranı Etkisi (CK-322)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.82 : GŞ ortalamalarının grafikselsel gösterimi (CK-322).

Çizelge 5.220’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.221’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.220 : GŞ bazında varyans analizi (CK-322).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	5265,946	9	585,105	11,339	0,000
Gruplar içi	8204,655	159	51,602		
Toplam	13470,601	168			

Çizelge 5.221 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-322).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	15	60,933	4,590	56,000	66,000
3412	10	74,600	6,670	62,000	78,000
3413	8	76,000	5,657	62,000	78,000
3421	24	53,417	9,036	44,400	72,000
3422	22	60,800	9,225	38,000	70,800
3423	22	62,473	7,255	52,000	70,800
3424	18	59,911	5,489	53,200	72,800
3426	28	59,200	5,418	53,200	72,800
3431	12	58,833	7,602	40,000	70,000
3433	10	59,600	7,989	38,000	66,000
Total	169	60,947	8,954	38,000	78,000

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.222’da ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada üç alt sınıf göze çarpmaktadır. 3412 ve 3413 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile üçüncü alt sınıfta yer alırken, 3421 grup şefliği en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta yer almaktadır. İkinci alt sınıfta konumlanan 3423 grup şefliği hariç, diğer grup şeflikleri en az iki alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

Çizelge 5.222 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-322).

CK-322				
Grup Sefliği	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	3421	53,41667		
„b	3431	58,83333	58,83333	
	3426	59,20000	59,20000	
	3433	59,60000	59,60000	
	3424	59,91111	59,91111	
	3422	60,80000	60,80000	
	3411	60,93333	60,93333	
	3423		62,47273	
	3412			74,60000
	3413			76,00000
Sig.		,146	,939	1,000

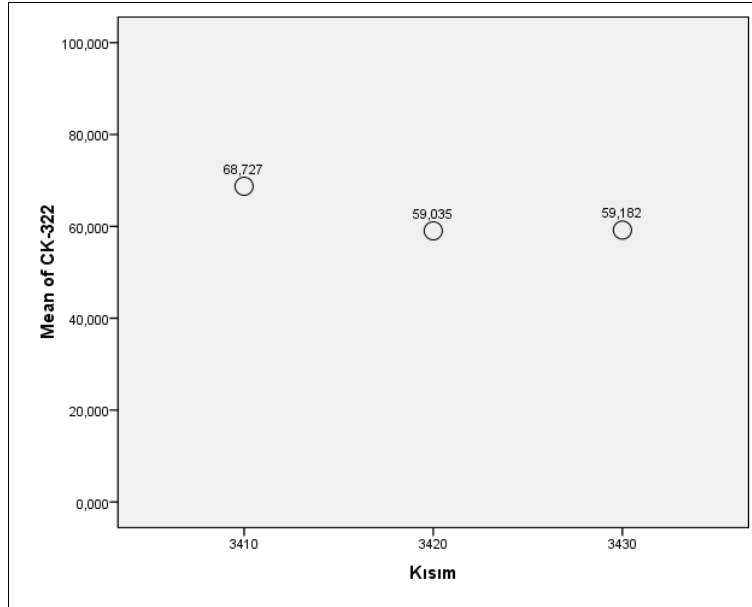
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 14,309.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Kısım müdürlüğü bazında kriter değeri ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değeri ortalamalarının Şekil 5.83’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Metabolizma Oranı Etkisi (CK-322)” kriter değeri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor.



Şekil 5.83 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-322).

Çizelge 5.223’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değeri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.224’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.223 : KM bazında varyans analizi (CK-322).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	2482,843	2	1241,421	18,755	0,000
Gruplar içi	10987,758	166	66,191		
Toplam	13470,601	168			

Çizelge 5.224 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-322).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	33	68,727	9,011	56,000	78,000
3420	114	59,035	7,969	38,000	72,800
3430	22	59,182	7,601	38,000	70,000
Tüm Sınıflar	169	60,947	8,954	38,000	78,000

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.225’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.225 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-322).

CK-322				
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a .,b	3420	114	59,03509	
	3430	22	59,18182	
	3410	33		68,72727
	Sig.		,997	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 35,491.

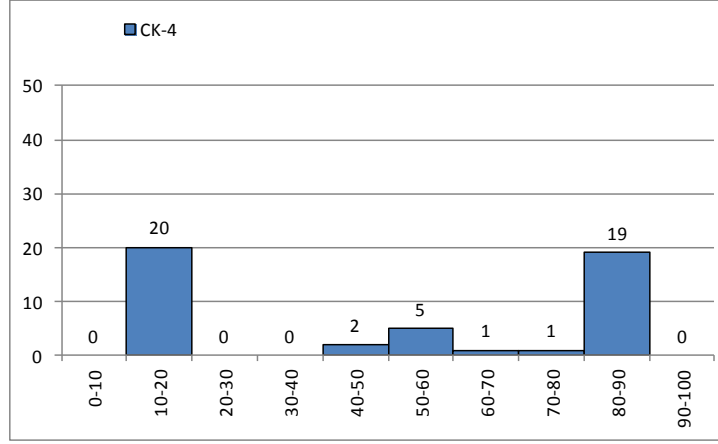
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa iki alt sınıf olduğu görülecektir. 3410 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta, 3420 ve 3430 kısım müdürlükleri ise sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile ilk alt sınıfta konumlanmışlardır.

5.3.5 Zararlı maddeler yüklenmesi sonuçlarının analizi

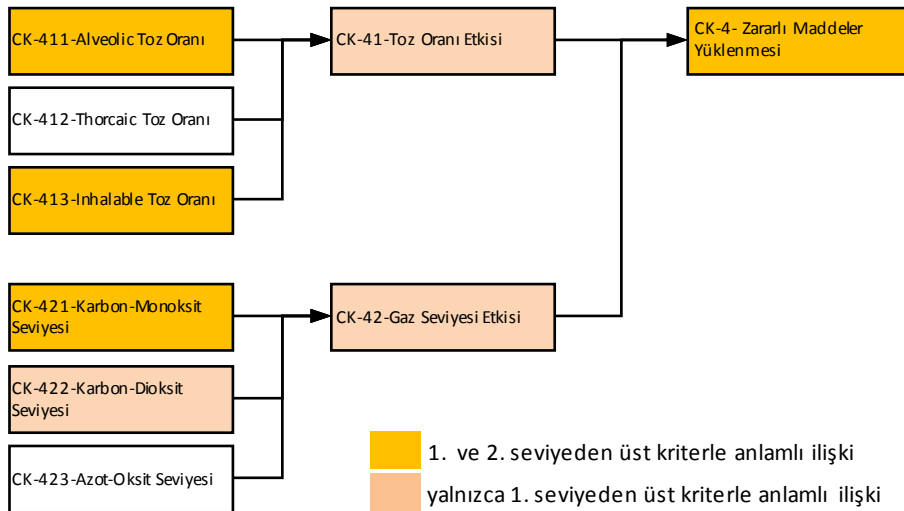
FuzzyErgonomics yazılımı 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Zararlı Maddeler (CK-4)” kriter değerlerinin Şekil 5.84’de bulunan

histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 5 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.84 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK).

“Zararlı Maddeler (CK-4)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.226’de gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tabloda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da anlaşılabilmektedir. Alt ve üst kriterler arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı Şekil 5.85’de gösterilen kriter hiyerarşisinde de ifade edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.85 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (CK-4).

Çizelge 5.226 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (CK-4).

0-100 aralığında yüklenme skalası

	CK-4	CK-41	CK-411	CK-412	CK-413	CK-42	CK-421	CK-422	CK-423									
Ana kriterler ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi	p	-	p	0,000	p	0,000	p	-	p	0,025	p	0,000	p	0,000	p	0,033	p	0,230
	Beta	-	Beta	0,156	Beta	0,937	Beta	-	Beta	0,168	Beta	0,937	Beta	0,656	Beta	0,233	Beta	0,101
	Kor.	-	Kor.	0,232	Kor.	0,877	Kor.	-	Kor.	-0,167	Kor.	0,953	Kor.	0,886	Kor.	0,792	Kor.	0,603

	Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
Grup Şöförlü	3411	Parça Üretimi	50,8	5	6,2	7	0,0	6	0,0	1	10,7	4	47,3	5	15,5	3	7,6	8	2,5	7
	3412	Karoseri - Altı Yapı Üretimi	73,2	4	5,4	8	0,0	6	0,0	1	25,0	2	66,9	2	24,0	2	7,9	4	5,0	3
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi	82,3	2	7,1	6	0,0	6	0,0	1	25,6	1	89,5	1	32,1	1	18,9	1	4,9	4
	3421	Koltuklandırma	17,7	8	5,4	8	0,0	6	0,0	1	2,1	9	10,2	6	2,6	9	1,2	9	1,9	9
	3422	Montaj I	17,8	7	11,5	5	4,9	5	0,0	1	2,6	8	10,2	6	5,3	6	2,0	7	2,3	8
	3423	Montaj II	17,9	6	14,6	4	7,5	4	0,0	1	2,7	7	10,2	6	4,8	7	2,2	5	3,5	5
	3426	Montaj III	17,6	9	23,3	3	17,6	3	0,0	1	2,8	6	10,2	6	3,3	8	2,1	6	2,7	6
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi	82,3	1	28,5	2	19,2	2	0,0	1	7,3	5	65,3	4	15,3	4	13,0	3	6,3	2
	3433	Astar ve Son Kat Boya	81,7	3	46,1	1	28,0	1	0,0	1	13,8	3	66,2	3	12,5	5	16,3	2	7,3	1
Kısmi Müdahallü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM	69,6	2	6,2	3	0,0	3	0,0	1	20,9	1	68,9	1	24,3	1	9,9	2	4,2	2
	3420	Montaj KM	17,8	3	11,8	2	5,6	2	0,0	1	2,5	3	10,2	3	4,0	3	1,8	3	2,5	3
	3430	Boya KM	82,0	1	37,3	1	23,6	1	0,0	1	10,5	2	65,8	2	13,9	2	14,6	1	6,8	1

Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır. Üst ve alt kriterler arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde “Zararlı Maddeler (CK-4)” ile hiyerarşik seviyede birinci seviyeden alt kriterleri olan “Toz Oranı (CK-41)” ve “Gaz Seviyesi (CK-42)” ve ikinci dereceden alt kriterleri olan “Toz Oranı (alveolic/respirable) (CK-411)”, “Toz Oranı (inhalable) (CK-413)” ve “Karbonmonoksit Seviyesi (CK-421)” arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı ve görece önemli olduğu görülmektedir.

“Toz Oranı (CK-41)” ile birinci dereceden alt kriterleri arasındaki ilişkilere bakıldığında “Toz Oranı (alveolic/respirable) (CK-411)” ve “Toz Oranı (inhalable) (CK-413)” ile olan ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir. “Gaz Seviyesi (CK-42)” ile birinci dereceden alt kriterleri arasındaki ilişkilere bakıldığında ise “Karbonmonoksit Seviyesi (CK-421)” ve “Karbondiyoksit Seviyesi (CK-422)” ile olan ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Bu tespitler ışığında veri toplama esnasında çalışma ortamının havasındaki alveoler ve solunabilir (inhalable) toz oranları ile karbonmonoksit ve karbondioksit gaz derişimlerinin ölçümleri üzerinde odaklanması analiz sürecini daha etkin kılacaktır.

Alt kriterler ile ilişkilerin anlamlılığı kadar, alt kriterlerin bağlı oldukları üst kriterlere ne düzeyde etkilerinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki

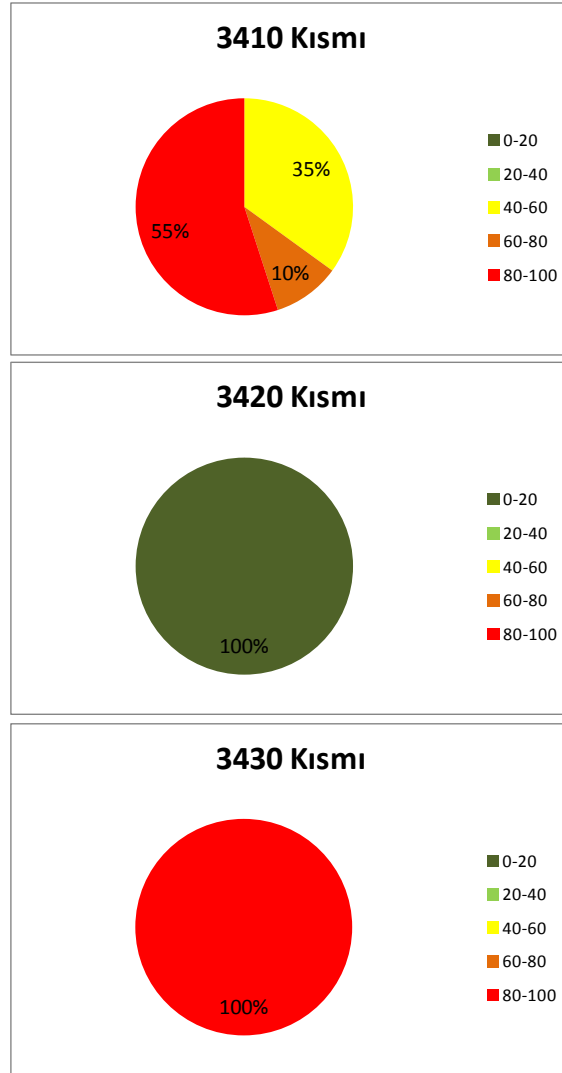
ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.226’de verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanılması gereken kriterler belirlenebilmektedir.

“Zararlı Maddeler (CK-4)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Toz Oranı (CK-41)” ve “Gaz Seviyesi (CK-42)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “Gaz Seviyesi (CK-42)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Toz Oranı (CK-41)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Gaz Seviyesi (CK-42)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Zararlı Maddeler (CK-4)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

“Toz Oranı (CK-41)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Toz Oranı (alveolic/respirable) (CK-411)” ve “Toz Oranı (inhalable) (CK-413)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olduğu belirlenmişti. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “Toz Oranı (alveolic/respirable) (CK-411)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “(CK-413)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Toz Oranı (alveolic/respirable) (CK-411)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Toz Oranı (CK-41)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır. “Gaz Seviyesi (CK-42)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Karbonmonoksit Seviyesi (CK-421)” ve “Karbondioksit Seviyesi (CK-422)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olduğu belirlenmişti. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “Karbonmonoksit Seviyesi (CK-421)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Karbondioksit Seviyesi (CK-422)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile görece yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Karbonmonoksit Seviyesi (CK-421)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Gaz Seviyesi (CK-42)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.226’de görüleceği üzere “Zararlı Maddeler (CK-4)” kriteri açısından yüklenme değerleri incelendiğinde özellikle grup şefliği bazında 3413, 3431 ve 3433 birimlerinde çalışanların “çok yüksek”, 3412 biriminde çalışanların büyük ölçüde “yüksek”, 3411 biriminde çalışanların “normal”, 3421, 3422, 3423 ve 3426

birimlerinde çalışanların ise “çok düşük” yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları görülmektedir. Yine Çizelge 5.226’den de görülebileceği üzere “Zararlı Maddeler (CK-4)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında 3430 kısım müdürlüğünde çalışanların büyük oranda “çok yüksek”, kısmen “yüksek” yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3410 kısım müdürlüğünde ise 3430 kısım müdürlüğündeki kadar olmasa da büyük oranda “yüksek” seviyelerde yüklenme maruziyeti söz konusudur. 3420 kısım müdürlüğündeki yüklenme seviyelerinin ise büyük ölçüde “çok düşük”, yani olumlu olduğu görülmektedir ki bu duruma ilişkin detaylar, “Zararlı Maddeler (CK-4)” kriteri yüklenme değerlerine göre kısım müdürlüğü bazında iş istasyonlarının yüklenme aralıklarına dağılımını gösteren Şekil 5.86’de görülmektedir.

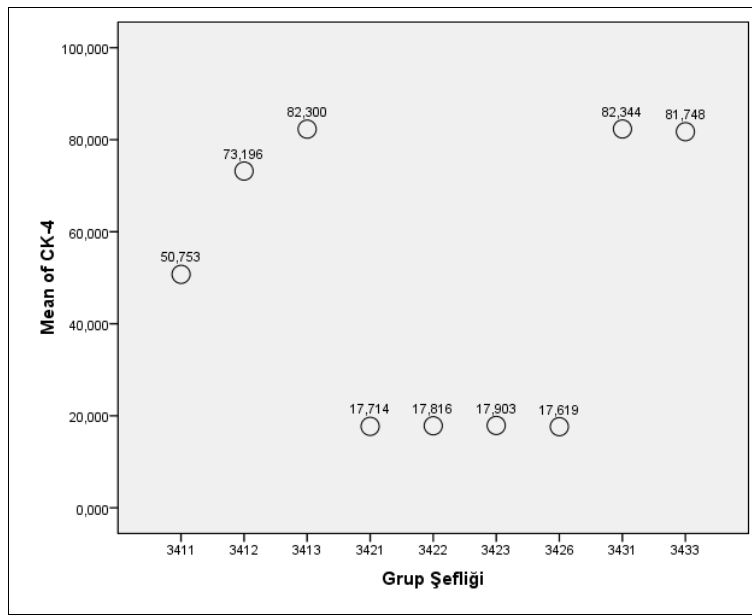


Şekil 5.86 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (CK-4).

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet çizelgeler yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.87'deki grafikte yer almaktadır. Grafiksel gösterim “ Zararlı Maddeler (CK-4)” yüklenmesi kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.87 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-4).

Çizelge 5.227’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de 0’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.227 : GŞ bazında varyans analizi (CK-4).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	40066,293	8	5008,287	177,873	0,000
Gruplar içi	1098,106	39	28,157		
Toplam	41164,399	47			

Çizelge 5.228 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-4).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	50,753	5,019	44,034	54,526
3412	7	73,196	12,718	51,456	82,286
3413	7	82,300	0,036	82,286	82,381
3421	7	17,714	0,000	17,714	17,714
3422	6	17,816	0,237	17,619	18,285
3423	4	17,903	0,466	17,619	18,593
3426	3	17,619	0,000	17,619	17,619
3431	4	82,344	0,074	82,234	82,381
3433	4	81,748	0,470	81,272	82,381
Tüm Sınıflar	48	50,098	29,595	17,619	82,381

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.229’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.229 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-4).

CK-4				
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
TukeyHSD ^a	3426	3	17,61900	
	3421	7	17,71400	
	3422	6	17,81600	
	3423	4	17,90325	
	3411	6		50,75267
	3412	7		73,19571
	3433	4		81,74775
	3413	7		82,29957
	3431	4		82,34425
	Sig.		1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

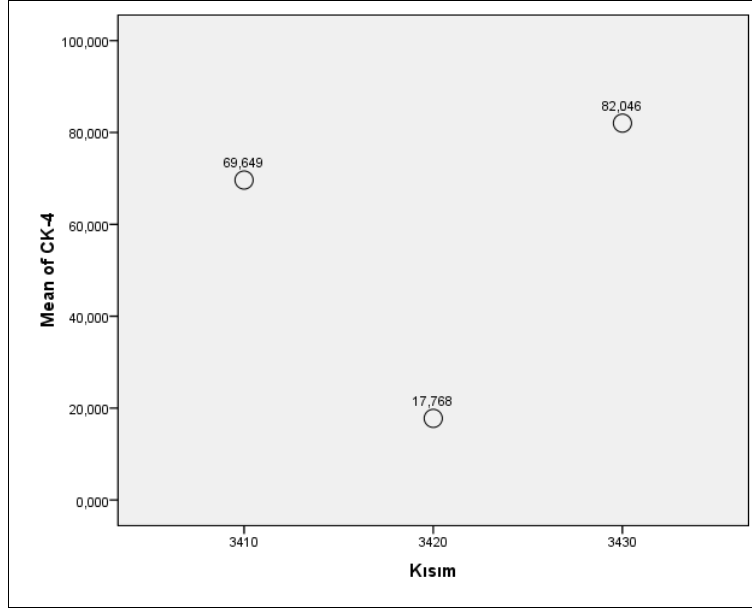
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada üç alt sınıf göze çarpmaktadır. 3431, 3413, 3433 ve 3412 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile üçüncü alt sınıfta yer alırken, 3426, 3421, 3422 ve 3423 grup şeflikleri en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almaktadırlar. 3411 grup şefliği ise ikinci alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmıştır.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.88’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Zararlı Maddeler (CK-4)” kriter

değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor.



Şekil 5.88 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-4).

Çizelge 5.230’da görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.231’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.230 : KM bazında varyans analizi (CK-4).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	36714,666	2	18357,333	185,647	0,000
Gruplar içi	4449,733	45	98,883		
Toplam	41164,399	47			

Çizelge 5.231 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-4).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	69,649	15,299	44,034	82,381
3420	20	17,768	0,241	17,619	18,593
3430	8	82,046	0,445	81,272	82,381
Tüm Sınıflar	48	50,098	29,595	17,619	82,381

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.232’de ise sonuçların post-hoc

(çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.232 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-4).

CK-4						
		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		
				1	2	3
Tukey HSD ^a ..b	3420	20	17,76820			
	3410	20		69,64915		
	3430	8			82,04600	
	Sig.		1,000	1,000	1,000	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa üç alt sınıf olduğu görülecektir. 3430 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalaması ile üçüncü, 3410 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile ilk alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğü ise arada ikinci alt sınıfta konumlanmışlardır.

Birinci seviyeden alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Zararlı Maddeler (CK-4)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki yine regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde Çizelge 5.233’de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %93,2 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Toz Oranı (CK-41)” ve “Gaz Seviyesi (CK-42)” alt kriterler ile “Zararlı Maddeler (CK-4)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılar bakıldığında ise “Gaz Seviyesi (CK-42)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin göreceli olarak daha büyük olduğu görülmektedir ($|\beta_{CK-42}|=0,940 > |\beta_{CK-41}|=0,156$). “Gaz Seviyesi (CK-42)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki de dikkat çekici derecede yüksektir (Pearson korelasyon katsayısı $r=0,95,3$). Bir sonraki adımda kuvvetli pozitif

korelasyon ve ana kriter üzerindeki etkisi sebebiyle “Gaz Seviyesi (CK-42)” öncelikli olmak üzere her iki kriter üzerinde de durulacaktır.

Çizelge 5.233 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-4 / 1. derece).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,932	0,929	7,893

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	38361,099	2	19180,549	307,896	0,000
Hata	2803,300	45	62,296		
Toplam	41164,399	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	6,986	2,215	-	3,153	0,003	-
CK-41	0,341	0,085	0,156	4,006	0,000	0,232
CK-42	0,875	0,036	0,940	24,089	0,000	0,953

İkinci seviyeden alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Çizelge 5.234’da yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değerlerinden hareketle ana kriterin hiyerarşik olarak ikinci seviyede alt kriterlere %80,5 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Toz Oranı (alveolic/respirable) (CK-411)”, “Toz Oranı (inhalable) (CK-413)” ve “Karbonmonoksit Seviyesi (CK-421)” alt kriterleri ile “Zararlı Maddeler (CK-4)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında ise ($|\beta_{CK-421}|=0,487>|\beta_{CK-411}|=0,283>|\beta_{CK-413}|=0,279$) “Karbonmonoksit Seviyesi (CK-421)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin görece daha büyük olduğu görülmektedir. “Karbonmonoksit Seviyesi (CK-421)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki de dikkat çekici derecede yüksektir (Pearson korelasyon katsayısı $r=0,953$).

Çizelge 5.234 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-4 / 2. derece).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,805	0,782	13,822

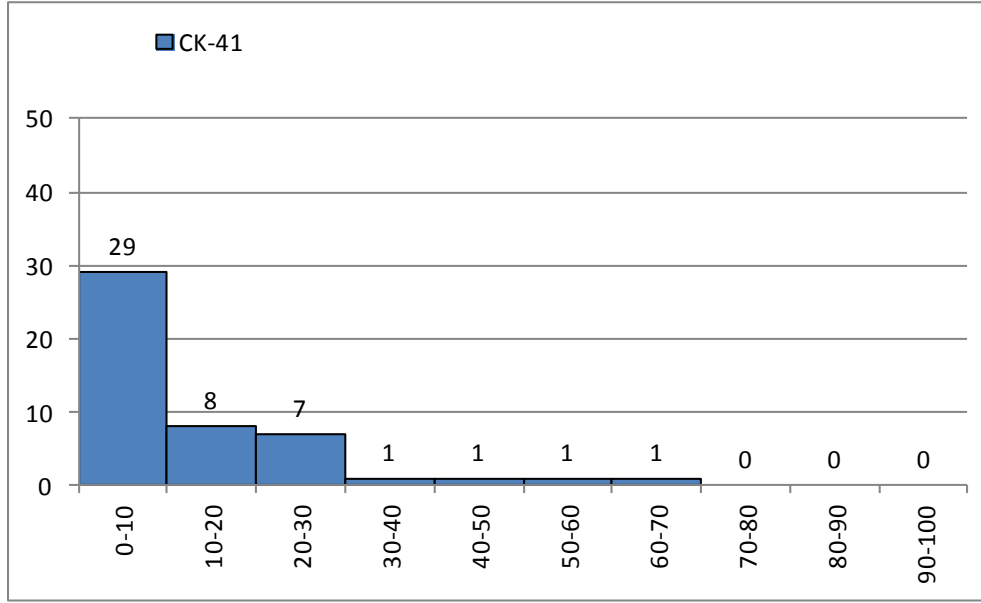
Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	33139,986	5	6627,997	34,691	0,000
Hata	8024,413	42	191,057		
Toplam	41164,399	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	7,216	4,561	-	1,582	0,121	-
CK-411	0,799	0,356	0,283	2,246	0,030	0,165
CK-413	0,728	0,321	0,279	2,269	0,028	0,673
CK-421	1,283	0,384	0,487	3,339	0,002	0,790
CK-422	0,331	0,481	0,086	0,688	0,495	0,774
CK-423	2,315	1,865	0,163	1,242	0,221	0,730

Bir sonraki adımda “Zararlı Maddeler (CK-4)” ile kuvvetli pozitif korelasyon ve etkileşim ilişkisi olan alt kriterlerden birinci hiyerarşik seviyede “Toz Oranı (CK-41)” ve “Gaz Seviyesi (CK-42)”; ikinci hiyerarşik seviyede “Toz Oranı (alveolic/respirable) (CK-411)”, “Toz Oranı (inhalable) (CK-413)” ve “Karbonmonoksit Seviyesi (CK-421)” kriterleri üzerinde durulacaktır.

5.3.5.1 Toz oranı kaynaklı yüklenme sonuçlarının analizi

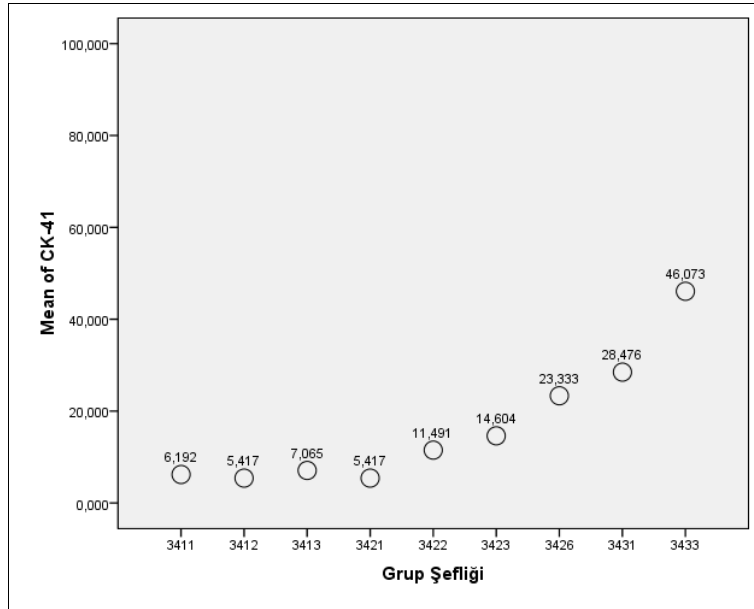
FuzzyErgonomics yazılımı 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Toz Oranı (CK-41)” kriter değerlerinin Şekil 5.89’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 5 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.89 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK-41).

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.90'daki grafikte yer almaktadır. Grafikselsel gösterim “Toz Oranı (CK-41)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.90 : GŞ ortalamalarının grafikselsel gösterimi (CK-41).

Çizelge 5.235’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven

aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.236’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.235 : GŞ bazında varyans analizi (CK-41).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	6983,174	8	872,897	20,527	0,000
Gruplar içi	1658,457	39	42,525		
Toplam	8641,631	47			

Çizelge 5.236 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-41).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	6,192	0,195	5,833	6,333
3412	7	5,417	0,000	5,417	5,417
3413	7	7,065	4,361	5,417	16,954
3421	7	5,417	0,000	5,417	5,417
3422	6	11,491	5,007	5,417	17,459
3423	4	14,604	3,891	9,217	17,459
3426	3	23,333	0,000	23,333	23,333
3431	4	28,476	8,434	23,333	41,016
3433	4	46,073	19,664	23,333	65,916
Tüm Sınıflar	48	13,708	13,560	5,417	65,916

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.237’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.237 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-41).

CK-41					
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Tukey HSD ^a	3412	7	5,41700		
„b	3421	7	5,41700		
	3411	6	6,19200		
	3413	7	7,06514		
	3422	6	11,49133	11,49133	
	3423	4	14,60425	14,60425	
	3426	3		23,33300	
	3431	4		28,47550	
	3433	4			46,07325
	Sig.		,425	,137	,944
					1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

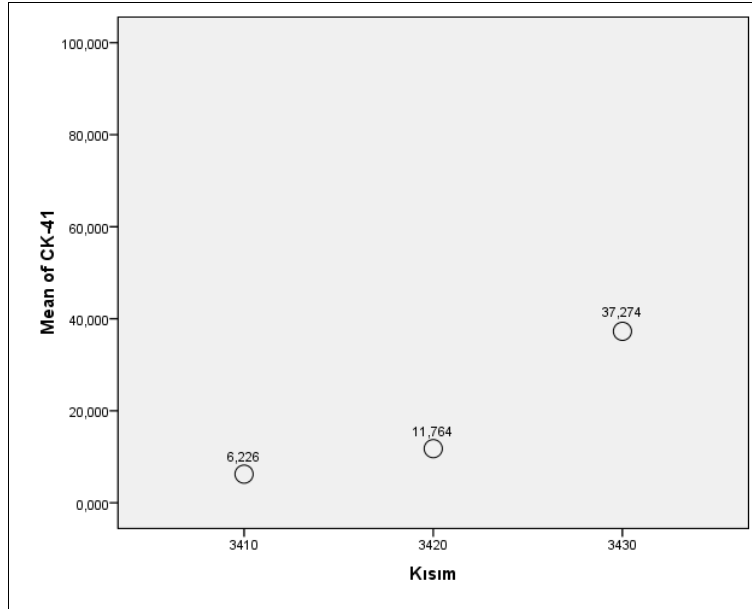
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada 4 alt sınıf göze çarpmaktadır. 3433 grup şefliği en yüksek kriter değerleri ortalaması ile dördüncü alt sınıfta yer alırken,

3412, 3421, 3411 ve 3413 grup şeflikleri en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta yer almaktadır. Diğer grup şeflikleri en az iki alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.91’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Toz Oranı (CK-41)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor.



Şekil 5.91 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-41).

Çizelge 5.238’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.239’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.238 : KM bazında varyans analizi (CK-41).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	5638,065	2	2819,033	42,235	0,000
Gruplar içi	3003,566	45	66,746		
Toplam	8641,631	47			

Çizelge 5.239 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-41).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	6,226	2,553	5,417	16,954
3420	20	11,764	6,833	5,417	23,333
3430	8	37,274	16,873	23,333	65,916
Tüm Sınıflar	48	13,708	13,560	5,417	65,916

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.240'de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.240 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-41).

CK-41				
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a „b	3410	20	6,22635	
	3420	20	11,76415	
	3430	8		37,27438
	Sig.		,198	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa iki alt sınıf olduğu görülecektir. 3430 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta, 3410 ve 3420 kısım müdürlükleri ise sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile ilk alt sınıfta konumlanmışlardır

Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Çizelge 5.241'de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %79,3 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Toz Oranı (thoracic) (CK-412)” alt kriteri hariç (tüm birimler için sabit değerde olduğu için analiz dışı), tüm alt kriterlerin üst kriter ile olan ilişkilerinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı

olduğu görülecektir ($p < 0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında ise ($|\beta_{CK-411}| = 0,937 > |\beta_{CK-413}| = 0,168$), “Toz Oranı (alveolic/respirable) (CK-411)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin diğer kriterlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.241 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-41)

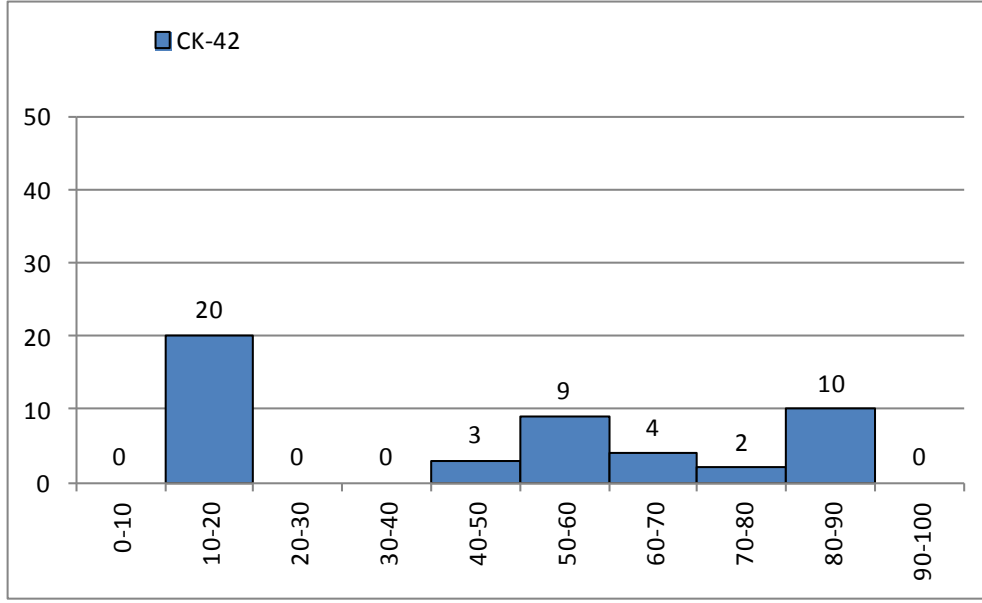
Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,793	0,784	6,298

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	6856,664	2	3428,332	86,430	0,000
Hata	1784,967	45	39,666		
Toplam	8641,631	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	3,799	1,608	-	2,362	0,023	-
CK-411	1,213	0,094	0,937	12,914	0,000	0,877
CK-413	0,200	0,087	0,168	2,313	0,025	-0,167

5.3.5.2 Gaz seviyesi kaynaklı yüklenme sonuçlarının analizi

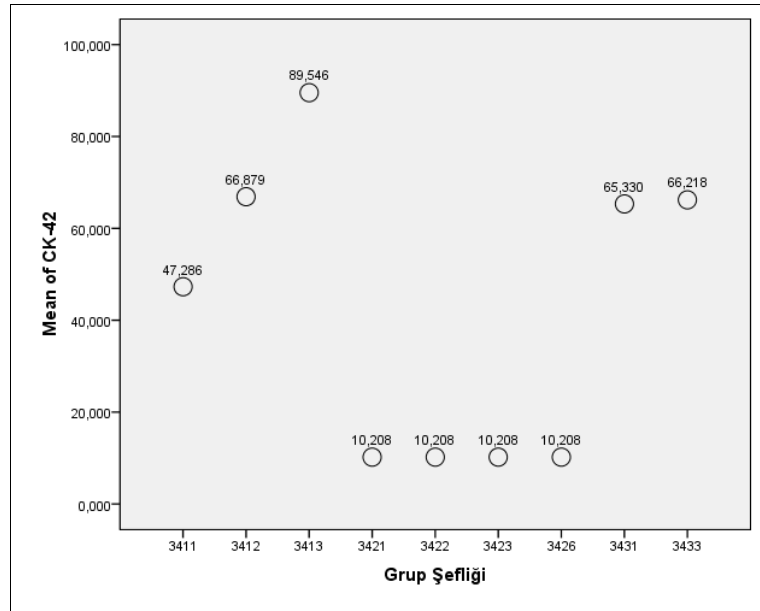
FuzzyErgonomics yazılımı 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Gaz Seviyesi (CK-42)” kriter değerlerinin Şekil 5.92’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 5 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.92 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (CK-42).

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.93'deki grafikte yer almaktadır. Grafikselsel gösterim “Gaz Seviyesi (CK-42)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.93 : GŞ ortalamalarının grafikselsel gösterimi (CK-42).

Çizelge 5.242’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven

aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.243’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.242 : GŞ bazında varyans analizi (CK-42).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	44882,432	8	5610,304	82,040	0,000
Gruplar içi	2666,999	39	68,385		
Toplam	47549,430	47			

Çizelge 5.243 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-42).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	47,286	4,204	41,859	50,000
3412	7	66,879	11,381	54,332	88,932
3413	7	89,546	0,420	88,932	89,792
3421	7	10,208	0,000	10,208	10,208
3422	6	10,208	0,000	10,208	10,208
3423	4	10,208	0,000	10,208	10,208
3426	3	10,208	0,000	10,208	10,208
3431	4	65,330	18,900	48,298	89,792
3433	4	66,218	15,586	56,390	89,373
Tüm Sınıflar	48	43,938	31,807	10,208	89,792

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.244’da ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.244 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-42).

CK-42					
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
TukeyHSD ^a	3421	7	10,20800		
„b	3422	6	10,20800		
	3423	4	10,20800		
	3426	3	10,20800		
	3411	6		47,28633	
	3431	4			65,32950
	3433	4			66,21825
	3412	7			66,87914
	3413	7			89,54629
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

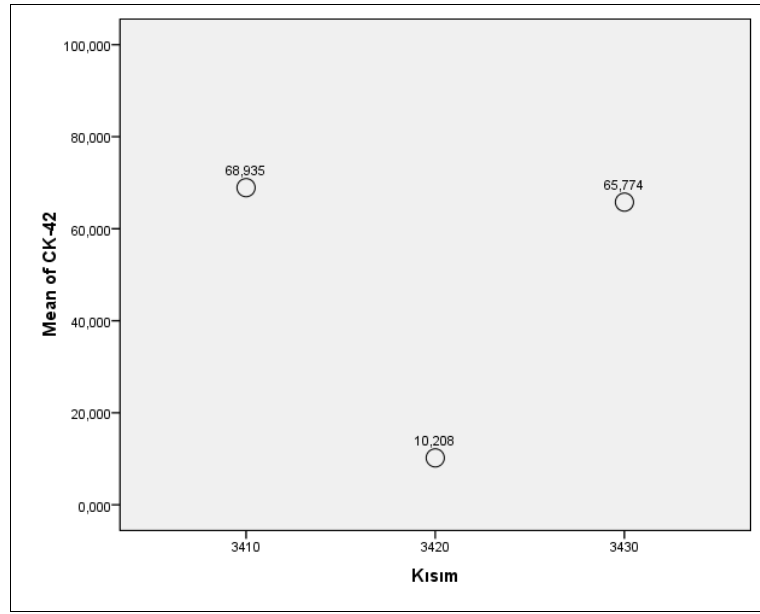
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada dört alt sınıf göze çarpmaktadır. 3413 grup şefliği en yüksek kriter değerleri ortalaması ile dördüncü alt sınıfta yer

alırken, 3421, 3422, 3423 ve 3426 grup şeflikleri sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almaktadır. 3411 grup şefliği ikinci, 3431, 3433 ve 3412 grup şeflikleri ise üçüncü alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.94’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Gaz Seviyesi (CK-42)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülüyor.



Şekil 5.94 : KM değer ortalamalarının grafiksel gösterimi (CK-42).

Çizelge 5.245’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.246’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.245 : KM bazında varyans analizi (CK-42).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	39065,502	2	19532,751	103,605	0,000
Gruplar içi	8483,929	45	188,532		
Toplam	47549,430	47			

Çizelge 5.246 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-42).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	68,935	18,753	41,859	89,792
3420	20	10,208	0,000	10,208	10,208
3430	8	65,774	16,045	48,298	89,792
Tüm Sınıflar	48	43,938	31,807	10,208	89,792

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.247’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.247 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (CK-42).

CK-42				
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a „b	3420	20	10,20800	
	3430	8		65,77388
	3410	20		68,93480
	Sig.		1,000	,824

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa iki alt sınıf olduğu görülecektir. 3410 ve 3430 kısım müdürlükleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile ilk alt sınıfta konumlanmıştır.

Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Çizelge 5.248’da yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %82,7 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Azot-Oksit Seviyesi (CK-423)” alt kriteri hariç ($p=0,230>0,050$), tüm alt kriterlerin üst kriter ile olan ilişkilerinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$).

Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında ise ($|\beta_{CK-421}|=0,656 > |\beta_{CK-422}|=0,233$) “Karbonmonoksit Seviyesi (CK-421)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Karbondioksit Seviyesi (CK-422)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.248 : Regresyon ve korelasyon analizi (CK-42).

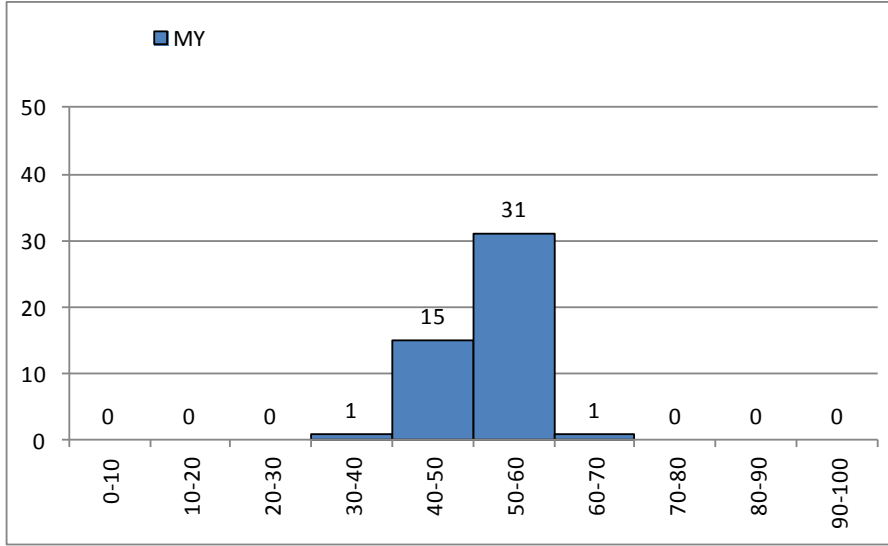
Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,827	0,815	13,682

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	39313,116	3	13104,372	70,006	0,000
Hata	8236,314	44	187,189		
Toplam	47549,430	47			

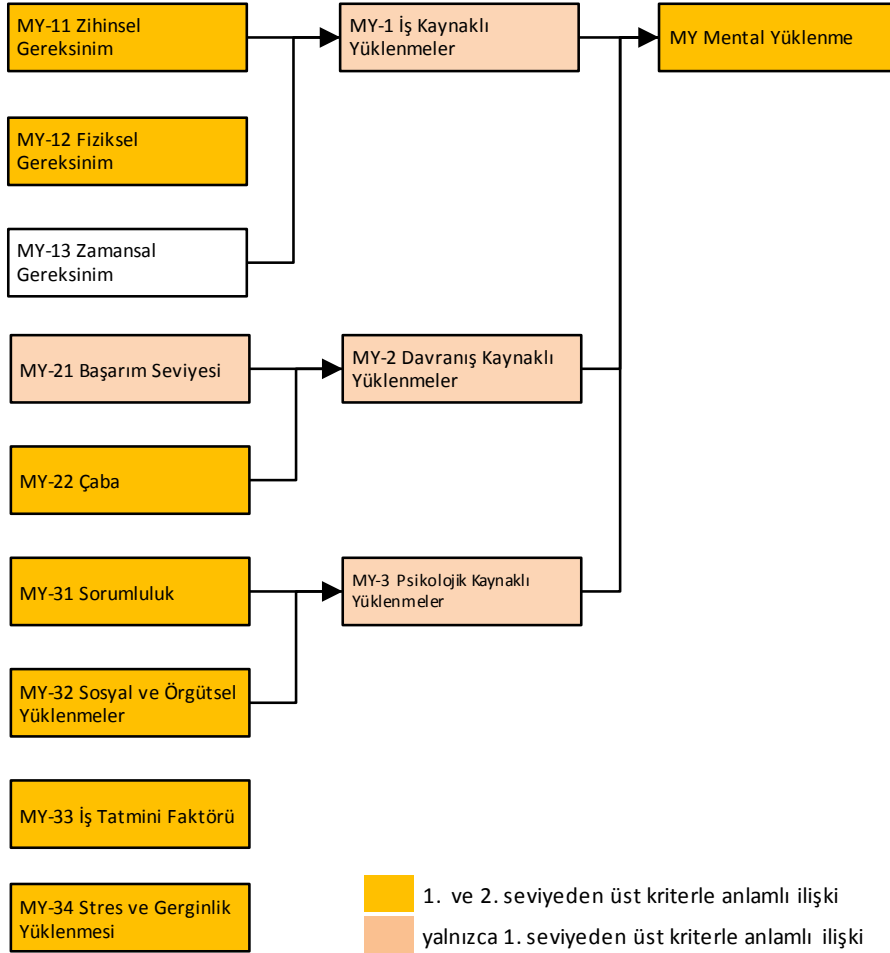
Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	4,738	4,474	-	1,059	0,295	-
CK-421	1,858	0,271	0,656	6,865	0,000	0,886
CK-422	0,966	0,440	0,233	2,196	0,033	0,792
CK-423	1,538	1,263	0,101	1,218	0,230	0,603

5.4 Mental Yüklenme Modeli Uygulama Sonuçları

FuzzyErgonomics yazılımı 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Mental Yüklenme (MY)” kriter değerlerinin Şekil 5.95’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 4 grupta toplandığı görülecektir. Alt ve üst kriterler arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı Şekil 5.96’de gösterilen kriter hiyerarşisinde de ifade edilmeye çalışılmıştır. “Mental Yüklenme (MY)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.1’da gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tabloda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da anlaşılabilmektedir. Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.95 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY).



Şekil 5.96 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (MY).

Çizelge 5.249 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (MY).

050100 0-100 aralığında yüklenme skalası		Mental Yüklenme		İş Kaynaklı Yüklenmeler		Zihinsel Gereksinim		Fiziksel Gereksinim		Zamansal Gereksinim		Davranış Kaynaklı Yüklenmeler		Başarım Seviyesi		Çaba		Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler		Sorumluluk		Sosyal ve Örgütsel Yüklenmeler		İş Tatmini Faktörü		Stres ve Gerginlik Yüklenmesi	
		MY		MY-1		MY-11		MY-12		MY-13		MY-2		MY-21		MY-22		MY-3		MY-31		MY-32		MY-33		MY-34	
		p	-	p	0,000	p	0,000	p	0,001	p	0,212	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,000
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi		Beta	-	Beta	0,742	Beta	0,969	Beta	0,201	Beta	0,072	Beta	0,285	Beta	-0,424	Beta	1,060	Beta	0,823	Beta	0,564	Beta	0,254	Beta	-0,166	Beta	0,510
		Kor.	-	Kor.	0,457	Kor.	0,910	Kor.	-0,006	Kor.	-0,173	Kor.	0,623	Kor.	-0,030	Kor.	0,902	Kor.	0,504	Kor.	0,825	Kor.	0,129	Kor.	-0,122	Kor.	0,900
Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
Grup Seçliği	3411 Parça Üretimi	52,4	5	53,8	1	39,1	1	66,7	7	75,1	7	33,4	3	92,6	6	58,4	5	43,0	9	44,2	6	23,7	9	34,8	1	22,5	9
	3412 Karoseri - Alt Yapı Üretimi	54,4	2	38,6	7	16,0	8	85,0	2	73,6	8	32,0	4	93,8	3	60,2	3	71,7	2	76,9	2	31,7	8	23,3	8	71,4	2
	3413 Karoseri - Üst Yapı Üretimi	54,5	1	38,6	7	17,4	6	85,0	2	75,3	6	31,8	5	93,7	5	59,3	4	72,2	1	77,7	1	33,4	4	23,3	7	71,4	2
	3421 Koltuklandırma	46,1	8	40,5	5	19,6	3	51,4	9	76,7	1	28,2	8	86,0	9	35,1	9	51,8	7	28,6	8	50,1	1	26,4	3	40,0	7
	3422 Montaj I	52,7	4	42,4	3	19,9	2	84,2	4	73,0	9	40,2	1	91,5	7	73,9	2	59,5	6	46,7	5	32,6	7	30,6	2	63,3	5
	3423 Montaj II	50,0	7	38,6	7	17,9	5	66,3	8	76,7	4	39,9	2	94,1	2	76,7	1	61,4	4	50,0	3	32,6	5	23,3	6	67,5	4
	3426 Montaj III	51,6	6	40,5	6	18,1	4	78,3	6	76,7	4	22,3	9	93,8	4	35,6	8	61,4	5	40,7	7	32,6	5	23,3	5	73,3	1
	3431 KTL ve Yapıştırma Merkezi	45,3	9	40,8	4	15,1	9	80,0	5	76,7	1	31,0	6	90,3	8	47,8	7	46,1	8	21,0	9	41,5	3	14,8	9	27,5	8
	3433 Astar ve Son Kat Boya	53,0	3	44,3	2	17,3	7	90,0	1	76,7	3	28,6	7	94,5	1	55,7	6	62,0	3	47,0	4	46,2	2	25,6	4	55,0	6
Kısım Müdürlüğü	3410 Parça ve Karoseri İmalat KM	53,8	1	43,1	1	23,4	1	79,5	2	74,7	3	32,3	2	93,4	1	59,3	1	63,3	1	67,4	1	29,9	3	26,8	1	56,8	2
	3420 Montaj KM	49,7	2	40,7	3	19,1	2	68,3	3	75,6	2	33,3	1	90,4	3	55,2	2	57,5	2	40,1	2	38,7	2	26,6	2	57,5	1
	3430 Boya KM	49,1	3	42,6	2	16,2	3	85,0	1	76,7	1	29,8	3	92,4	2	51,7	3	54,0	3	34,0	3	43,8	1	20,2	3	41,3	3

Üst ve alt kriterler arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde “Mental Yüklenme (MY)” ile bir alt seviyeden hiyerarşik ilişkiye sahip olan “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)”, “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)”, “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” ve ikinci dereceden alt kriterleri olan “Zihinsel Gereksinim (MY-11)”, “Fiziksel Gereksinim (MY-12)”, “Çaba (MY-22)”, “Sorumluluk (MY-31)”, “Sosyal ve Örgütsel Yüklenmeler (MY-32)”, “İş Tatmini Faktörü (MY-33)” ve “Stres ve Gerginlik Yüklenmesi (MY-34)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı ve görece önemli olduğu görülmektedir.

Birinci dereceden alt kriterleri ile ilişkilere bakıldığında “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” ile “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” ve “Fiziksel Gereksinim (MY-12)”, “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” ile “Çaba (MY-22)”, “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” ile “Sorumluluk (MY-31)”, “Sosyal ve Örgütsel Yüklenmeler (MY-32)”, “İş Tatmini Faktörü (MY-33)” ve “Stres ve Gerginlik Yüklenmesi (MY-34)” arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Alt ve üst kriterler arasındaki birinci ve ikinci hiyerarşik seviyede ilişkilerin anlamlılık düzeyleri çerçevesinde “Zamansal Gereksinim (MY-13)” ve “Başarım Seviyesi (MY-21)” dışında kalan tüm kriterlerin analiz sürecine dahil edilmesi, mental yüklenme temelinde birimlerin karşılaştırılması ve alt faktörler arasındaki etkileşimin anlaşılması çerçevesinde önem taşımaktadır.

Alt kriterler ile ilişkilerin anlamlılığı kadar, alt kriterlerin bağlı oldukları üst kriterlere ne düzeyde etkilerinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.1’de verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanması gereken kriterler belirlenebilmektedir.

“Mental Yüklenme (MY)” kriteri ile bir alt seviyede hiyerarşik ilişkiye sahip alt kriterler olan “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)”, “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” ve “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmıştı. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” ve “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” kriterlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir,

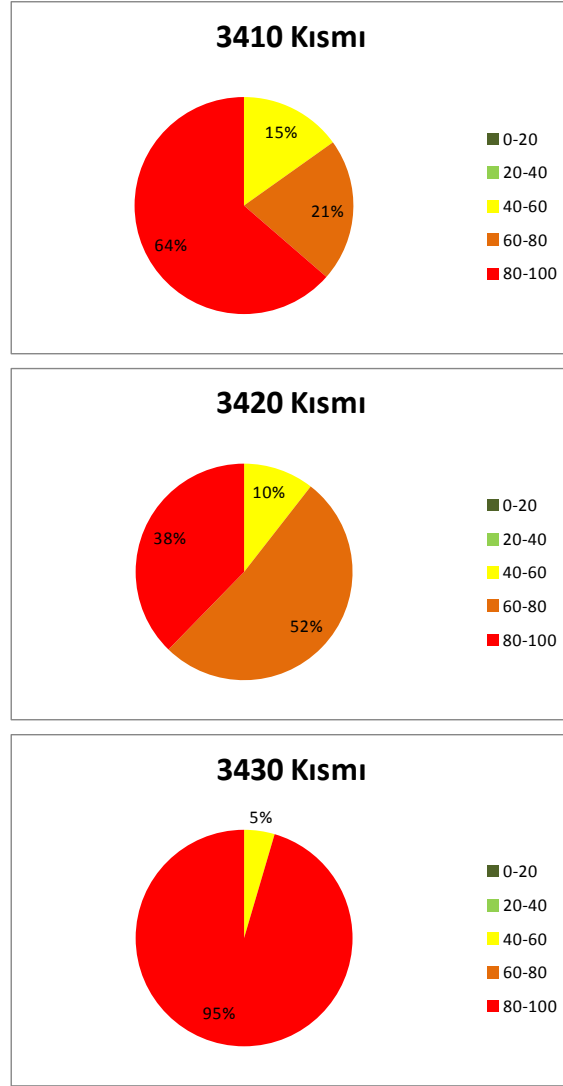
dolayısıyla “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Mental Yüklenme (MY)” kriteri yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

“İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” ve “Fiziksel Gereksinim (MY-12)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olduğu belirlenmişti. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Fiziksel Gereksinim (MY-12)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır. “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Başarım Seviyesi (MY-21)” ve “Çaba (MY-22)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olduğu belirlenmişti. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “Çaba (MY-22)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Başarım Seviyesi (MY-21)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir; ana kriter ile görece yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Çaba (MY-22)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Burada vurgulanması gereken diğer bir husus da “Başarım Seviyesi (MY-21)” ile “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” arasındaki ters orantılı etkileşim ve negatif korelasyondur.

Çizelge 5.1’da görüleceği üzere “Mental Yüklenme (MY)” kriteri açısından yüklenme değerleri incelendiğinde özellikle grup şefliği bazında 3413, 3431 ve 3433 birimlerinde çalışanların “çok yüksek”, 3412 biriminde çalışanların büyük ölçüde “yüksek”, 3411 biriminde çalışanların “normal”, 3421, 3422, 3423 ve 3426 birimlerinde çalışanların ise “çok düşük” yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları görülmektedir.

Yine Çizelge 5.1’den de görülebileceği üzere “Mental Yüklenme (MY)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında 3430 kısım müdürlüğünde çalışanların büyük oranda “çok yüksek”, kısmen “yüksek” yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3410 kısım

müdürlüğünde ise 3430 kısım müdürlüğündeki kadar olmasa da büyük oranda “yüksek” seviyelerde yüklenme maruziyeti söz konusudur. 3420 kısım müdürlüğündeki yüklenme seviyelerinin ise büyük ölçüde “çok düşük”, yani olumlu olduğu görülmektedir ki bu duruma ilişkin detaylar “Mental Yüklenme (MY)” kriteri için kısım müdürlüğü bazında iş istasyonlarının yüklenme aralıklarına dağılımını gösteren Şekil 5.97’de görülmektedir.

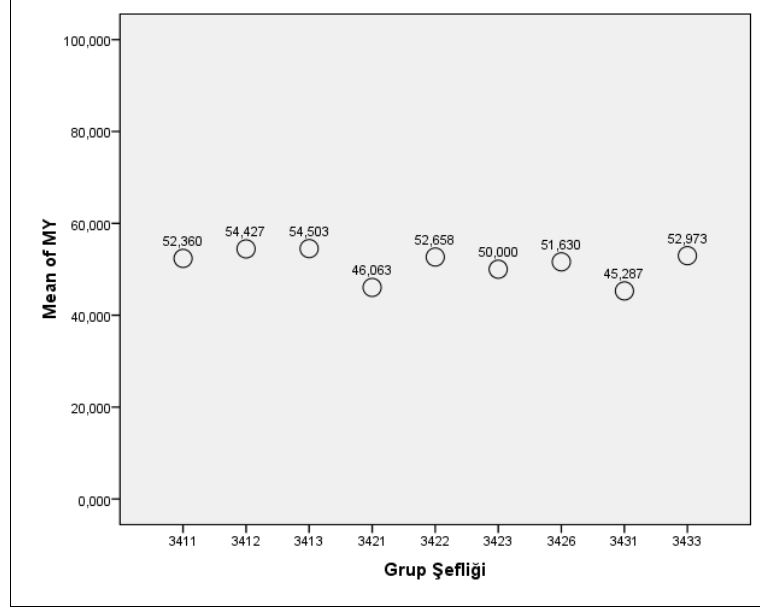


Şekil 5.97 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (MY).

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet çizelgeler yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

5.4.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.98'deki grafikte yer almaktadır. Grafiksel gösterim “Mental Yüklenme (MY)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olmadığını gösteriyor.



Şekil 5.98 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY)

Çizelge 5.250’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,082>0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.251’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.250 : GŞ bazında varyans analizi (MY).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	512,982	8	64,123	1,935	0,082
Gruplar içi	1292,577	39	33,143		
Toplam	1805,559	47			

Çizelge 5.251 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	52,360	10,844	36,950	68,577
3412	7	54,427	0,773	54,110	56,180
3413	7	54,503	1,948	51,026	57,294
3421	7	46,063	7,881	40,222	59,777
3422	6	52,658	4,272	50,000	59,778
3423	4	50,000	0,000	50,000	50,000
3426	3	51,630	2,823	50,000	54,889
3431	4	45,287	6,552	40,785	54,889
3433	4	52,973	4,818	47,309	58,972
Tüm Sınıflar	48	51,312	6,198	36,950	68,577

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.252’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.252 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY).

MY			
Grup Şefliği		N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey HSD ^a „b	3431	4	45,28675
	3421	7	46,06300
	3423	4	50,00000
	3426	3	51,62967
	3411	6	52,36000
	3422	6	52,65767
	3433	4	52,97250
	3412	7	54,42729
	3413	7	54,50343
	Sig.		,263

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

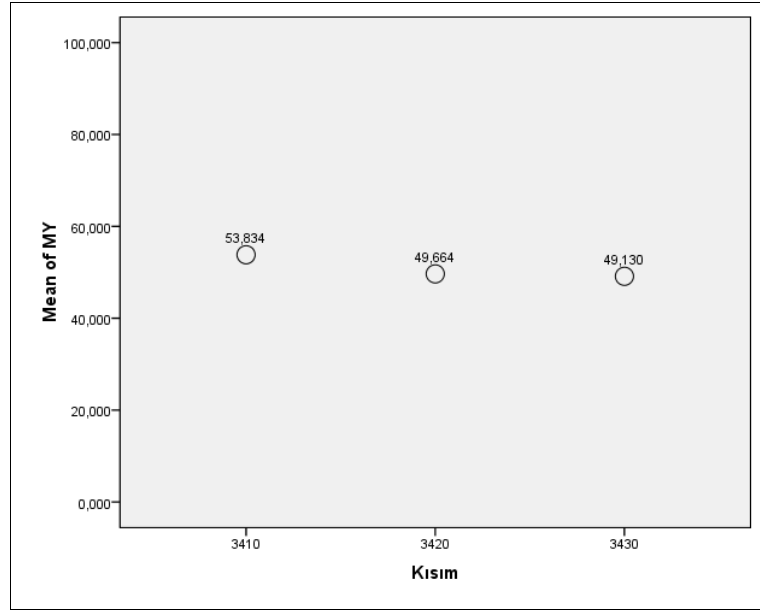
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada tek bir alt sınıf oluşmuştur. 3413 grup şefliği en yüksek, 3431 grup şefliği ise en düşük kriter değerleri ortalamasına sahiptir. Aynı alt sınıfa aidiyet, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri

ortalamları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.4.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.99’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Mental Yüklenme (MY)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve olmadığı görülüyor.



Şekil 5.99 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY).

Çizelge 5.253’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,054 > 0,050$).

Çizelge 5.253 : KM bazında varyans analizi (MY).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	219,618	2	109,809	3,116	0,054
Gruplar içi	1585,941	45	35,243		
Toplam	1805,559	47			

Çizelge 5.254 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	53,834	5,772	36,950	68,577
3420	20	49,664	5,788	40,222	59,778
3430	8	49,130	6,725	40,785	58,972
Tüm Sınıflar	48	51,312	6,198	36,950	68,577

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.255’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.255 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY).

MY			
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey HSD ^a ,b	3430	8	49,12963
	3420	20	49,66380
	3410	20	53,83375
	Sig.		,113

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada tek bir alt sınıf oluşmuştur. 3410 kısım müdürlüğü en yüksek, 3430 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter değerleri ortalamasına sahip kısımlar olurken, 3420 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır. Aynı alt sınıfa aidiyet, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.4.3 Birinci seviyeden alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Mental Yüklenme (MY)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde Çizelge 5.256’de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %92,7 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi

tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde her üç alt kriterin de “Mental Yüklenme (MY)” ile aralarındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülmektedir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında ise ($|\beta_{MY-3}|=0,823>|\beta_{MY-1}|=0,742>|\beta_{MY-2}|=0,285$) özellikle “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” ve “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” kriterlerinin ana kriter üzerindeki etkisinin görece daha yüksek olduğu görülmektedir. Bir sonraki adımda ana kriter ile anlamlı ilişkiler ve ana kriter üzerindeki yüksek etkileri sebebiyle tüm birinci hiyerarşik seviye alt faktörlerinin üzerinde durulması söz konusu olacaktır.

Çizelge 5.256 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY / 1. derece).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,932	0,927	1,671

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	1682,712	3	560,904	200,899	0,000
Hata	122,847	44	2,792		
Toplam	1805,559	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-11,278	2,792	-	-4,039	0,000	-
MY-1	0,715	0,048	0,742	14,944	0,000	0,457
MY-2	0,199	0,031	0,285	6,466	0,000	0,623
MY-3	0,440	0,025	0,823	17,573	0,000	0,504

5.4.4 İkinci seviyeden alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Çizelge 5.257’de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değerlerinden hareketle ana kriterin hiyerarşik olarak ikinci seviyede alt kriterlere %88,5 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Zamansal Gereksinim (MY-13)” ve “Başarım Seviyesi (MY-21)” haricinde diğer tüm alt kriterler ile “Mental Yüklenme (MY)” arasındaki ilişkinin

istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p < 0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında ise ($|\beta_{MY-11}| = 0,786 > |\beta_{MY-34}| = 0,338 > |\beta_{MY-31}| = 0,333 > |\beta_{MY-22}| = 0,282 > |\beta_{MY-12}| = 0,274 > |\beta_{MY-32}| = 0,245 > |\beta_{MY-33}| = 0,236$) özellikle “Zihinsel Gereksinim (MY-11)”, “Stres ve Gerginlik Yüklenmesi (MY-34)” ve “Çaba (MY-22)” kriterlerinin ana kriter üzerindeki etkisinin görece daha yüksek olduğu görülmektedir. “Çaba (MY-22)” ve “Sorumluluk (MY-31)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki de dikkat çekicidir (Pearson korelasyon katsayıları: $r_{MY-22} = \%69,3$, $r_{MY-31} = \%61,3$).

Çizelge 5.257 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY / 2. derece).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,885	0,858	2,337

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	1598,082	9	177,565	32,521	0,000
Hata	207,477	38	5,460		
Toplam	1805,559	47			

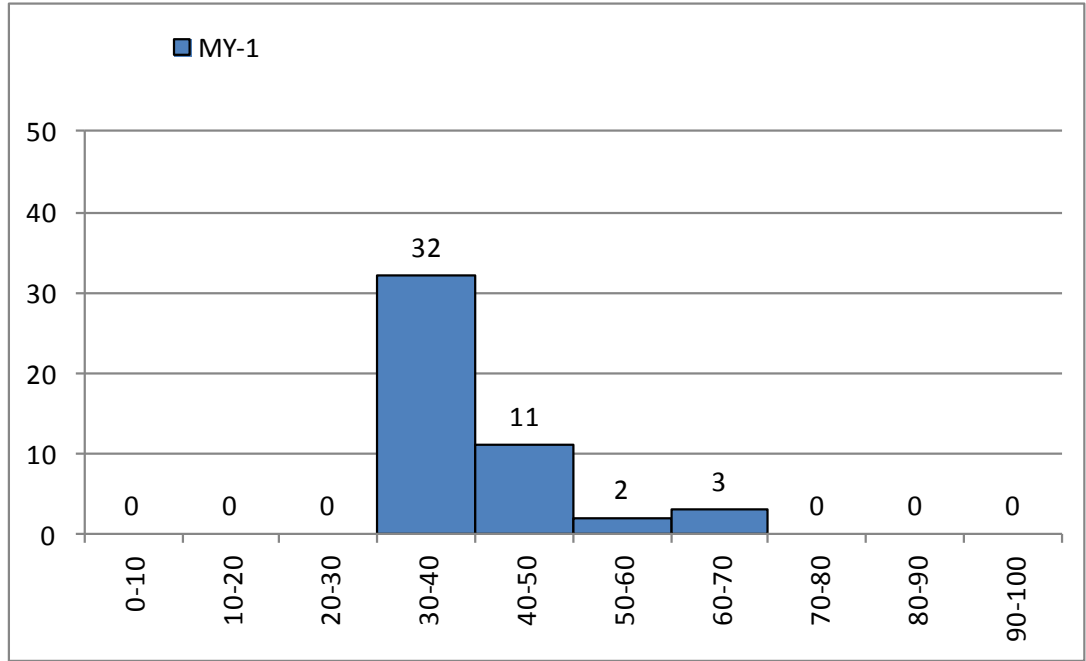
Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	21,120	10,534	-	2,005	0,052	-
MY-11	0,512	0,069	0,786	7,403	0,000	0,435
MY-12	0,115	0,028	0,274	4,043	0,000	0,472
MY-13	0,053	0,090	0,040	0,589	0,560	-0,290
MY-21	-0,097	0,099	-0,074	-0,981	0,333	0,194
MY-22	0,081	0,021	0,282	3,901	0,000	0,693
MY-31	0,096	0,026	0,333	3,644	0,001	0,613
MY-32	0,152	0,038	0,245	3,959	0,000	-0,024
MY-33	-0,180	0,065	-0,236	-2,764	0,009	0,365
MY-34	0,105	0,030	0,338	3,502	0,001	0,389

“Mental Yüklenme (MY)” kriterinin birinci ve ikinci hiyerarşik seviyeden alt kriterleri ile olan ilişkilerinin istatistiksel analizleri incelendiğinde ana kriter ile arasında yüksek anlamlılık ($p < 0,050$) seviyesi ve ana kriter üzerindeki göreceli yüksek etki düzeyleri çerçevesinde “Zihinsel Gereksinim (MY-11)”, “Fiziksel Gereksinim (MY-12)”, “Çaba (MY-22)”, “Sorumluluk (MY-31)”, “Sosyal ve Örgütsel Yüklenmeler (MY-32)”, “İş Tatmini Faktörü (MY-33)” ve “Stres ve

Gerginlik Yüklenmesi (MY-34)” kriterleri öncelikli olarak odaklanılması gereken ikinci hiyerarşik seviye alt kriterler olarak öne çıkmaktadırlar.

5.4.5 İş kaynaklı mental yüklenme faktörü sonuçlarının analizi

48 iş istasyonu için “FuzzyErgonomics” yazılımı koşturulduğunda elde edilen İş Kaynaklı Mental Yüklenme Faktörü değerlerinin Şekil 5.100’de bulunan histogram gösterimlerine bakıldığında değerlerin belirgin şekilde ayrıştığı ve 4 grupta toplandığı görülecektir.

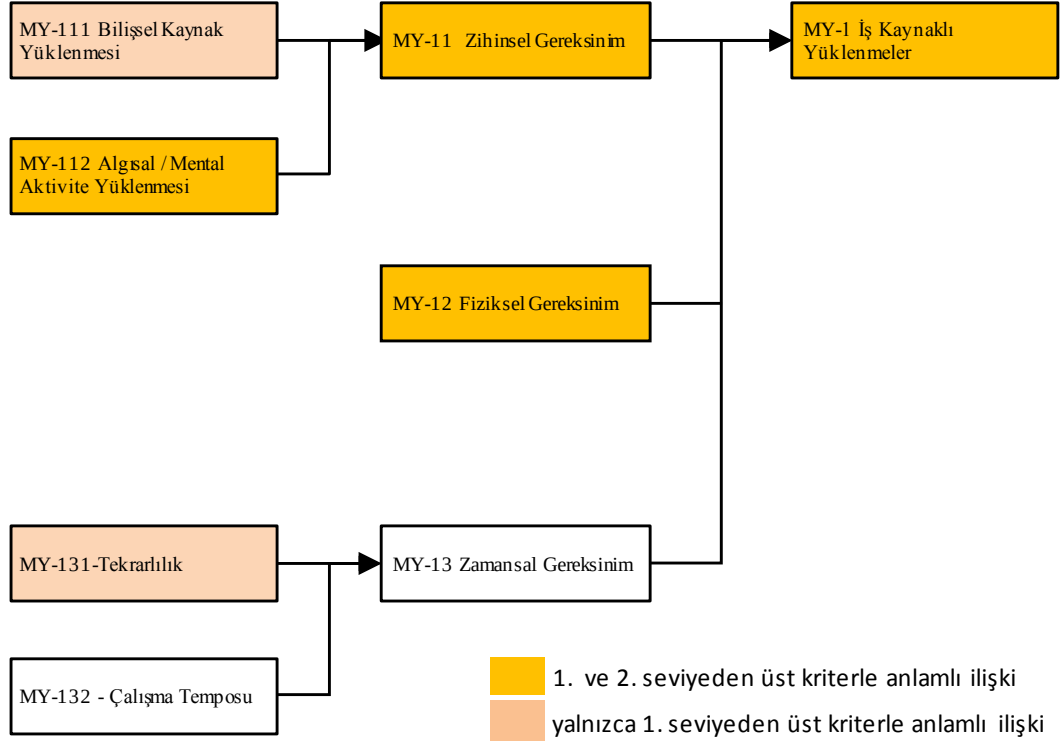


Şekil 5.100 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-1).

“İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.258’de gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tabloda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da anlaşılabilmektedir. Alt ve üst kriterler arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı Şekil 5.101’de gösterilen kriter hiyerarşisinde de ifade edilmeye çalışılmıştır. Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.258 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (MY-1).

050100 0-100 aralığında yüklenme skalası		İş Kaynaklı Yüklenmeler		Zihinsel Gereksinim		Bilişsel Kaynak Yüklenmesi		Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi		Fiziksel Gereksinim		Zamansal Gereksinim		Tekrarlılık		Çalışma Temposu	
		MY-1		MY-11		MY-111		MY-112		MY-12		MY-13		MY-131		MY-132	
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi		p	-	p	0,000	p	0,002	p	0,000	p	0,001	p	0,212	p	0,000	p	0,165
		Beta	-	Beta	0,969	Beta	0,144	Beta	0,868	Beta	0,201	Beta	0,078	Beta	0,521	Beta	0,180
		Kor.	-	Kor.	0,910	Kor.	0,803	Kor.	0,977	Kor.	-0,006	Kor.	-0,173	Kor.	0,500	Kor.	0,120
Grup Şefliği	Kod	Açıklama		Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
	3411	Parça Üretimi		53,8	1	39,1	1	16,8	1	34,6	1	66,7	7	75,1	7	80,8	6
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi		38,6	7	16,0	8	8,9	9	6,2	8	85,0	2	73,6	8	70,0	8
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi		38,6	7	17,4	6	10,5	4	6,2	7	85,0	2	75,3	6	67,9	9
	3421	Koltuklandırma		40,5	5	19,6	3	10,7	3	12,2	2	51,4	9	76,7	1	88,6	2
	3422	Montaj I		42,4	3	19,9	2	13,1	2	10,8	3	84,2	4	73,0	9	80,8	6
	3423	Montaj II		38,6	7	17,9	5	10,2	7	6,6	5	66,3	8	76,7	4	90,0	1
	3426	Montaj III		40,5	6	18,1	4	10,5	5	6,6	4	78,3	6	76,7	4	83,3	5
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi		40,8	4	15,1	9	9,0	8	5,8	9	80,0	5	76,7	1	86,3	3
	3433	Astar ve Son Kat Boya		44,3	2	17,3	7	10,3	6	6,3	6	90,0	1	76,7	3	83,8	4
Kısmı Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM		43,1	1	23,4	1	11,9	1	14,7	1	79,5	2	74,7	3	72,5	3
	3420	Montaj KM		40,7	3	19,1	2	11,3	2	9,8	2	68,3	3	75,6	2	85,8	1
	3430	Boya KM		42,6	2	16,2	3	9,6	3	6,0	3	85,0	1	76,7	1	85,0	2



Şekil 5.101 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (MY-1).

Üst ve alt kriterler arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” ile hiyerarşik seviyede birinci seviyeden alt kriterleri olan “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” ve “Fiziksel Gereksinim (MY-12)” arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı ve görece önemli olduğu görülmektedir. (MY-11) ile birinci dereceden alt kriterleri arasındaki ilişkilere bakıldığında “Bilişsel Kaynak Yüklenmesi (MY-111)” ve “Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” ile olan ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir. Bu tespitler ışığında, veri toplama esnasında yapılan işle ilgili zihinsel ve fiziksel gereksinimlerin üzerinde odaklanılması analiz sürecini daha etkin kılacaktır.

Alt kriterler ile ilişkilerin anlamlılığı kadar, alt kriterlerin bağlı oldukları üst kriterlere ne düzeyde etkilerinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.258’de verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanılması gereken kriterler belirlenebilmektedir.

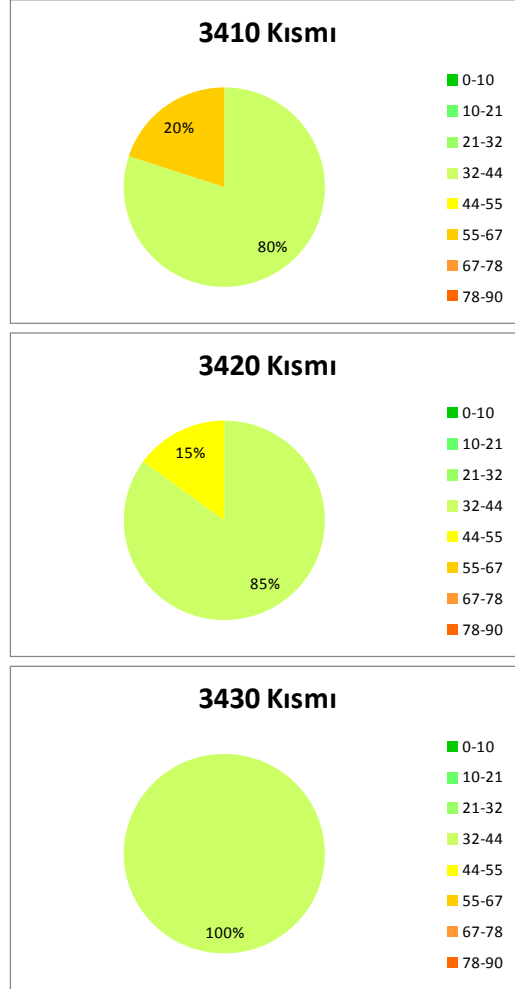
“İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” ve “Fiziksel Gereksinim (MY-12)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmıştı. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriterinin ana

kriter üzerindeki etkisinin “Fiziksel Gereksinim (MY-12)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

“Zihinsel Gereksinim (MY-11)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Bilişsel Kaynak Yüklenmesi (MY-111)” ve “Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olduğu belirlenmişti. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Bilişsel Kaynak Yüklenmesi (MY-111)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır. “Zamansal Gereksinim (MY-13)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Tekrarlılık (MY-131)” ve “Çalışma Temposu (MY-132)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı irdelendiğinde, sadece “Tekrarlılık (MY-131)” ile ana kriter arasındaki ilişkinin anlamlı olduğu görülmektedir. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “Tekrarlılık (MY-131)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Çalışma Temposu (MY-132)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile görece yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Tekrarlılık (MY-131)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Zamansal Gereksinim (MY-13)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.258’de görüleceği üzere “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” kriteri açısından yüklenme değerleri incelendiğinde özellikle grup şefliği bazında 3411 birimi çalışanlarının “normal”, diğer tüm birimlerde çalışanların ise büyük ölçüde “biraz düşük” ve kısmen “normal” yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları görülmektedir. Yine Çizelge 5.258’den de görülebileceği üzere “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında tüm kısımların büyük oranda “biraz düşük”, 3410 kısım müdürlüğünde kısmen “biraz yüksek”, 3420 kısım müdürlüğünde ise kısmen

“normal” yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. Bu duruma ilişkin detaylar “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” kriteri için kısım müdürlüğü bazında iş istasyonlarının yüklenme aralıklarına dağılımını gösteren Şekil 5.102’de görülmektedir.



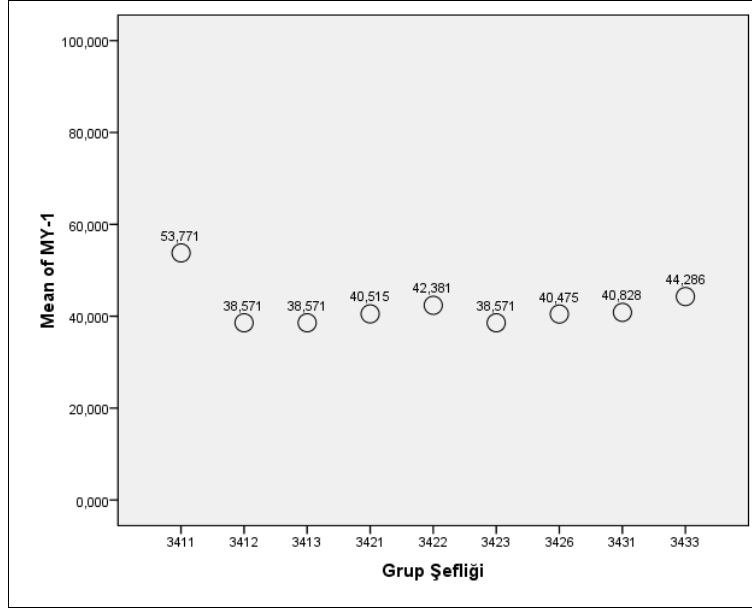
Şekil 5.102 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (MY-1).

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet çizelgeler yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

5.4.5.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.103’deki grafikte yer almaktadır. Grafikselleştirme “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” kriter

değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.103 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-1).

Çizelge 5.259’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.260’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.259 : GŞ bazında varyans analizi (MY-1).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	1092,604	8	136,575	6,243	0,000
Gruplar içi	853,177	39	21,876		
Toplam	1945,781	47			

Çizelge 5.260 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-1).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	53,771	10,149	38,571	61,429
3412	7	38,571	0,000	38,571	38,571
3413	7	38,571	0,000	38,571	38,571
3421	7	40,515	4,281	38,571	50,057
3422	6	42,381	5,902	38,571	50,000
3423	4	38,571	0,000	38,571	38,571
3426	3	40,475	3,300	38,569	44,286
3431	4	40,828	3,280	37,535	44,286
3433	4	44,286	0,000	44,286	44,286
Tüm Sınıflar	48	42,014	6,434	37,535	61,429

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.261’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.261 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-1).

MY-1				
Grup Şefliği		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
TukeyHSD ^a , ^b	3412	7	38,57100	
	3413	7	38,57100	
	3423	4	38,57100	
	3426	3	40,47533	
	3421	7	40,51514	
	3431	4	40,82775	
	3422	6	42,38067	
	3433	4	44,28600	44,28600
	3411	6		53,77067
	Sig.		,612	,066

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

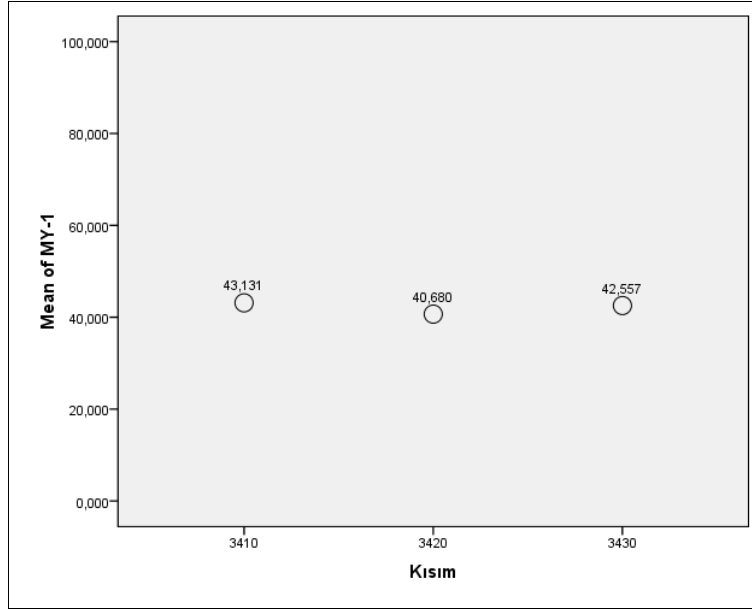
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada iki alt sınıf göze çarpmaktadır. 3411 grup şefliği en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta yer alırken, 3412, 3413, 3423, 3426, 3421, 3431 ve 3422 grup şeflikleri sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almaktadır. 3433 grup şefliği ise her iki alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.4.5.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.104’de yer alan grafiksel gösterimine göre “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olmadığı görülüyor.



Şekil 5.104 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-1).

Çizelge 5.262’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,477>0,050$).

Çizelge 5.262 : KM bazında varyans analizi (MY-1).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	62,898	2	31,449	0,752	0,477
Gruplar içi	1882,882	45	41,842		
Toplam	1945,781	47			

Çizelge 5.263 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-1).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	43,131	8,842	38,571	61,429
3420	20	40,680	4,239	38,569	50,057
3430	8	42,557	2,833	37,535	44,286
Tüm Sınıflar	48	42,014	6,434	37,535	61,429

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.264’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.264 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-1).

MY-1			
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey HSD ^a ,b	3420	20	40,68000
	3430	8	42,55688
	3410	20	43,13090
	Sig.		,594

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, varyans analizi sonuçlarına paralel olarak tek alt sınıf olduğu görülecektir. 3410 kısım müdürlüğü en yüksek, 3420 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter ortalaması değerine sahipken, 3430 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır.

5.4.5.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde Çizelge 5.265’de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %86,8 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” ve “Fiziksel Gereksinim (MY-12)” alt kriterler ile “İş Kaynaklı Yüklenmeler (MY-1)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$). “Zamansal Gereksinim (MY-13)” ile ana kriter arasındaki bağımlılığın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, yani

ilişkinin rastlantısal olduğu görülmektedir ($p_{MY-13}=0,212>0,050$). Standardize edilmiş katsayılar bakıldığında ise ($\beta_{MY-11}=0,969>\beta_{MY-12}=0,201$) “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Fiziksel Gereksinim (MY-12)” kriterine göre daha büyük olduğu görülmektedir. “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki de dikkat çekici derecede yüksektir (Pearson korelasyon katsayısı $r=0,911$). Bir sonraki adımda kuvvetli pozitif korelasyon ve ana kriter üzerindeki etkisi sebebiyle “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriteri üzerinde durulması uygun olacaktır.

Çizelge 5.265 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-1).

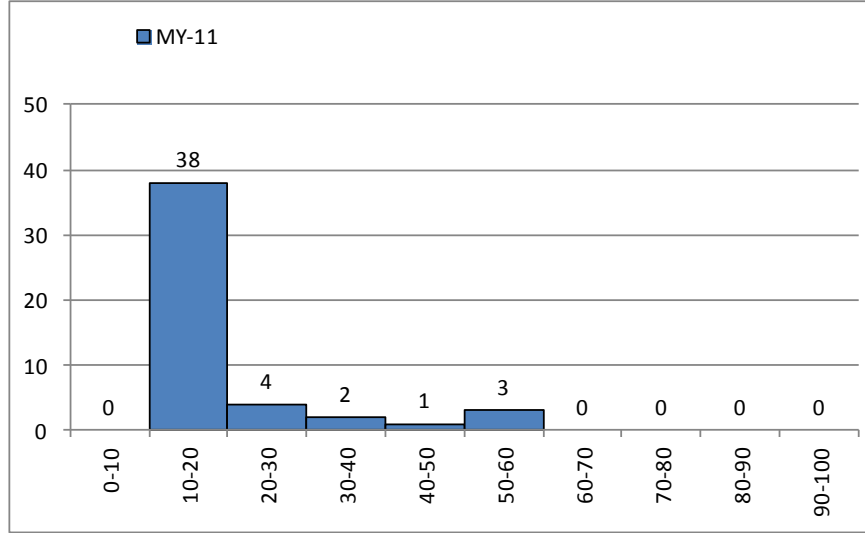
Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,868	0,859	2,416

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	1689,044	3	563,015	96,491	0,000
Hata	256,736	44	5,835		
Toplam	1945,781	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	14,562	6,742	-	2,160	0,036	-
MY-11	0,655	0,039	0,969	16,712	0,000	0,910
MY-12	0,087	0,025	0,201	3,544	0,001	-0,006
MY-13	0,099	0,078	0,072	1,267	0,212	-0,173

5.4.5.4 Zihinsel gereksinim faktörü sonuçlarının analizi

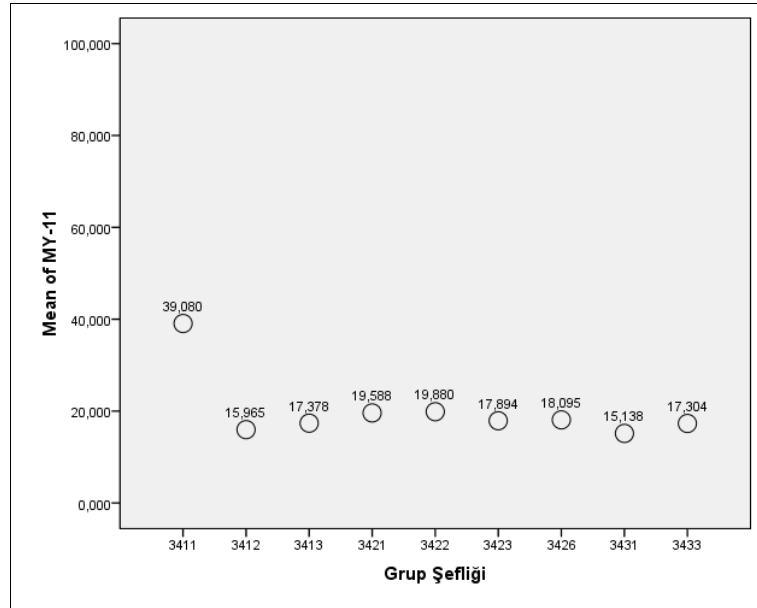
FuzzyErgonomics yazılımı 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriter değerlerinin Şekil 5.105’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 5 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.105 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-11).

Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.106'deki grafikte yer almaktadır. Grafiksel gösterim “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.106 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-11).

Çizelge 5.266'de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000 < 0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.267'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.266 : GŞ bazında varyans analizi (MY-11).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	2491,579	8	311,447	6,898	0,000
Gruplar içi	1760,797	39	45,149		
Toplam	4252,377	47			

Çizelge 5.267 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-11).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	39,080	14,545	16,729	50,000
3412	7	15,965	1,218	15,381	18,709
3413	7	17,378	1,877	15,381	19,508
3421	7	19,588	8,136	15,239	37,032
3422	6	19,880	6,935	16,514	34,000
3423	4	17,894	1,792	16,342	19,446
3426	3	18,095	2,187	16,514	20,590
3431	4	15,138	1,103	14,177	16,513
3433	4	17,304	2,037	16,148	20,344
Tüm Sınıflar	48	20,415	9,512	14,177	50,000

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.268’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.268 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-11).

MY-11				
		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
TukeyHSD ^a „b	Grup Şefliği			
	3431	4	15,13825	
	3412	7	15,96543	
	3433	4	17,30375	
	3413	7	17,37814	
	3423	4	17,89400	
	3426	3	18,09467	
	3421	7	19,58814	
	3422	6	19,87967	
	3411	6		39,07983
Sig.		,970	1,000	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

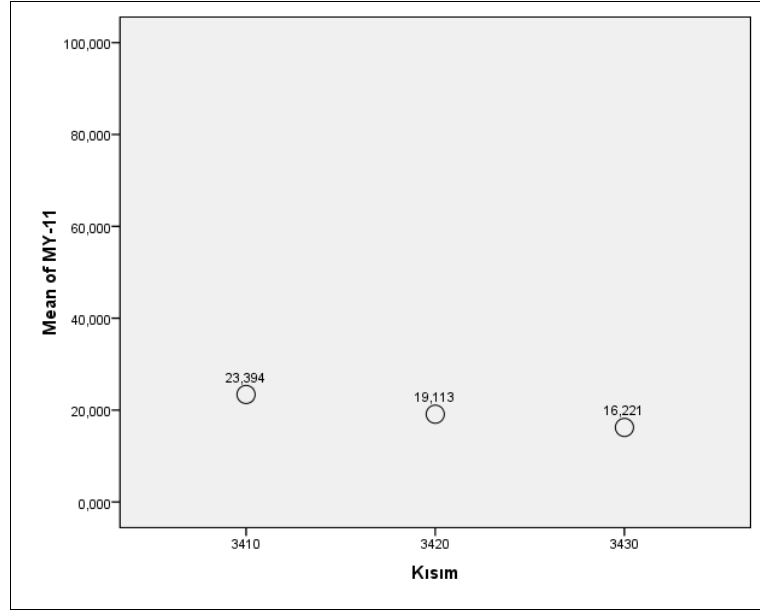
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada iki alt sınıf göze çarpmaktadır. 3411 grup şefliği en yüksek kriter değerleri ortalaması ile ikinci alt sınıfta yer alırken,

3431, 3412, 3433, 3413, 3423, 3426, 3421 ve 3422 grup şeflikleri en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta yer almaktadır.

Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.107’da yer alan grafiksel gösterimine göre “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olmadığı görülüyor.



Şekil 5.107 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-11).

Çizelge 5.269’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,143>0,050$).

Çizelge 5.269 : KM bazında varyans analizi (MY-11).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	352,147	2	176,073	2,031	0,143
Gruplar içi	3900,230	45	86,672		
Toplam	4252,377	47			

Çizelge 5.270 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-11).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	23,394	12,985	15,381	50,000
3420	20	19,113	5,943	15,239	37,032
3430	8	16,221	1,908	14,177	20,344
Tüm Sınıflar	48	20,415	9,512	14,177	50,000

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.271’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.271 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-11).

MY-11			
	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey HSD ^a ,b	3430	8	16,22100
	3420	20	19,11275
	3410	20	23,39420
	Sig.		,126

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, varyans analizi sonuçlarına paralel olarak tek alt sınıf olduğu görülecektir. 3410 kısım müdürlüğü en yüksek, 3430 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter ortalaması değerine sahipken, 3420 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır.

Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

“Zihinsel Gereksinim (MY-11)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.272’de gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tabloda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da

anlaşılabilmektedir. Alt ve üst kriterler arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı Şekil 5.108’de gösterilen kriter hiyerarşisinde de ifade edilmeye çalışılmıştır. Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır.

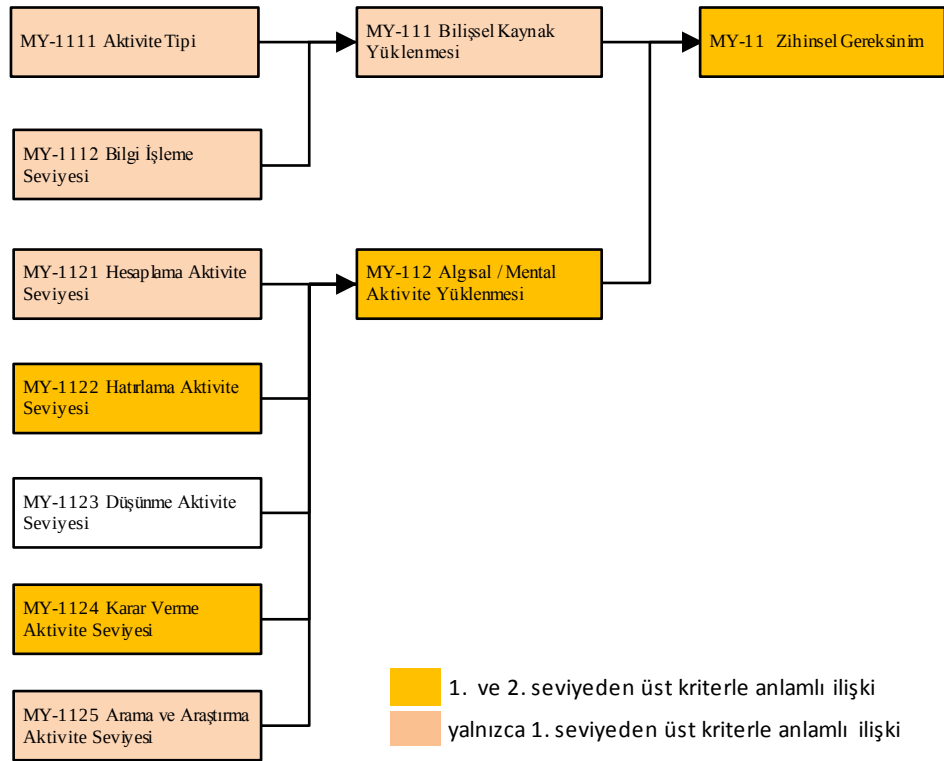
Üst ve alt kriterler arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” ile hiyerarşik seviyede birinci seviyeden alt kriterleri olan “Bilişsel Kaynak Yüklenmesi (MY-111)” ve “Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” ve ikinci dereceden alt kriterleri olan “Hatırlama Aktivite Seviyesi (MY-1122)” ve “Karar Verme Aktivite Seviyesi (MY-1124)” arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı ve görece önemli olduğu görülmektedir.

“Bilişsel Kaynak Yüklenmesi (MY-111)” ile birinci dereceden alt kriterleri arasındaki ilişkilere bakıldığında “Aktivite Tipi (MY-1111)” ve “Bilgi İşleme Seviyesi (MY-1112)” ile olan ilişkilerinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir. “Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” ile birinci dereceden alt kriterleri arasındaki ilişkilere bakıldığında ise “Düşünme Aktivite Seviyesi (MY-1123)” hariç diğer alt kriterleri olan “Hesaplama Aktivite Seviyesi (MY-1121)”, “Hatırlama Aktivite Seviyesi (MY-1122)”, “Karar Verme Aktivite Seviyesi (MY-1124)” ve “Arama ve Araştırma Aktivite Seviyesi (MY-1125)” ile olan ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Bu tespitler ışığında, veri toplama esnasında yapılan işlerin hesaplama, hatırlama, karar verme, arama ve araştırma aktivite seviyelerinin tespiti üzerine odaklanılması, analiz sürecini daha etkin kılacaktır.

Çizelge 5.272 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (MY-11).

050100 0-100 aralığında yüklenme skalası		Zihinsel Gereksinim		Bilişsel Kaynak Yüklenmesi		Aktivite Tipi		Bilgi İşleme Seviyesi		Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi		Hesaplama Aktivite Seviyesi		Hırlama Aktivite Seviyesi		Düşünme Aktivite Seviyesi		Karar Verme Aktivite Seviyesi		Arama ve Araştırma Aktivite Seviyesi	
		MY-11		MY-111		MY-1111		MY-1112		MY-112		MY-1121		MY-1122		MY-1123		MY-1124		MY-1125	
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi		p	-	p	0,002	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,021	p	0,125	p	0,004	p	0,058
		Beta	-	Beta	0,144	Beta	0,433	Beta	0,601	Beta	0,868	Beta	0,610	Beta	-0,192	Beta	-0,233	Beta	0,456	Beta	0,291
		Kor.	-	Kor.	0,803	Kor.	0,539	Kor.	0,677	Kor.	0,977	Kor.	0,921	Kor.	0,656	Kor.	0,818	Kor.	0,864	Kor.	0,890
Grup Şefliği	Kod	Açıklama		Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
	3411	Parça Üretimi		39,1	1	16,8	1	32,6	1	8,9	2	34,6	1	42,5	1	21,5	1	26,8	1	28,3	1
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi		16,0	8	8,9	9	31,3	5	6,1	8	6,2	8	12,9	6	35,1	3	9,1	7	14,0	8
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi		17,4	6	10,5	4	31,9	3	6,2	7	6,2	7	12,9	6	35,9	2	9,9	6	14,1	7
	3421	Koltuklandırma		19,6	3	10,7	3	12,5	8	6,4	5	12,2	2	15,7	5	19,3	8	7,7	8	15,4	6
	3422	Montaj I		19,9	2	13,1	2	29,0	6	8,9	1	10,8	3	18,0	2	29,2	4	16,3	2	21,3	2
	3423	Montaj II		17,9	5	10,2	7	32,1	2	6,0	9	6,6	5	17,0	3	23,5	6	13,5	4	17,5	3
	3426	Montaj III		18,1	4	10,5	5	31,5	4	6,4	6	6,6	4	16,7	4	24,0	5	14,0	3	16,0	4
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi		15,1	9	9,0	8	6,4	9	6,4	4	5,8	9	8,3	9	10,8	9	7,0	9	9,5	9
	3433	Astar ve Son Kat Boya		17,3	7	10,3	6	13,0	7	6,5	3	6,3	6	12,0	8	21,3	7	12,5	5	15,8	5
Kısım Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM		23,4	1	11,9	1	31,9	1	7,0	2	14,7	1	21,8	1	37,6	1	13,1	1	17,9	1
	3420	Montaj KM		19,1	2	11,3	2	24,2	2	7,1	1	9,8	2	16,8	2	23,8	2	12,4	2	17,7	2
	3430	Boya KM		16,2	3	9,6	3	9,7	3	6,5	3	6,0	3	10,1	3	16,0	3	9,8	3	12,6	3



Şekil 5.108 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (MY-11).

Alt kriterler ile ilişkilerin anlamlılığı kadar, alt kriterlerin bağlı oldukları üst kriterlere ne düzeyde etkilerinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.272’de verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanılması gereken kriterler belirlenebilmektedir.

“Zihinsel Gereksinim (MY-11)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Bilişsel Kaynak Yüklenmesi (MY-111)” ve “Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmıştı. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Bilişsel Kaynak Yüklenmesi (MY-111)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

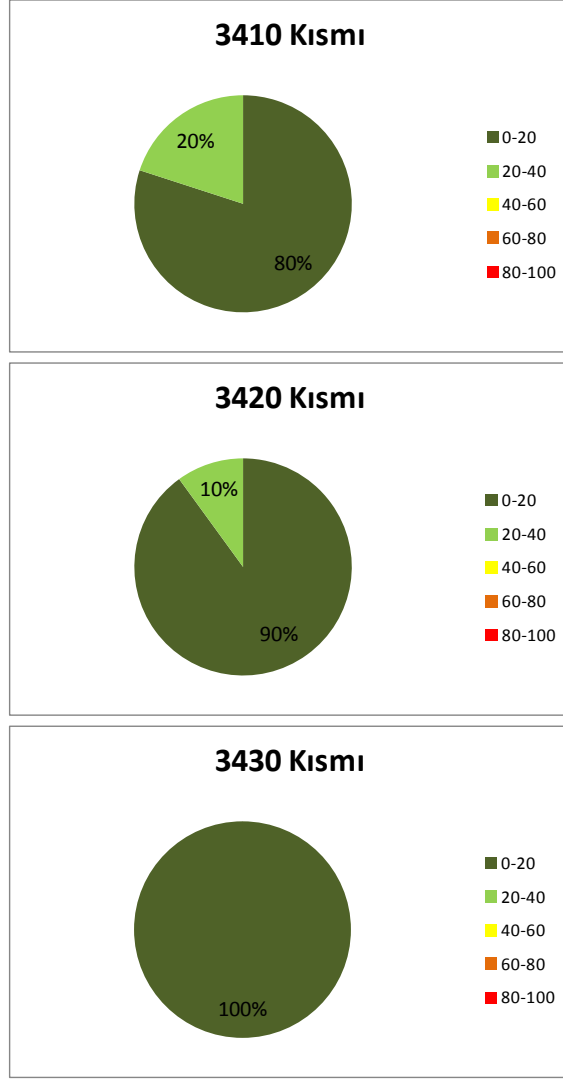
“Bilişsel Kaynak Yüklenmesi (MY-111)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olduğu

belirlenmişti. Regresyon katsayıları incelendiğinde “Aktivite Tipi (MY-111)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Bilgi İşleme Seviyesi (MY-112)” kriterine göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla “Bilgi İşleme Seviyesi (MY-112)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Bilişsel Kaynak Yüklenmesi (MY-111)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

“Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişkilerin “Düşünme Aktivite Seviyesi (MY-1123)” hariç istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olduğu belirlenmişti. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “Hesaplama Aktivite Seviyesi (MY-1121)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Karar Verme Aktivite Seviyesi (MY-1124)” kriterine göre az da olsa daha yüksek, “Düşünme Aktivite Seviyesi (MY-1123)” kriterine göre ise oldukça yüksek olduğu görülmektedir ki, ana kriter ile görece yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Hesaplama Aktivite Seviyesi (MY-1121)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Algısal/Mental Aktivite Yüklenmesi (MY-112)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.272’de görüleceği üzere “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriteri açısından yüklenme değerleri incelendiğinde özellikle grup şefliği bazında 3411 biriminin “biraz düşük”, diğer birimlerin ise “düşük” olarak tanımlanmış yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları görülmektedir. Grup şefliği bazında kriter değerleri ortalamalarına ilişkin varyans analizi sonuçlarına bakıldığında ise görsel tespiti destekler nitelikte grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülmektedir. İkili karşılaştırma sonuçlarına göre ise iki alt sınıf oluştuğu ve 3411 grup şefliğinin daha yüksek ortalama ile tek başına ikinci alt sınıfta yer aldığı tespit edilmiştir. Yine Çizelge 5.272’den de görülebileceği üzere “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında kısım müdürlüğü bazında 3410 kısım müdürlüğünde çalışanların büyük oranda “düşük”, kısmen “biraz düşük” yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3420 kısım müdürlüğünde ise 3410 kısım müdürlüğündeki kadar olmasa “düşük” seviyelerde yüklenme maruziyeti söz konusudur. 3430 kısım müdürlüğündeki yüklenme seviyelerinin ise büyük ölçüde “düşük” olduğu görülmektedir ki bu duruma ilişkin detaylar “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriteri için kısım müdürlüğü

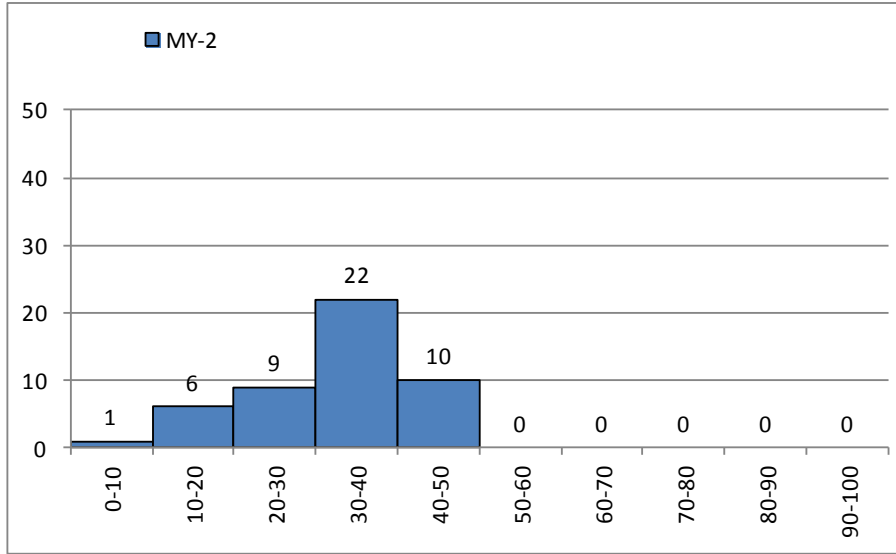
bazında iş istasyonlarının yüklenme aralıklarına dağılımını gösteren Şekil 5.109’de görülmektedir. Kısım müdürlüğü bazında “Zihinsel Gereksinim (MY-11)” kriter değerleri ortalamalarına ilişkin varyans analizi sonuçlarına bakıldığında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.109 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (MY-11).

5.4.6 Davranış kaynaklı yüklenme faktörü sonuçlarının analizi

FuzzyErgonomics yazılımı 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” kriter değerlerinin Şekil 5.110’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 4 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.110 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-2).

“Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.273’de gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tabloda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da anlaşılabilmektedir. Alt ve üst kriterler arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı Şekil 5.111’de gösterilen kriter hiyerarşisinde de ifade edilmeye çalışılmıştır. Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır.

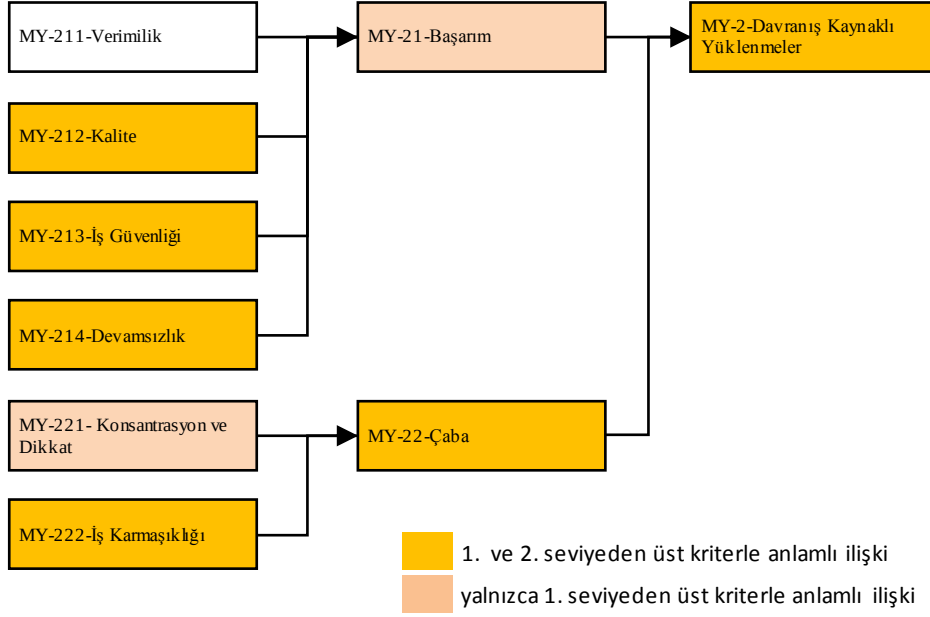
Çizelge 5.273 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (MY-2).

050100

0-100 aralığında yüklenme skalası

		Davranış Kaynaklı Yüklenmeler		Başarımlar Seviyesi		Verimlilik Seviyesi		Kalite Seviyesi		İş Güvenliği Seviyesi		Devamsızlık Seviyesi		Çaba		Konsantrasyon ve Dikkat		İş Karmaşıklığı	
		MY-2		MY-21		MY-211		MY-212		MY-213		MY-214		MY-22		MY-221		MY-222	
Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi		p	-	p	0,000	p	-	p	0,001	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,000
		Beta	-	Beta	-0,424	Beta	-	Beta	-0,436	Beta	1,022	Beta	-0,390	Beta	1,060	Beta	0,458	Beta	0,694
		Kor.	-	Kor.	-0,030	Kor.	-	Kor.	0,335	Kor.	0,709	Kor.	-0,307	Kor.	0,902	Kor.	0,441	Kor.	0,683

Grup Şefliği	Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
	3411	Parça Üretimi	33,4	3	92,6	6	100,0	1	95,0	8	41,7	7	5,0	9	58,4	5	70,0	7	57,5	1
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi	32,0	4	93,8	3	100,0	1	100,0	1	67,1	2	15,3	3	60,2	3	82,9	2	30,0	6
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi	31,8	5	93,7	5	100,0	1	100,0	1	67,1	1	15,6	2	59,3	4	82,6	3	30,0	6
	3421	Koltuklandırma	28,2	8	86,0	9	100,0	1	95,0	8	34,3	9	17,9	1	35,1	9	69,3	8	32,9	5
	3422	Montaj I	40,2	1	91,5	7	100,0	1	100,0	1	56,7	5	7,0	5	73,9	2	81,7	4	38,3	3
	3423	Montaj II	39,9	2	94,1	2	100,0	1	100,0	1	62,5	4	7,0	5	76,7	1	80,0	5	43,8	2
	3426	Montaj III	22,3	9	93,8	4	100,0	1	100,0	1	66,7	3	7,0	5	35,6	8	83,3	1	20,0	9
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi	31,0	6	90,3	8	100,0	1	97,5	7	38,8	8	9,3	4	47,8	7	53,8	9	35,0	4
	3433	Astar ve Son Kat Boya	28,6	7	94,5	1	100,0	1	100,0	1	48,8	6	6,0	8	55,7	6	78,8	6	30,0	6
Kısım Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM	32,3	2	93,4	1	100,0	1	98,5	2	59,5	1	12,3	1	59,3	1	78,9	1	38,3	1
	3420	Montaj KM	33,3	1	90,4	3	100,0	1	98,3	3	51,5	2	10,8	2	55,2	2	77,3	2	34,8	2
	3430	Boya KM	29,8	3	92,4	2	100,0	1	98,8	1	43,8	3	7,6	3	51,7	3	66,3	3	32,5	3



Şekil 5.111 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (MY-2).

Üst ve alt kriterler arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” ile hiyerarşik seviyede birinci seviyeden alt kriterleri olan “Başarım Seviyesi (MY-21)”, “Çaba (MY-22)” ve ikinci dereceden alt kriterleri olan “Kalite Seviyesi (MY-212)”, “İş Güvenliği Seviyesi (MY-213)”, “Devamsızlık Seviyesi (MY-214)” ve “İş Karmaşıklığı (MY-222)” arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı ve görece önemli olduğu görülmektedir.

(MY-21) ile birinci dereceden alt kriterleri arasındaki ilişkilere bakıldığında “Kalite Seviyesi (MY-212)”, “İş Güvenliği Seviyesi (MY-213)” ve “Devamsızlık Seviyesi (MY-214)” ile olan ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir. “Çaba (MY-22)” ile birinci dereceden alt kriterleri arasındaki ilişkilere bakıldığında ise “Konsantrasyon ve Dikkat (MY-221)” ve “İş Karmaşıklığı (MY-222)” ile olan ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Bu tespitler ışığında veri toplama esnasında Kalite, İş Sağlığı ve Güvenliği, Devamsızlık ölçütlerine göre sergilenen başarımla iş karmaşıklığından kaynaklanan çaba gereksiniminin ölçülmesi üzerine odaklanılması analiz sürecini daha etkin kılacaktır.

Alt kriterler ile ilişkilerin anlamlılığı kadar, alt kriterlerin bağlı oldukları üst kriterlere ne düzeyde etkilerinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.273’de verilen regresyon ve korelasyon

analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanılması gereken kriterler belirlenebilmektedir.

“Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Başarım Seviyesi (MY-21)” ve “Çaba (MY-22)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmıştı. Standardize edilmiş regresyon katsayılarına bakıldığında özellikle “Çaba (MY-22)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Başarım Seviyesi (MY-21)” kriterine göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “Çaba (MY-22)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır. “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” ve “Başarım Seviyesi (MY-21)” arasındaki negatif korelasyon ve “Başarım Seviyesi (MY-21)” kriterine ait standardize edilmiş negatif regresyon katsayısı başarım seviyesinin davranışsal yüklenmeleri azaltıcı etkisini ortaya koymaktadır.

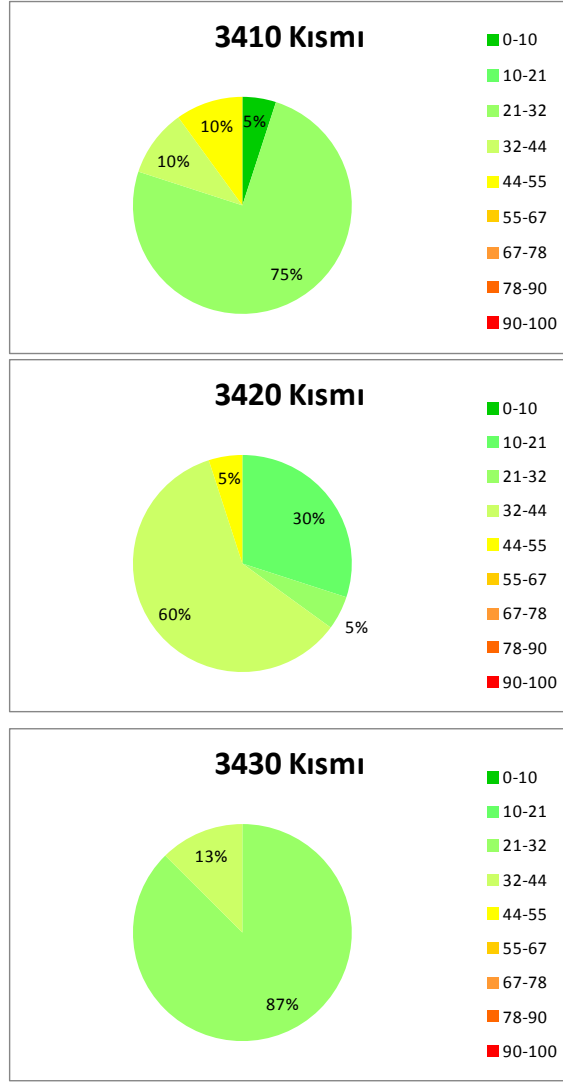
“Başarım Seviyesi (MY-21)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Kalite Seviyesi (MY-212)”, “İş Güvenliği Seviyesi (MY-213)” ve “Devamsızlık Seviyesi (MY-214)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olduğu belirlenmişti. Standardize edilmiş Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “İş Güvenliği Seviyesi (MY-213)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Kalite Seviyesi (MY-212)” ve “Devamsızlık Seviyesi (MY-214)” kriterlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir; ana kriter ile görece yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “İş Güvenliği Seviyesi (MY-213)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Başarım Seviyesi (MY-21)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır. “Devamsızlık Seviyesi (MY-214)” ve “Başarım Seviyesi (MY-21)” arasındaki negatif korelasyon ve “Devamsızlık Seviyesi (MY-214)” kriterine ait standardize edilmiş negatif regresyon katsayısı da başarım faktörü ve devamsızlık kaynaklı yüklenme arasındaki negatif etkileşimi ve ters orantıyı vurgulamaktadır.

“Çaba (MY-22)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden alt kriterleri olan “Konsantrasyon ve Dikkat (MY-221)” ve “İş Karmaşıklığı (MY-222)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olduğu belirlenmişti. Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “İş Karmaşıklığı (MY-222)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin “Konsantrasyon ve Dikkat (MY-221)”

kriterine göre daha yüksek olduğu gör÷lmektedir, ana kriter ile görece yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “İş Karmaşıklığı (MY-222)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Çaba (MY-22)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.273’de gör÷leceği üzere “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” kriteri açısından yüklenme değeri incelendiğinde özellikle grup şefliği bazında 3422 ve 3423 birimlerinde çalışanların kısmen “normal” ve büyük ölçüde “biraz düşük”, diğer birimlerinde çalışanların ise büyük ölçüde “çok düşük” ve kısmen “düşük” yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları gör÷lmektedir.

Yine Çizelge 5.273’den de gör÷lebileceği üzere “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında tüm kısımların büyük oranda “düşük” ve “biraz düşük” yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları gör÷lmektedir. Bu duruma ilişkin detaylar “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” kriteri için kısım müdürlüğü bazında iş istasyonlarının yüklenme aralıklarına dağılımını gösteren Şekil 5.112’de gör÷lmektedir.

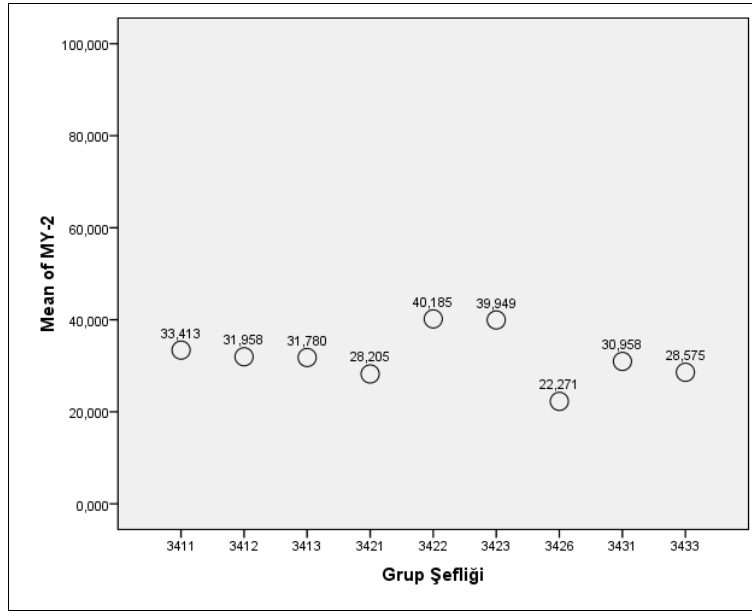


Şekil 5.112 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (MY-2).

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet çizelgeler yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

5.4.6.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.113’deki grafikte yer almaktadır. Grafiksel gösterim “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık olmadığını gösteriyor.



Şekil 5.113 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-2).

Çizelge 5.274’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,085>0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.275’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.274 : GŞ bazında varyans analizi (MY-2).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	1098,991	8	137,374	2,052	0,065
Gruplar içi	2610,972	39	66,948		
Toplam	3709,963	47			

Çizelge 5.275 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-2).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	33,413	15,444	7,744	48,776
3412	7	31,958	0,137	31,906	32,269
3413	7	31,780	1,459	28,606	32,872
3421	7	28,205	14,025	17,362	50,000
3422	6	40,185	0,516	39,692	41,105
3423	4	39,949	0,297	39,692	40,206
3426	3	22,271	8,367	16,835	31,906
3431	4	30,958	5,091	27,875	38,571
3433	4	28,575	1,401	27,875	30,676
Tüm Sınıflar	48	32,290	8,885	7,744	50,000

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.276’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.276 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-2).

MY-2				
Grup Sefliği		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a ..b	3426	3	22,27100	
	3421	7	28,20500	28,20500
	3433	4	28,57525	28,57525
	3431	4	30,95750	30,95750
	3413	7	31,78029	31,78029
	3412	7	31,95786	31,95786
	3411	6	33,41317	33,41317
	3423	4		39,94900
	3422	6		40,18450
	Sig.		.471	.374

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

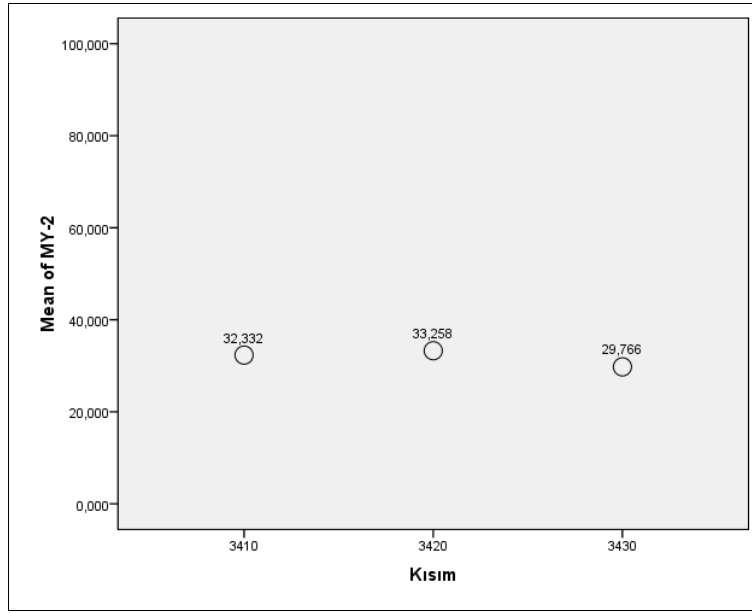
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada iki alt sınıf göze çarpmaktadır. 3422 ve 3423 grup şeflikleri en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta yer alırken, 3426 grup şefliği en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta yer almaktadır. Diğer grup şeflikleri en az iki alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.4.6.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.114’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark olmadığı görülüyor.



Şekil 5.114 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-2).

Çizelge 5.277’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,653>0,050$).

Çizelge 5.277 : KM bazında varyans analizi (MY-2).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	69,708	2	34,854	0,431	0,653
Gruplar içi	3640,255	45	80,895		
Toplam	3709,963	47			

Çizelge 5.278 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-2).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	32,332	7,999	7,744	48,776
3420	20	33,258	11,073	16,835	50,000
3430	8	29,766	3,684	27,875	38,571
Tüm Sınıflar	48	32,290	8,885	7,744	50,000

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.279’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.279 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-2).

MY-2			
		N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey HSD ^a „b	Kısım 3430	8	29,76637
	3410	20	32,33230
	3420	20	33,25755
	Sig.		,579

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, varyans analizi sonuçlarına paralel olarak tek alt sınıf olduğu görülecektir. 3420 kısım müdürlüğü en yüksek, 3430 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter ortalaması değerine sahipken, 3410 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır.

5.4.6.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde Çizelge 5.280’de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %97,0 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “Başarım Seviyesi (MY-21)” ve “Çaba (MY-22)” alt kriterler ile “Davranış Kaynaklı Yüklenmeler (MY-2)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılar bakıldığında ise ($|\beta_{MY-22}|=1,060>|\beta_{MY-21}|=0,424$) “Çaba (MY-22)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin göreceli olarak daha büyük olduğu görülmektedir. “Çaba (MY-22)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki de dikkat çekici derecede yüksektir (Pearson korelasyon katsayısı $r=\%90,2$). Bir sonraki adımda kuvvetli pozitif korelasyon ve ana kriter üzerindeki etkileri sebebiyle “Başarım Seviyesi (MY-21)” kriteri üzerinde durulacaktır.

Çizelge 5.280 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-2).

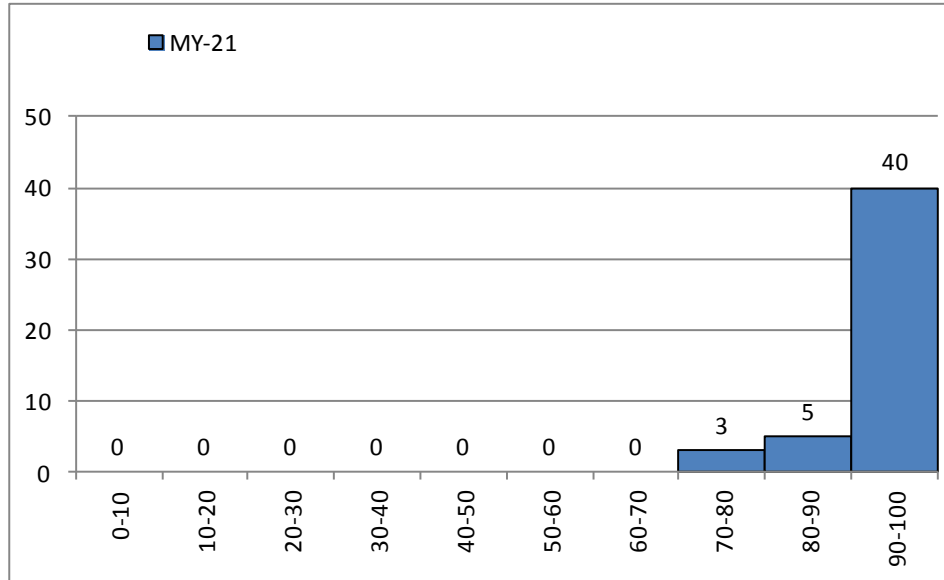
Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,970	0,968	1,585

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	3596,902	2	1798,451	715,812	0,000
Hata	113,061	45	2,512		
Toplam	3709,963	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	81,401	4,673	-	17,420	0,000	-
MY-21	-0,801	0,053	-0,424	-15,139	0,000	-0,030
MY-22	0,437	0,012	1,060	37,819	0,000	0,902

5.4.7 Başarım seviyesi faktörü sonuçlarının analizi

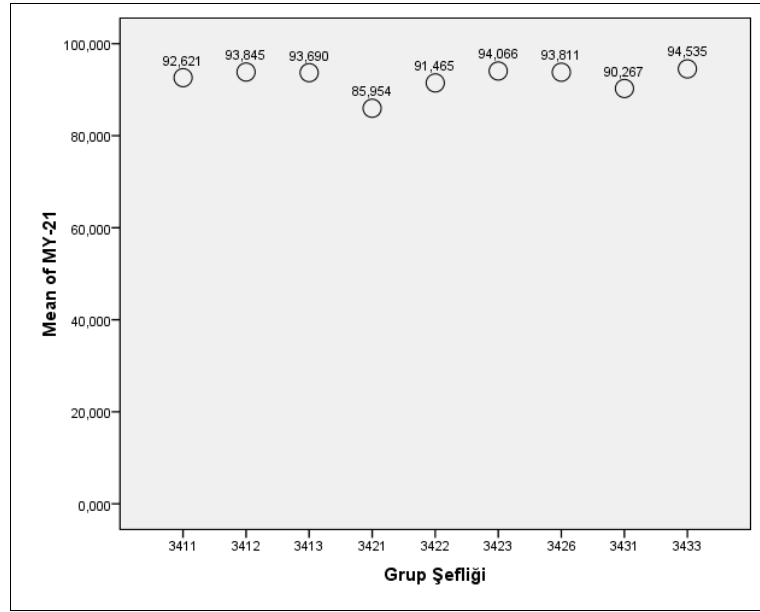
FuzzyErgonomics yazılımı 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Başarım Seviyesi (MY-21)” kriter değerlerinin Şekil 5.115’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 3 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.115 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-21).

5.4.7.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.116'deki grafikte yer almaktadır. Grafikselsel gösterim “Başarım Seviyesi (MY-21)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık olmadığını gösteriyor. Çizelge 5.281’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,085>0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.282’de gösterilmiştir.



Şekil 5.116 : GŞ ortalamalarının grafikselsel gösterimi (MY-21).

Çizelge 5.281 : GŞ bazında varyans analizi (MY-21).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	368,405	8	46,051	2,672	0,019
Gruplar içi	672,261	39	17,237		
Toplam	1040,666	47			

Çizelge 5.282 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-21).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	92,621	4,331	83,786	94,583
3412	7	93,845	0,079	93,667	93,875
3413	7	93,690	0,281	93,299	94,009
3421	7	85,954	5,771	78,648	94,009
3422	6	91,465	6,282	78,648	94,258
3423	4	94,067	0,221	93,875	94,258
3426	3	93,811	0,483	93,299	94,258
3431	4	90,267	7,751	78,648	94,535
3433	4	94,535	0,000	94,535	94,535
Tüm Sınıflar	48	91,997	4,706	78,648	94,583

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.283’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.283 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-21).

MY-21			
Grup Şefliği		N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey HSD ^a , ^b	3421	7	85,95371
	3431	4	90,26675
	3422	6	91,46483
	3411	6	92,62100
	3413	7	93,69014
	3426	3	93,81067
	3412	7	93,84529
	3423	4	94,06650
	3433	4	94,53500
	Sig.		,057

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

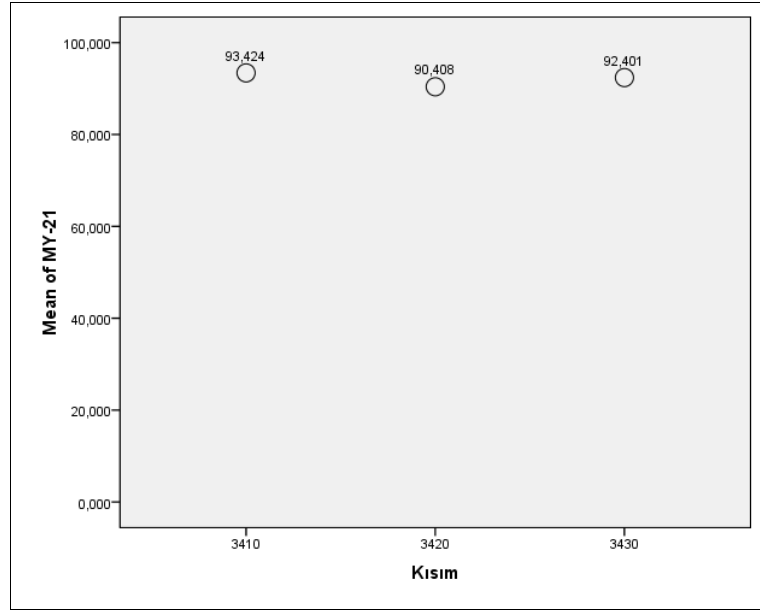
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak grup şefliği bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, varyans analizi sonuçlarına paralel olarak tek alt sınıf olduğu görülecektir. 3433 grup şefliği en yüksek, 3421 grup şefliği ise en düşük kriter ortalaması değerine sahipken, diğer grup şeflikleri arada konumlanmıştır. Aynı alt sınıfa aidiyet, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği

kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.4.7.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.117’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Başarım Seviyesi (MY-21)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görölüyor.



Şekil 5.117 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-21).

Çizelge 5.284’de görüleceğı üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralğı için $p=0,123>0,050$).

Çizelge 5.284 : KM bazında varyans analizi (MY-21).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	92,503	2	46,252	2,195	0,123
Gruplar içi	948,163	45	21,070		
Toplam	1040,666	47			

Çizelge 5.285 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-21).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	93,424	2,293	83,786	94,583
3420	20	90,408	5,765	78,648	94,258
3430	8	92,401	5,564	78,648	94,535
Tüm Sınıflar	48	91,997	4,706	78,648	94,583

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.286’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.286 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-21).

MY-21

	Kısım	N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey HSD ^a	3420	20	90,40815
„b	3430	8	92,40087
	3410	20	93,42370
Sig.			,218

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, varyans analizi sonuçlarına paralel olarak tek alt sınıf olduğu görülecektir. 3410 kısım müdürlüğü en yüksek, 3420 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter ortalaması değerine sahipken, 3430 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır.

5.4.7.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Başarım Seviyesi (MY-21)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde Çizelge 5.287’de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %69,9 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi

tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde, tüm birimler için sabit değerde olduğu için analiz dışı bırakılan “Verimlilik Seviyesi (MY-211)” hariç tüm alt kriterler ile “Başarım Seviyesi (MY-21)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında ise ($|\beta_{MY-213}|=1,022>|\beta_{MY-212}|=0,436>|\beta_{MY-214}|=0,390$) “İş Güvenliği Seviyesi (MY-213)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin göreceli olarak daha büyük olduğu görülmektedir, ayrıca “İş Güvenliği Seviyesi (MY-213)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki söz konusudur (Pearson korelasyon katsayısı $r=\%70,9$). Dolayısıyla görece kuvvetli pozitif korelasyon ve ana kriter üzerindeki etkileri sebebiyle “İş Güvenliği Seviyesi (MY-213)” kriteri üzerinde durulması daha önceliklidir.

Çizelge 5.287 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-21).

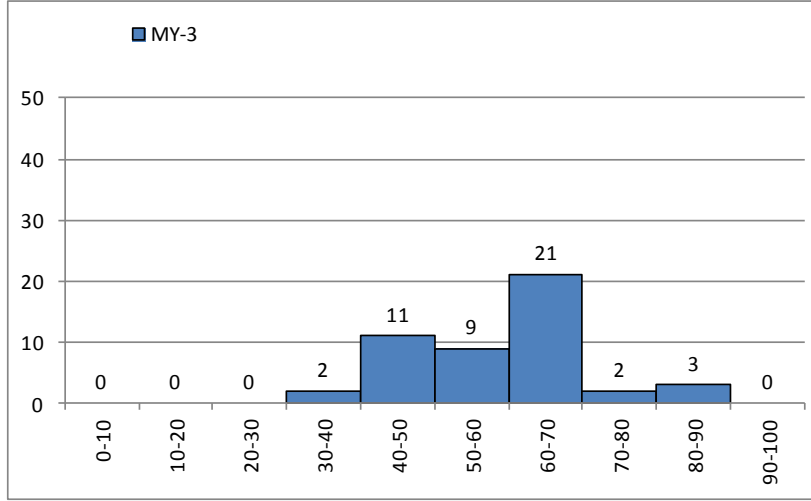
Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,699	0,679	2,668

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	727,551	3	242,517	34,079	0,000
Hata	313,115	44	7,116		
Toplam	1040,666	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	165,383	22,335	-	7,405	0,000	-
MY-212	-0,876	0,238	-0,436	-3,677	0,001	0,335
MY-213	0,311	0,036	1,022	8,709	0,000	0,709
MY-214	-0,350	0,076	-0,390	-4,603	0,000	-0,307

5.4.8 Psikolojik kaynaklı yüklenme faktörü sonuçlarının analizi

FuzzyErgonomics yazılımı 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” kriter değerlerinin Şekil 5.118’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 6 grupta toplandığı görülecektir.

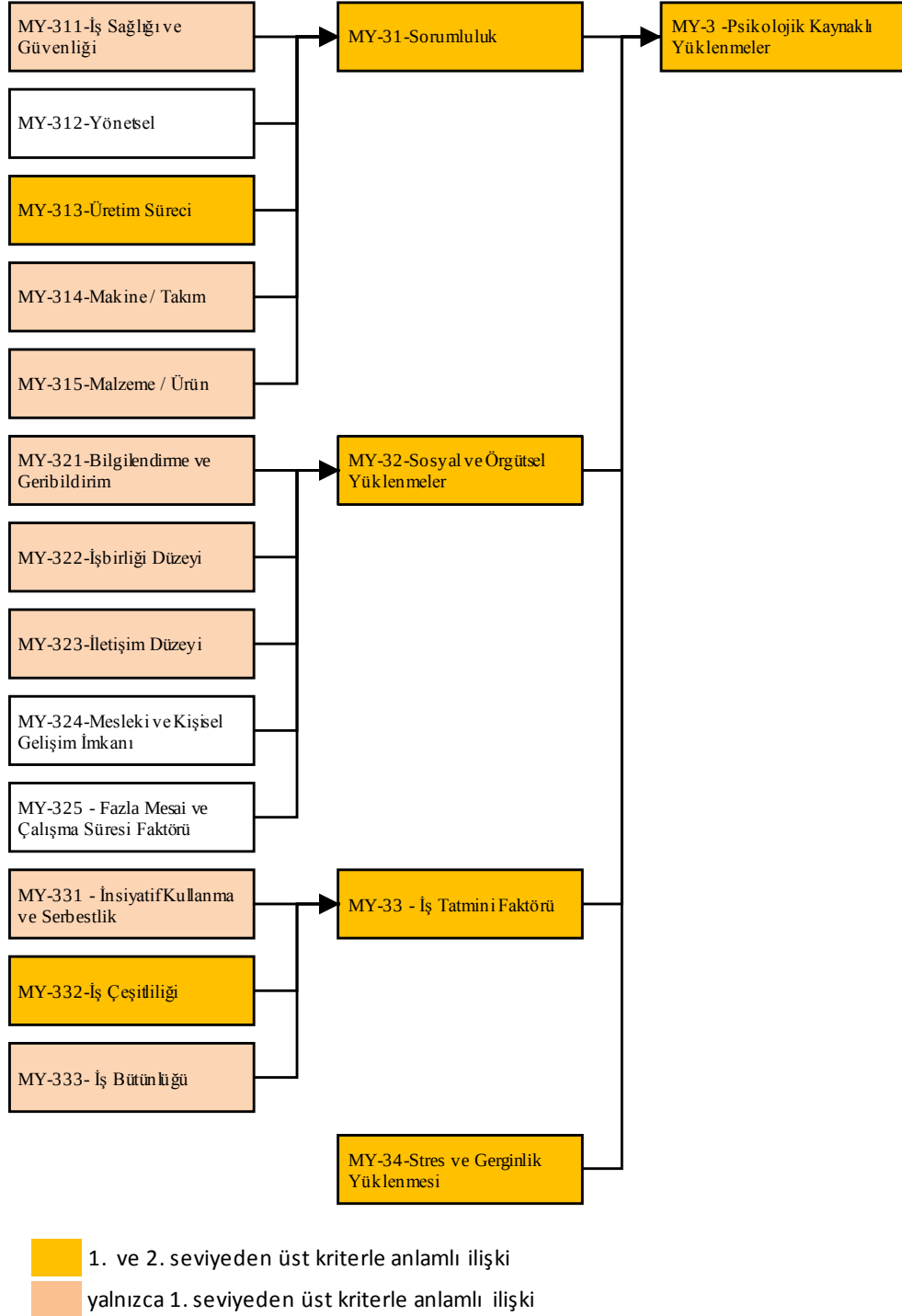


Şekil 5.118 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-3).

“Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” ve alt kriter yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları her iki model için Çizelge 5.288’de gösterilmiştir. DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde renk skalası ile de yüklenme şiddetinin ifade edilmeye çalışıldığı tabloda, kriter hiyerarşisine uygun şekilde birinci seviyeden alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter ile ilişkilerinin regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı da anlaşılabilmektedir. Alt ve üst kriterler arasındaki ilişkilerin istatistiksel anlamlılığı Şekil 5.119’de gösterilen kriter hiyerarşisinde de ifade edilmeye çalışılmıştır. Özellikle hangi kriterlerin ve hiyerarşik ilişkilerin görece önemli olduğu bu veriler ışığında ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.288 : GŞ ve KM'lere ait yüklenme değerleri ve sıralaması (MY-3).

050100 0-100 aralığında yüklenme skalası		Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler		Sorumluluk		İş Sağlığı ve Güvenliği Boyutu		Yönetel Boyut		Üretim Süreci Boyutu		Makine-Takım-Ekipman Boyutu		Malzeme-Ürün Boyutu		Sosyal ve Öğütsel Yüklenmeler		Bilgi Paylaşımı ve Geribildirim Düzeyi		İşbirliği Düzeyi		İletişim Düzeyi		Gelişim ve Eğitim İmkanı Düzeyi		Fazla Mesai ve Çalışma Süresi		İş Tatmini Faktörü		İnsiyatif Kullanma ve Sebestlik		İş Çeşitliliği		İş Bütünlüğü		Stres ve Gerginlik Yüklenmesi		
		MY-3		MY-31		MY-311		MY-312		MY-313		MY-314		MY-315		MY-32		MY-321		MY-322		MY-323		MY-324		MY-325		MY-33		MY-331		MY-332		MY-333		MY-34		
		Ana kriterle ilişkilerin Regresyon ve Korelasyon Analizi yardımı ile incelenmesi		p	-	p	0,000	p	0,000	p	-	p	0,000	p	0,001	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,000	p	0,832	p	0,522	p	0,000	p	0,000	p	0,002	p	0,000	p	0,000	
				Beta	-	Beta	0,564	Beta	0,395	Beta	-	Beta	0,248	Beta	0,183	Beta	0,321	Beta	0,254	Beta	-0,400	Beta	-0,610	Beta	-0,845	Beta	-0,031	Beta	-0,166	Beta	0,455	Beta	0,392	Beta	0,526	Beta	0,510	
		Kor.	-	Kor.	0,825	Kor.	0,922	Kor.	-	Kor.	0,883	Kor.	0,589	Kor.	0,801	Kor.	0,129	Kor.	-0,726	Kor.	0,116	Kor.	-0,773	Kor.	-0,573	Kor.	0,645	Kor.	-0,122	Kor.	0,623	Kor.	0,744	Kor.	0,406	Kor.	0,900	
Grup Seçiliği	Kod	Açıklama		Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	
	3411	Parça Üretimi	43,0	9	44,2	6	45,8	5	0,0	1	75,0	5	73,3	1	20,0	8	23,7	9	75,0	3	61,7	9	80,0	1	79,2	1	60,8	6	34,8	1	36,7	1	48,3	1	49,2	7	22,5	9
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi	71,7	2	76,9	2	75,7	2	0,0	1	81,4	2	67,1	3	81,4	2	31,7	8	80,0	1	73,6	6	70,0	5	64,3	5	65,0	4	23,3	8	15,0	8	10,7	9	70,7	2	71,4	2
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi	72,2	1	77,7	1	78,6	1	0,0	1	83,6	1	70,7	2	84,3	1	33,4	4	80,0	1	72,9	8	70,0	5	63,6	7	67,1	3	23,3	7	15,0	8	11,4	8	70,7	1	71,4	2
	3421	Koltuklandırma	51,8	7	28,6	8	22,1	9	0,0	1	70,0	8	57,9	4	18,6	9	50,1	1	45,0	9	82,1	2	60,0	9	34,3	9	72,9	1	26,4	3	17,1	6	15,7	6	65,0	3	40,0	7
	3422	Montaj I	59,5	6	46,7	5	38,3	6	0,0	1	76,7	4	50,8	5	55,0	4	32,6	7	70,0	4	73,3	7	75,0	2	70,0	2	58,3	8	30,6	2	23,3	4	31,7	3	63,3	4	63,3	5
	3423	Montaj II	61,4	4	50,0	3	47,5	3	0,0	1	80,0	3	35,0	8	52,5	6	32,6	5	70,0	4	75,0	3	75,0	2	70,0	2	55,0	9	23,3	6	20,0	5	32,5	2	55,0	6	67,5	4
	3426	Montaj III	61,4	5	40,7	7	46,7	4	0,0	1	72,0	7	50,0	6	55,0	4	32,6	5	70,0	4	75,0	3	75,0	2	70,0	2	61,7	5	23,3	5	25,0	3	26,7	4	61,7	5	73,3	1
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi	46,1	8	21,0	9	26,3	8	0,0	1	65,0	9	23,8	9	40,0	7	41,5	3	55,0	7	86,3	1	65,0	7	42,5	8	58,8	7	14,8	9	16,3	7	13,8	7	37,5	9	27,5	8
	3433	Astar ve Son Kat Boya	62,0	3	47,0	4	35,0	7	0,0	1	73,8	6	45,0	7	68,8	3	46,2	2	55,0	7	75,0	3	65,0	7	63,8	6	72,5	2	25,6	4	31,3	2	22,5	5	46,3	8	55,0	6
Kısmı Mutluluğu	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM	63,3	1	67,4	1	67,8	1	0,0	1	80,3	1	70,3	1	64,0	1	29,9	3	78,5	1	69,8	3	73,0	1	68,5	1	64,5	2	26,8	1	21,5	2	22,3	2	64,3	1	56,8	2
	3420	Montaj KM	57,5	2	40,1	2	35,8	2	0,0	1	74,3	2	50,0	2	41,8	3	38,7	2	61,3	2	77,0	2	69,8	2	57,5	2	63,3	3	26,6	2	20,8	3	25,5	1	62,0	2	57,5	1
	3430	Boya KM	54,0	3	34,0	3	30,6	3	0,0	1	69,4	3	34,4	3	54,4	2	43,8	1	55,0	3	80,6	1	65,0	3	53,1	3	65,6	1	20,2	3	23,8	1	18,1	3	41,9	3	41,3	3



Şekil 5.119 : Yüksek seviyede anlamlı hiyerarşik ilişkilerin gösterimi (MY-3).

Üst ve alt kriterler arasındaki ilişkiler analiz edildiğinde “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” ile hiyerarşik seviyede birinci seviyeden alt kriterleri olan “Sorumluluk (MY-31)”, “Sosyal ve Örgütsel Yüklenmeler (MY-32)”, “İş Tatmini Faktörü (MY-33)”, “Stres ve Gerginlik Yüklenmesi (MY-34)” ve ikinci dereceden alt kriterleri olan “Üretim Süreci Sorumluluğu (MY-313)” ve “İş Çeşitliliği (MY-

332)” arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı ve görece önemli olduğu görülmektedir.

“Sorumluluk (MY-31)” ile birinci dereceden alt kriterleri arasındaki ilişkilere bakıldığında “Yönetmelik Sorumluluk (MY-312)” hariç tüm alt kriterleri ile olan ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir.

“Sosyal ve Örgütsel Yüklenmeler (MY-32)” ile birinci dereceden alt kriterleri arasındaki ilişkilere bakıldığında ise “Bilgi Paylaşımı ve Geribildirim Düzeyi (MY-321)”, “İşbirliği Düzeyi (MY-322)” ve “İletişim Düzeyi (MY-323)” ile olan ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlıyken, “Gelişim ve Eğitim İmkanı Düzeyi (MY-324)” ve “Fazla Mesai ve Çalışma Süresi (MY-325)” ile olan ilişkilerin anlamlı olmadığı tespit edilmiştir.

“İş Tatmini Faktörü (MY-33)” ile birinci dereceden alt kriterleri arasındaki ilişkilere bakıldığında ise “İnisiyatif Kullanma ve Serbestlik (MY-331)”, “İş Çeşitliliği (MY-332)” ve “İş Bütünlüğü (MY-333)” ile olan ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülmektedir.

Bu tespitler ışığında veri toplama esnasında sorumluluk yüklenmesi çerçevesinde özellikle üretim süreci ve termin sorumluluğu, genel anlamda sosyal ve örgütsel yüklenme bileşkesi, iş çeşitliliği detayında iş tatmini faktörü ve işin yarattığı genel stres konuları üzerinde odaklanılması analiz sürecini daha etkin kılacaktır.

Alt kriterler ile ilişkilerin anlamlılığı kadar, alt kriterlerin bağlı oldukları üst kriterlere ne düzeyde etkilerinin olduğu da önemlidir. Bu etkinin düzeyi, aradaki ilişkinin şiddeti ve yönü de yine Çizelge 5.288’de verilen regresyon ve korelasyon analizi sonuçlarından faydalanılarak tespit edilebilmekte, bu şekilde asıl odaklanılması gereken kriterler belirlenebilmektedir.

“Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” ile hiyerarşik olarak ikinci seviyeden alt kriterleri olan “İş Sağlığı ve Güvenliği Sorumluluğu (MY-311)”, “Üretim Süreci Sorumluluğu (MY-313)”, “Makina-Takım-Ekipman Sorumluluğu (MY-314)”, ve “Malzeme-Ürün Sorumluluğu (MY-315)” kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmıştı. Standardize edilmiş Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “İş Sağlığı ve Güvenliği Sorumluluğu (MY-311)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin diğer kriterlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir.

Dolayısıyla “İş Sağlığı ve Güvenliği Sorumluluğu (MY-311)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Sorumluluk (MY-31)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır. “Üretim Süreci Sorumluluğu (MY-313)” kriterinin “Sorumluluk (MY-31)” üst kriterine olan etkisi ve aralarındaki korelasyon “İş Sağlığı ve Güvenliği Sorumluluğu (MY-311)” kriterininki kadar olmasa da “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” ile ikinci hiyerarşik seviyedeki ilişkisinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı çıkmış olması da önemlidir.

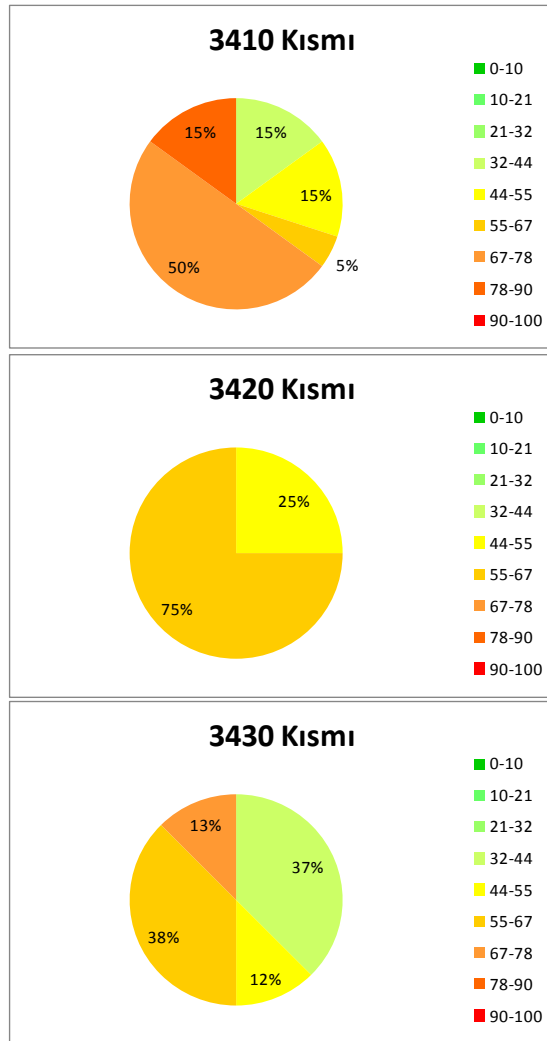
“Sosyal ve Örgütsel Yüklenmeler (MY-32)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden tüm alt kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olduğu belirlenmişti. Standardize edilmiş Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “İletişim Düzeyi (MY-323)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin diğer kriterlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “İletişim Düzeyi (MY-323)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “Sosyal ve Örgütsel Yüklenmeler (MY-32)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

“İş Tatmini Faktörü (MY-33)” ile hiyerarşik olarak ilk seviyeden tüm alt kriterleri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak yüksek derecede anlamlı olduğu belirlenmişti. Standardize edilmiş Regresyon katsayıları incelendiğinde özellikle “İş Bütünlüğü (MY-333)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin diğer kriterlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir, ana kriter ile görece yüksek korelasyon da bu tespiti desteklemektedir. Dolayısıyla “İş Bütünlüğü (MY-333)” kriterinin çalışan üzerinde meydana gelen “İş Tatmini Faktörü (MY-33)” yüklenmesindeki payının görece daha büyük ve önemli olduğu ortaya çıkmıştır. “İş Çeşitliliği (MY-332)” kriterinin “İş Tatmini Faktörü (MY-33)” üst kriterine olan etkisi ve aralarındaki korelasyon “İş Bütünlüğü (MY-333)” kriterininki kadar olmasa da “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” ile ikinci hiyerarşik seviyedeki ilişkisinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı çıkmış olması da önemlidir.

Çizelge 5.288’de görüleceği üzere “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” kriteri açısından yüklenme değerleri incelendiğinde özellikle grup şefliği bazında 3413 ve 3412 birimlerinde çalışanların büyük ölçüde “yüksek”, 3433, 3423 ve 3426 birimlerinde çalışanların da büyük ölçüde “biraz yüksek”, 3422, 3421, 3431 ve 3411

birimlerinde çalışanların ise büyük ölçüde “normal” yüklenme seviyelerine maruz kaldıkları görülmektedir.

Yine Çizelge 5.288’den de görülebileceği üzere “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” kriteri açısından yüklenme ortalamaları karşılaştırıldığında özellikle kısım müdürlüğü bazında 3410 kısım müdürlüğünde çalışanların büyük oranda “yüksek”, kısmen “çok yüksek”, “normal” ve “biraz düşük” yüklenme düzeylerine maruz kaldıkları görülmektedir. 3420 kısım müdürlüğünde ise çok büyük oranda “biraz yüksek”, kısmen “normal” seviyelerde yüklenme maruziyeti söz konusudur. 3430 kısım müdürlüğündeki yüklenme seviyelerinin ise büyük ölçüde “biraz düşük” ve “biraz yüksek” olduğu görülmektedir ki bu duruma ilişkin detaylar “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” kriteri için kısım müdürlüğü bazında iş istasyonlarının yüklenme aralıklarına dağılımını gösteren Şekil 5.120’de görülmektedir.

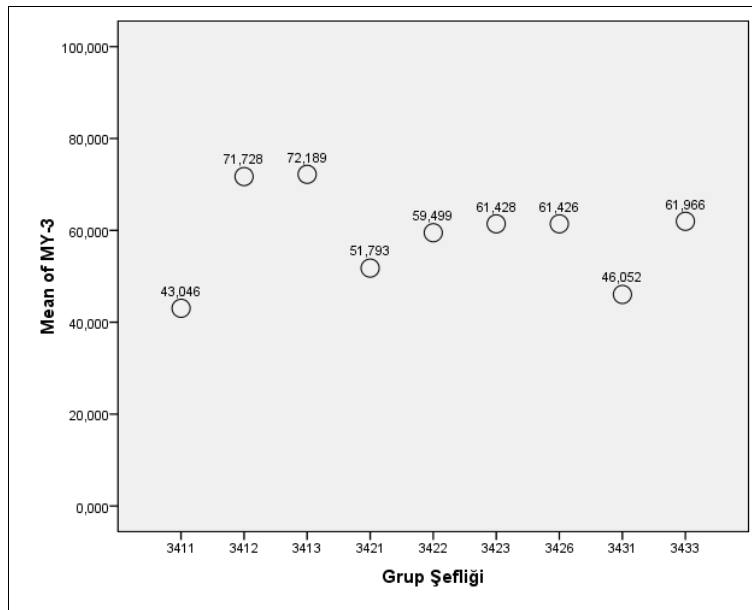


Şekil 5.120 : GŞ bazında İST’lerin yüklenme aralıklarına dağılımı (MY-3).

Şimdiye kadar grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında kriter değer ortalamalarının karşılaştırması ve elde edilen çıkarımlar özet çizelgeler yardımı ile irdelendi, bu noktadan sonraki bölümlerde özet tablolarda yer alan verilere ait analiz sonuçları daha detaylı ve alt kriter bazında gösterilecektir.

5.4.8.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.121'deki grafikte yer almaktadır. Grafiksel gösterim “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.121 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-3).

Çizelge 5.289’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.290’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.289 : GŞ bazında varyans analizi (MY-3).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	4986,079	8	623,260	18,437	0,000
Gruplar içi	1318,371	39	33,804		
Toplam	6304,450	47			

Çizelge 5.290 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-3).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	43,046	4,487	38,567	48,559
3412	7	71,728	4,061	69,737	80,553
3413	7	72,189	6,553	63,894	81,928
3421	7	51,793	5,449	47,621	59,031
3422	6	59,499	2,118	57,311	61,428
3423	4	61,428	0,001	61,427	61,428
3426	3	61,426	0,000	61,426	61,426
3431	4	46,052	10,251	40,922	61,428
3433	4	61,966	10,728	52,370	77,310
Tüm Sınıflar	48	59,319	11,582	38,567	81,928

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.291’da ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.291 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-3).

MY-3				
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a , ^b	3411	6	43,04567	
	3431	4	46,05200	
	3421	7	51,79271	51,79271
	3422	6		59,49850
	3426	3		61,42600
	3423	4		61,42750
	3433	4		61,96575
	3412	7		71,72757
	3413	7		72,18900
	Sig.		,339	,170

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

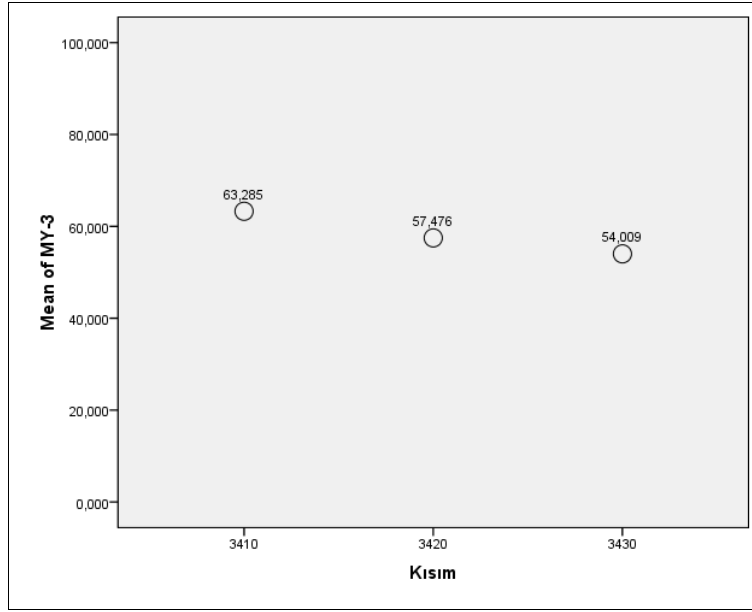
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada üç alt sınıf göze çarpmaktadır. 3413 ve 3412 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalaması ile üçüncü alt sınıfta yer alırken, 3411 ve 3431 grup şeflikleri sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile birinci alt sınıfta yer almaktadırlar. Diğer grup şeflikleri en az iki alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır, sadece 3422 grup şefliği için ikinci alt sınıf aidiyeti söz konusudur. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt

sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.4.8.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.122’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir farklılık olmadığı görülüyor.



Şekil 5.122 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-3).

Çizelge 5.292’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,102>0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.293’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.292 : KM bazında varyans analizi (MY-3).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	607,987	2	303,993	2,401	0,102
Gruplar içi	5696,463	45	126,588		
Toplam	6304,450	47			

Çizelge 5.293 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-3).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	63,285	14,453	38,567	81,928
3420	20	57,476	5,431	47,621	61,428
3430	8	54,009	12,912	40,922	77,310
Tüm Sınıflar	48	59,319	11,582	38,567	81,928

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.294’da ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.294 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-3).

MY-3

Kısım	N	Subset for alpha = 0.05
		1
Tukey HSD ^a	3430	8
„b	3420	20
	3410	20
Sig.		,095

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, varyans analizi sonuçlarına paralel olarak tek alt sınıf olduğu görülecektir. 3410 kısım müdürlüğü en yüksek, 3430 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter ortalaması değerine sahipken, 3420 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır. Aynı alt sınıfa aidiyet, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.4.8.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımı ile

irdelendiğinde Çizelge 5.295’de yer alan analiz tablosunda R^2 (Belirlilik) değerinden hareketle ana kriterin alt kriterlere %97,8 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde alt kriterleri ile “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” kriteri arasındaki bağımlılığın istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında ise ($|\beta_{MY-31}|=0,564>|\beta_{MY-34}|=0,510>|\beta_{MY-32}|=0,254>|\beta_{MY-33}|=0,166$) “Sorumluluk Yüklenmesi (MY-31)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin nispeten daha büyük olduğu görülmektedir. “Stres ve Gerginlik Yüklenmesi (MY-34)” ile ana kriter arasındaki nispeten kuvvetli pozitif ilişki de dikkate alınmalıdır (Pearson korelasyon katsayısı $r=\%90,0$). Dolayısıyla ilk seviye alt kriterlerle ilişkiler çerçevesinde bir sonraki adımda nispeten kuvvetli pozitif korelasyon ve ana kriter üzerindeki etkileri sebebiyle “Sorumluluk (MY-31)” ve “Stres ve Gerginlik Yüklenmesi (MY-34)” kriterleri üzerinde odaklanılması doğru bir yaklaşım olacaktır.

Çizelge 5.295 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-3/1. seviye).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,978	0,976	1,811

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	6163,463	4	1540,866	469,952	0,000
Hata	140,987	43	3,279		
Toplam	6304,450	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	23,324	1,555	-	15,000	0,000	-
MY-31	0,304	0,018	0,564	16,685	0,000	0,825
MY-32	0,294	0,028	0,254	10,642	0,000	0,129
MY-33	-0,236	0,034	-0,166	-6,938	0,000	-0,122
MY-34	0,296	0,019	0,510	15,636	0,000	0,900

Çizelge 5.296’de yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) hareketle ana kriterin alt kriterlere %90,1 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi

tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde “İş Sağlığı ve Güvenliği Sorumluluğu (MY-311)” ve “İş Çeşitliliği (MY-332)” alt kriterleri ile “Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılara bakıldığında ise ($|\beta_{MY-313}|=0,512>|\beta_{MY-332}|=0,349$) “Üretim Süreci Sorumluluğu (MY-313)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin görece daha büyük olduğu görülmektedir. “Üretim Süreci Sorumluluğu (MY-313)” ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki de dikkat çekici derecede yüksektir (Pearson korelasyon katsayısı $r=0,79,9$).

Çizelge 5.296 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-3/2. seviye).

Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,901	0,866	4,232

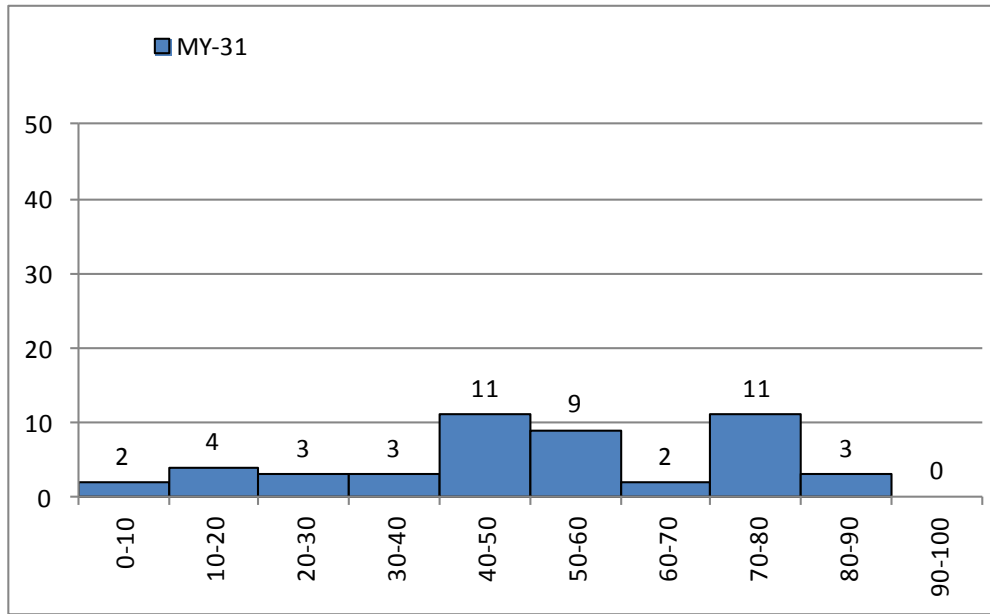
Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	5677,485	12	473,124	26,412	0,000
Hata	626,965	35	17,913		
Toplam	6304,450	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	20,860	46,363	-	0,450	0,656	-
MY-311	-0,001	0,094	-0,001	-0,006	0,995	0,749
MY-313	0,811	0,244	0,512	3,324	0,002	0,799
MY-314	-0,007	0,070	-0,013	-0,106	0,916	0,305
MY-315	0,124	0,071	0,296	1,738	0,091	0,858
MY-321	-0,271	0,251	-0,293	-1,078	0,288	0,474
MY-322	-0,214	0,233	-0,171	-0,919	0,364	-0,234
MY-323	-0,062	0,498	-0,033	-0,124	0,902	-0,047
MY-324	0,307	0,189	0,411	1,626	0,113	0,211
MY-325	0,116	0,224	0,086	0,519	0,607	0,276
MY-331	-0,474	0,304	-0,341	-1,559	0,128	-0,362
MY-332	-0,259	0,110	-0,349	-2,357	0,024	-0,329
MY-333	-0,015	0,073	-0,019	-0,200	0,842	0,451

“Psikolojik Kaynaklı Yüklenmeler (MY-3)” ana kriteri ile hiyerarşik seviyedeki birinci alt kriterleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde görece güçlü pozitif ilişki seviyeleri ve ana kriter üzerindeki görece yüksek etkileri sebebiyle “Sorumluluk (MY-31)” ve “Stres ve Gerginlik Yüklenmesi (MY-34)” kriterlerinin incelenmesi gereği ortaya çıkmaktadır.

5.4.9 Sorumluluk kaynaklı yüklenme faktörü sonuçlarının analizi

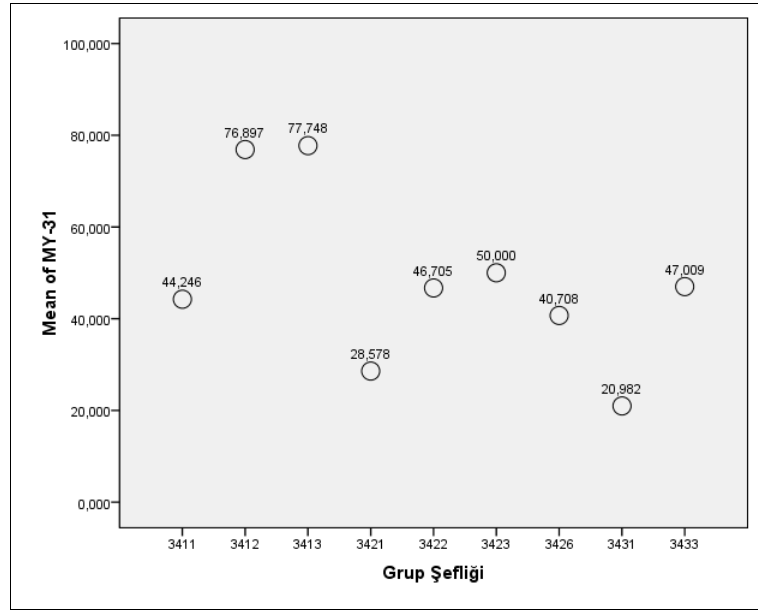
FuzzyErgonomics yazılımı 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Sorumluluk (MY-31)” kriter değerlerinin Şekil 5.123’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın düzgün bir şekilde gerçekleştiği ve 9 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.123 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-31).

5.4.9.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.124’deki grafikte yer almaktadır. Grafikselleştirilmiş “Sorumluluk (MY-31)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.124 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-31).

Çizelge 5.297’da görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.298’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.297 : GŞ bazında varyans analizi (MY-31).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	17582,681	8	2197,835	20,547	0,000
Gruplar içi	4171,600	39	106,964		
Toplam	21754,281	47			

Çizelge 5.298 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-31).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	44,246	3,820	38,031	50,000
3412	7	76,897	2,250	76,047	82,000
3413	7	77,748	2,905	76,047	82,001
3421	7	28,578	15,087	18,000	50,001
3422	6	46,705	13,389	22,697	60,047
3423	4	50,000	0,000	50,000	50,000
3426	3	40,708	0,000	40,708	40,708
3431	4	20,982	20,422	5,992	49,246
3433	4	47,009	12,967	38,697	66,000
Tüm Sınıflar	48	50,466	21,514	5,992	82,001

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.299’de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.299 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-31).

MY-31				
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Tukey HSD ^a	3431	4	20,98175	
„b	3421	7	28,57814	28,57814
	3426	3	40,70800	40,70800
	3411	6		44,24567
	3422	6		46,70500
	3433	4		47,00900
	3423	4		50,00000
	3412	7		76,89743
	3413	7		77,74800
Sig.			,101	,056
				1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

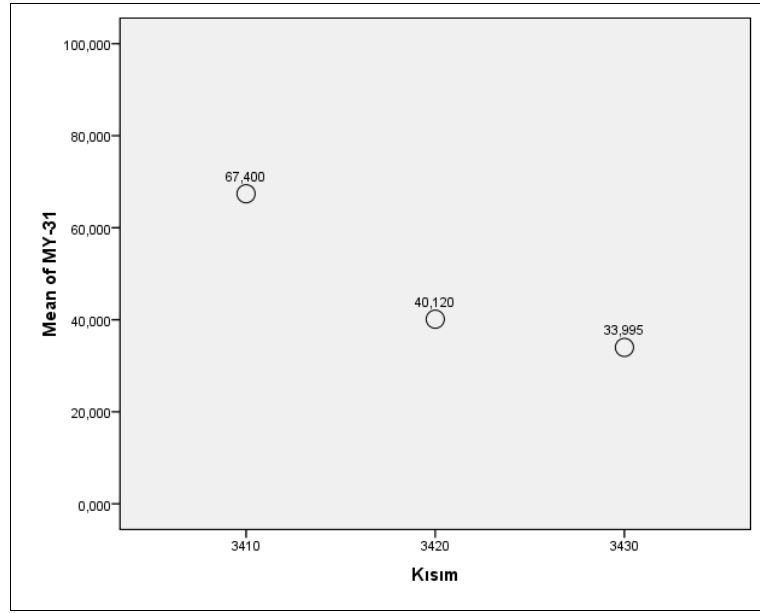
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada üç alt sınıf göze çarpmaktadır. 3413 ve 3412 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile üçüncü alt sınıfta yer alırken, 3431 grup şefliği en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta yer almaktadır. 3421 ve 3426 grup şeflikleri birinci ve ikinci alt sınıflarda yer almaktadırlar. Diğer grup şeflikleri ise sadece ikinci alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.4.9.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.125’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Sorumluluk (MY-31)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğu görülmüyor.



Şekil 5.125 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-31).

Çizelge 5.300’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.301’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.300 : KM bazında varyans analizi (MY-31).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	10045,962	2	5022,981	19,305	0,000
Gruplar içi	11708,320	45	260,185		
Toplam	21754,281	47			

Çizelge 5.301 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-31).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	67,400	15,814	38,031	82,001
3420	20	40,120	14,228	18,000	60,047
3430	8	33,995	21,080	5,992	66,000
Tüm Sınıflar	48	50,466	21,514	5,992	82,001

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.302’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.302 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-31).

MY-31				
		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a „b	Kısım 3430	8	33,99538	67,39960
	3420	20	40,12005	
	3410	20		
	Sig.		,593	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa iki alt sınıf olduğu görülecektir. 3410 kısım müdürlüğü en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile ikinci alt sınıfta, 3430 ve 3420 kısım müdürlükleri ise sırasıyla en düşük kriter değerleri ortalamaları ile ilk alt sınıfta konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.4.9.3 Alt faktörler ile ilişkilerin irdelenmesi

Bir sonraki adım olarak “Sorumluluk (MY-31)” ile hiyerarşik olarak birinci seviyeden alt kriterleri arasındaki ilişki regresyon analizi yardımı ile irdelendiğinde Çizelge 5.303’da yer alan analiz tablosundaki yüksek R^2 (Belirlilik) değeri ana kriterin alt kriterlere %94,8 oranında bağlı olduğunu göstermektedir. Varyans analizi tablosundaki $p=0,000$ değeri ise ana ve alt kriterler arasındaki bağımlılığın %95 güven aralığı için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, yani rastlantısal olmadığını göstermektedir. Katsayılar tablosu incelendiğinde tüm iş istasyonları için sabit değere sahip olduğu için “Yönetmelik Sorumluluk (MY-312)” hariç tüm alt kriterleri ile “Sorumluluk (MY-31)” arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak yüksek seviyede anlamlı olduğu görülecektir ($p<0,050$). Standardize edilmiş katsayılar bakıldığında ise ($|\beta_{MY-311}|=0,395>|\beta_{MY-315}|=0,321>|\beta_{MY-313}|=0,248>|\beta_{MY-314}|=0,183$) “İş Sağlığı ve Güvenliği Sorumluluğu (MY-311)” kriterinin ana kriter üzerindeki etkisinin göreceli olarak daha büyük olduğu görülmektedir. “Üretim Süreci Sorumluluğu (MY-313)”

ile ana kriter arasındaki görece kuvvetli pozitif ilişki de dikkat çekici derecede yüksektir (Pearson korelasyon katsayısı $r=0,883$). Dolayısıyla kuvvetli pozitif korelasyon ve ana kriter üzerindeki etkileri sebebiyle “İş Sağlığı ve Güvenliği Sorumluluğu (MY-311)” ve “Üretim Süreci Sorumluluğu (MY-313)” kriterleri üzerinde odaklanılması doğru bir yaklaşım olacaktır.

Çizelge 5.303 : Regresyon ve korelasyon analizi (MY-31).

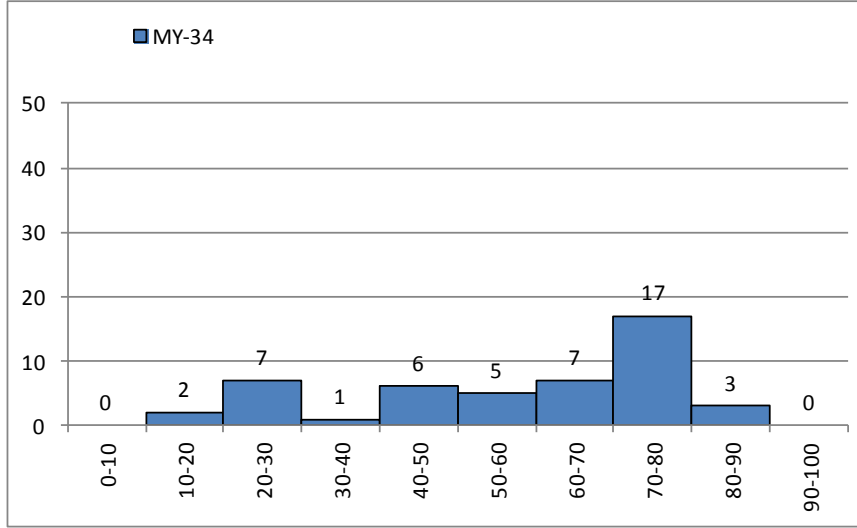
Regresyon Özeti	Belirlilik (R^2)	Düzeltilmiş Belirlilik (R_D^2)	Tahminin Standart Hatası
	0,948	0,943	5,126

Regresyon Geçerliliği	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F-Test Değeri)	p değeri
Regresyon	20624,413	4	5156,103	196,229	0,000
Hata	1129,868	43	26,276		
Toplam	21754,281	47			

Katsayılar Tablosu	Katsayı Değeri (B)	Standart Hata	Standardize Edilmiş Katsayı Değeri (β)	t-Test Değeri	p değeri	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit	-47,594	11,516	-	-4,133	0,000	-
MY-311	0,375	0,065	0,395	5,771	0,000	0,922
MY-313	0,729	0,190	0,248	3,838	0,000	0,883
MY-314	0,202	0,054	0,183	3,743	0,001	0,589
MY-315	0,250	0,046	0,321	5,429	0,000	0,801

5.4.10 Stres ve gerginlik yüklenmesi faktörü sonuçlarının analizi

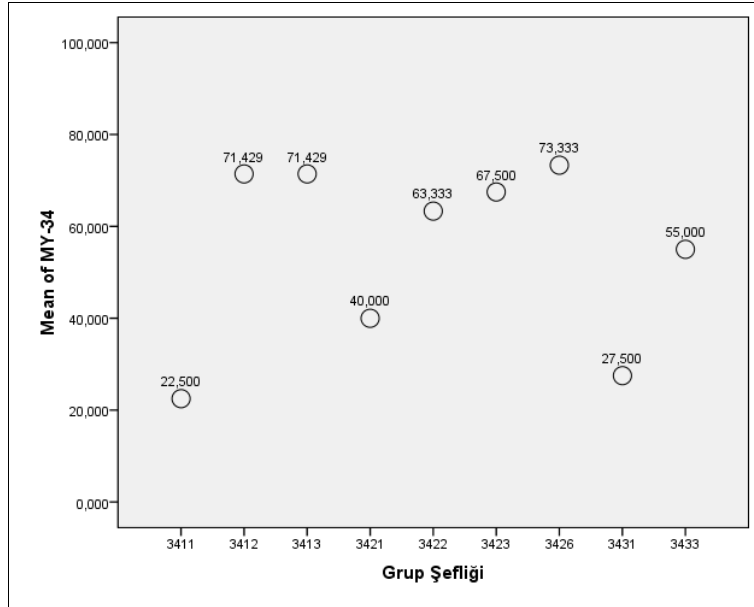
FuzzyErgonomics yazılımı 48 iş istasyonunun analizine yönelik çalıştırıldığında elde edilen “Stres ve Gerginlik Yüklenmesi (MY-34)” kriter değerlerinin Şekil 5.126’de bulunan histogram gösterimleri incelendiğinde değer aralıklarına dağılımın belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 8 grupta toplandığı görülecektir.



Şekil 5.126 : Kriter değerlerinin histogram gösterimi (MY-34).

5.4.10.1 Grup şefliği bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamaları Şekil 5.127’deki grafikte yer almaktadır. Grafikselsel gösterim “Stres ve Gerginlik Yüklenmesi (MY-34)” kriter değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir farklılık ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 5.127 : GŞ ortalamalarının grafikselsel gösterimi (MY-34).

Çizelge 5.304’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000 < 0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.305’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.304 : GŞ bazında varyans analizi (MY-34).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	16753,051	8	2094,131	42,784	0,000
Gruplar içi	1908,929	39	48,947		
Toplam	18661,979	47			

Çizelge 5.305 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (CK-311).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	22,500	2,739	20,000	25,000
3412	7	71,429	3,780	70,000	80,000
3413	7	71,429	6,901	60,000	80,000
3421	7	40,000	2,887	35,000	45,000
3422	6	63,333	6,055	55,000	70,000
3423	4	67,500	2,887	65,000	70,000
3426	3	73,333	2,887	70,000	75,000
3431	4	27,500	18,930	15,000	55,000
3433	4	55,000	7,071	50,000	65,000
Tüm Sınıflar	48	54,479	19,926	15,000	80,000

Grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelendi. Çizelge 5.306'de ise kriter değerleri ortalamalarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.306 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-34).**MY-34**

Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Tukey HSD ^a	3411	6	22,50000		
„b	3431	4	27,50000		
	3421	7	40,00000		
	3433	4		55,00000	
	3422	6		63,33333	63,33333
	3423	4		67,50000	67,50000
	3412	7			71,42857
	3413	7			71,42857
	3426	3			73,33333
	Sig.		,968	,151	,151

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

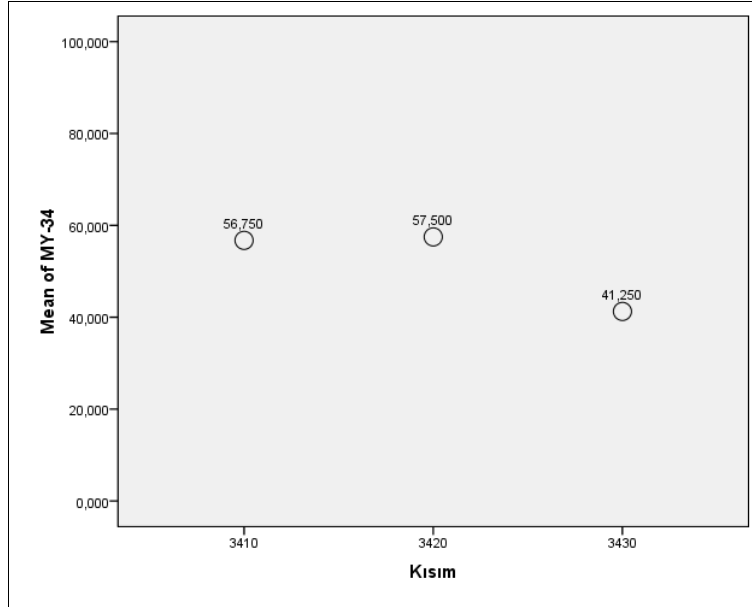
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada 4 alt sınıf göze çarpmaktadır. 3426,

3413 ve 3412 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek kriter değerleri ortalamaları ile dördüncü alt sınıfta yer alırken, 3411 grup şefliği en düşük kriter değerleri ortalaması ile birinci alt sınıfta yer almaktadır. Diğer grup şeflikleri en az bir alt sınıfta yer alacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

5.4.10.2 Kısım müdürlüğü bazında kriter ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış kriter değerleri ortalamalarının Şekil 5.128’de yer alan grafiksel gösterimine göre “Stres ve Gerginlik Yüklenmesi (MY-34)” kriter değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir farklılık olmadığı görülüyor.



Şekil 5.128 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (MY-34).

Çizelge 5.307’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini kabul ediyor (%95 güven aralığı için $p=0,119>0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 5.308’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.307 : KM bazında varyans analizi (MY-34).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	1685,729	2	842,865	2,234	0,119
Gruplar içi	16976,250	45	377,250		
Toplam	18661,979	47			

Çizelge 5.308 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (MY-34).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	56,750	23,468	20,000	80,000
3420	20	57,500	14,096	35,000	75,000
3430	8	41,250	19,776	15,000	65,000
Tüm Sınıflar	48	54,479	19,926	15,000	80,000

Kısım müdürlüklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu varyans analizi yardımı ile irdelenmiştir. Çizelge 5.309’de ise sonuçların post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusudur.

Çizelge 5.309 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (MY-34).

MY-34

		N	Subset for alpha = 0.05
Kısım			1
Tukey HSD ^a „b	3430	8	41,25000
	3410	20	56,75000
	3420	20	57,50000
	Sig.		,089

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında kriter değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, varyans analizi sonuçlarına paralel olarak tek alt sınıf olduğu görülecektir. 3420 kısım müdürlüğü en yüksek, 3430 kısım müdürlüğü ise en düşük kriter ortalaması değerine sahipken, 3410 kısım müdürlüğü arada konumlanmıştır. Aynı alt sınıfa aidiyet, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği kriter değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığına işaret etmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması çerçevesinde çalışan üzerinde oluşan yüklenmeler fizyolojik, mental ve çevresel olmak üzere üç temel boyutta ele alınmışlardır. Tabii ki bu üç boyutun çalışan üzerinde yarattığı yüklenmelerin birbirinden bağımsız olamayacağı açıktır; çevresel koşul yüklenmelerinin mental veya fizyolojik yüklenmeyi etkilemesi gibi, çok sıcak veya soğuk çalışma ortamlarında çalışanların zihinsel ve fizyolojik performanslarında meydana gelen değişimler, bu etkileşimlere örnek olarak gösterilebilir. Literatür incelendiğinde ergonomik değerlendirme yöntemlerinde bu üç temel boyutun birbirleri ile karşılaştırılmadan, yani kriter veya kriter grupları arasında ağırlıklandırma yapılmadan, yani eşit önem derecesi tanımlanarak ortaya koydukları risk seviyeleri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Örneğin “Washington State Department Labor & Industries” kurumu tarafından kas iskelet rahatsızlığı risklerinin tespitine yönelik geliştirilen “Washington State Ergonomics Checklist” yönteminde ele alınan 14 kriterden iki adedi (titreşim ve sıcaklık koşulları) çevresel ergonomik koşullar olarak ön plana çıkarken, diğer kriterlerin Fizyolojik Yüklenme kriter grubuna ait oldukları görülmektedir [40]. AET yöntemindeki 216 kriterin içerisinde fizyolojik, mental ve çevresel yüklenme kriterlerinin hemen hepsine sürecin kendi değerlendirme konsepti çerçevesinde rastlanmaktadır [80].

Tüm bu yaklaşımlardan hareketle tez kapsamında bileşke yüklenme modeli oluşturulurken fizyolojik, mental ve çevresel yüklenme koşullarının eşdeğer ağırlıklı kabul edildiği klasik yaklaşıma göre tüm iş istasyonları değerlendirilecek, ardından bu üç temel yüklenme boyutu AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemi ile ağırlıklandırılarak aynı değerlendirme tekrarlanacaktır. Son olarak bu iki temel yaklaşım birbirleri ile karşılaştırılarak sonuçlar irdelenecektir.

6.1 Eşdeğer ağırlıklı kriter yaklaşımına göre bileşke yüklenme

Çevresel, fizyolojik ve mental yüklenme ağırlıklarının eşit olacak şekilde belirlendiği klasik yaklaşıma göre iş istasyonu bazında her üç yüklenme boyutunu temsil eden

ana kriterlere göre yüklenme değerlerinin bileşkesi, tez çerçevesinde genel değerlendirme skalası olarak belirlenmiş olan (0-100) aralığına göre hesaplanmıştır.

Fizyolojik yüklenmede iki farklı yaklaşıma yönelik modelleme yapıldığı daha önceki bölümlerde detaylı şekilde anlatılmıştı. “Model-1” olarak tanımlanan Fizyolojik Yüklenme yaklaşımında vücut bölgesi bazında eklem yerlerinin anlık gözlemler doğrultusunda açısal aralık konumları tespit edilerek yüklenmeler belirleniyordu. “Model-2 (açılı)” Fizyolojik Yüklenme yaklaşımında ise sürekli gözlemler neticesinde çalışma süresi boyunca ilgili vücut bölgesi eklemlerinin önceden belirlenmiş açı aralıklarında ne kadar süre konumlandıklarından hareketle yüklenmeler tespit edilmektedir. Dolayısıyla bileşke yüklenme değerinin bu iki yaklaşıma göre 48 iş istasyonu için hesaplanması söz konusu olmuştur.

Bileşke yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde yüklenme şiddetlerinin renk skalası ile ifade edilmesi suretiyle Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

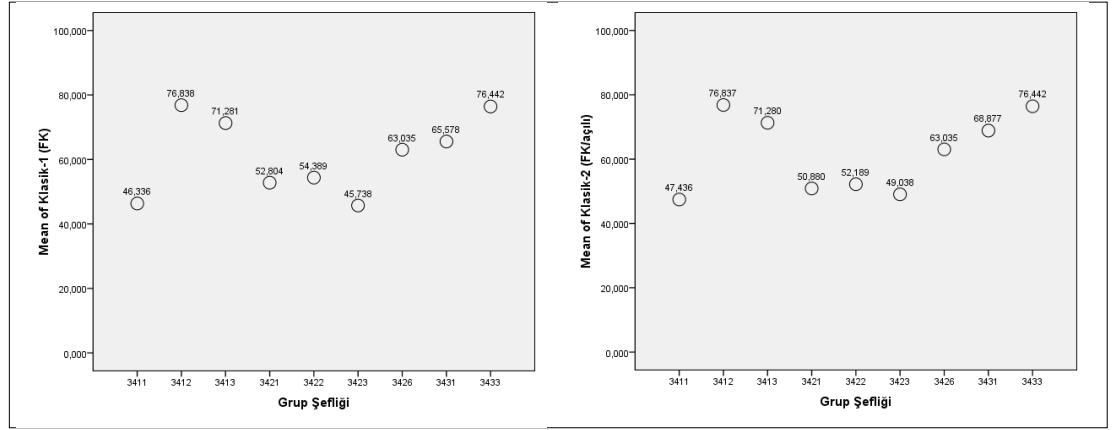
Çizelge 6.1 : GŞ ve KM’lere ait bileşke yüklenme değerleri ve sıralaması (klasik yaklaşım).

050100 0-100 aralığında yüklenme skalası																			
Fizyolojik Yüklenme				Fizyolojik Yüklenme (açı aralıklı model)				Çevresel Koşul Yüklenmesi				Mental Yüklenme							
FK düz				FK açılı				CK				MY							
												Bileşke-1 (FK düz)				Bileşke-2 (FK açılı)			
Grup Şefliği	Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra			
	3411	Parça Üretimi	38,7	9	42,1	9	49,3	8	52,4	5	46,3	8	47,4	9	76,8	1			
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi	89,3	2	89,3	2	89,1	1	54,4	2	71,3	3	71,3	3	52,8	7			
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi	89,2	3	89,2	3	72,3	5	54,5	1	54,4	6	52,2	6	45,7	9			
	3421	Koltuklandırma	55,6	7	49,8	8	58,3	6	46,1	8	63,0	5	63,0	5	65,6	4			
	3422	Montaj I	56,7	5	50,0	7	55,5	7	52,7	4	76,4	2	76,4	2	65,7	2			
	3423	Montaj II	50,0	8	60,0	5	38,6	9	50,0	7	53,4	3	52,7	3	53,4	3			
	3426	Montaj III	56,7	5	56,7	6	82,7	3	51,6	6	71,0	1	72,7	1	71,0	1			
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi	74,6	4	84,6	4	78,8	4	45,3	9									
3433	Astar ve Son Kat Boya	89,6	1	89,6	1	89,1	1	53,0	3										
Kısm Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM	74,1	2	75,1	2	71,3	2	53,8	1	65,7	2	66,1	2	53,4	3			
	3420	Montaj KM	55,0	3	52,9	3	57,2	3	49,7	2	71,0	1	72,7	1					
	3430	Boya KM	82,1	1	87,1	1	83,9	1	49,1	3									

Özellikle görece yüksek yüklenme değerleri ortalamaları ile 3412, 3413, 3431 ve 3433 grup şeflikleri; 3410 ve 3430 kısım müdürlükleri çalışanları için “yüksek” bileşke yüklenme seviyelerinin söz konusu olduğu görülmektedir. Ancak daha detaylı sıralama ve sınıflandırma için hem grup şefliği hem de kısım müdürlüğü bazında varyans analizi yapılması gereği söz konusudur.

6.1.1 Grup şefliği bazında yüklenme ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış bileşke yüklenme değerleri ortalamalarının her iki Fizyolojik Yüklenme modeline göre karşılaştırmaları Şekil 6.1’de görülmektedir. Model-1 sonuçları kullanıldığında ortaya çıkan grafiksel gösterim bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 6.1 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).

Çizelge 6.2’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$).

Çizelge 6.2 : GŞ bazında varyans analizi (Model-1 / Bileşke Yüklenme).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	6489,321	8	811,165	18,761	0,000
Gruplar içi	1686,245	39	43,237		
Toplam	8175,566	47			

Çizelge 6.3 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / Bileşke Yüklenme).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	46,336	10,866	36,488	61,333
3412	7	76,838	0,243	76,630	77,304
3413	7	71,281	7,258	62,706	77,671
3421	7	52,804	3,516	47,669	56,687
3422	6	54,389	7,262	44,935	62,397
3423	4	45,738	5,676	42,900	54,252
3426	3	63,035	0,858	62,396	64,010
3431	4	65,578	10,582	53,731	76,283
3433	4	76,442	1,583	74,639	78,488
Tüm Sınıflar	48	61,478	13,189	36,488	78,488

Model-2 (açı aralıklı) sonuçları kullanıldığında ortaya çıkan grafiksel gösterim bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 6.4’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$).

Çizelge 6.4 : GŞ bazında varyans analizi (Model-2 / Bileşke Yüklenme).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	6551,079	8	818,885	18,164	0,000
Gruplar içi	1758,264	39	45,084		
Toplam	8309,343	47			

Çizelge 6.5 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / Bileşke Yüklenme).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	47,436	12,842	36,488	67,933
3412	7	76,837	0,243	76,629	77,303
3413	7	71,280	7,258	62,705	77,670
3421	7	50,880	2,803	47,669	55,753
3422	6	52,189	8,270	39,797	62,397
3423	4	49,038	4,665	42,900	54,252
3426	3	63,035	0,858	62,396	64,010
3431	4	68,877	7,162	59,809	76,282
3433	4	76,442	1,583	74,639	78,488
Tüm Sınıflar	48	61,610	13,296	36,488	78,488

Grup şefliklerine ait bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki fizyolojik modelin sonuçlarının kullanıldığı kapsamlara göre

irdelendi. Çizelge 6.6’de her iki modelin sonuçlarının kullanılmasıyla elde edilen bileşke yüklenme sonuçlarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusu olacaktır.

Çizelge 6.6 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).

Klasik-1 (FK)

Grup Şefliği		N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD ^a b	3423	4	45,73800		
	3411	6	46,33600		
	3421	7	52,80414	52,80414	
	3422	6	54,38883	54,38883	
	3426	3		63,03533	63,03533
	3431	4		65,57775	65,57775
	3413	7			71,28129
	3433	4			76,44225
	3412	7			76,83800
	Sig.			,517	,089

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Klasik-2 (FK/açılı)

Grup Şefliği		N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD ^a b	3411	6	47,43583		
	3423	4	49,03800	49,03800	
	3421	7	50,88000	50,88000	
	3422	6	52,18883	52,18883	
	3426	3		63,03533	63,03533
	3431	4			68,87700
	3413	7			71,28043
	3433	4			76,44200
	3412	7			76,83700
	Sig.			,970	,053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

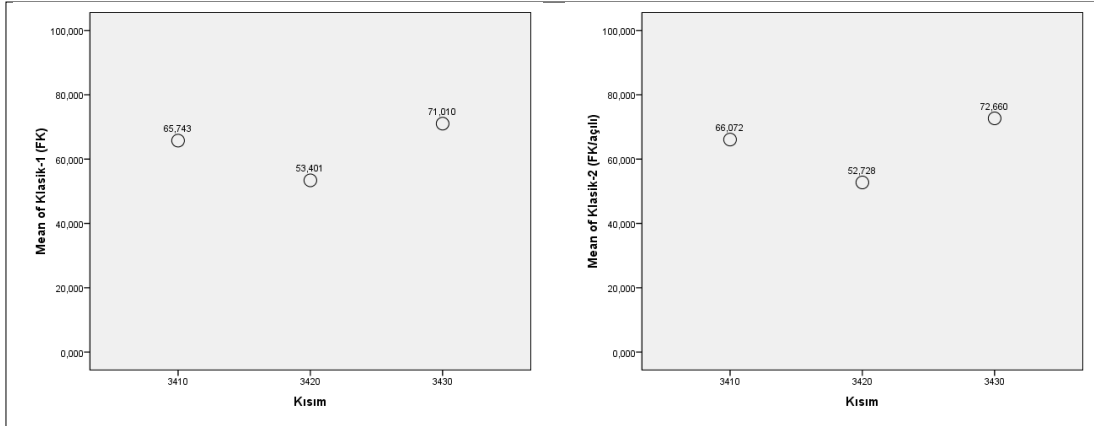
Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada her iki Fizyolojik Yüklenme modeli sonuçlarının kullanıldığı durumlardan her ikisinde de üçer alt sınıf göze çarpmaktadır. İlk model sonuçları kullanıldığında 3412, 3433 ve 3413 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek yüklenme değerleri ortalamaları ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “yüksek” seviyede yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle üçüncü alt sınıfta yer alırken, 3423 ve 3411 grup şeflikleri de sırasıyla en düşük yüklenme değerleri ortalamaları ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “normal / kabul edilebilir” seviyede yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle birinci alt sınıfta yer almaktadırlar.

İkinci model sonuçları kullanıldığında ise 3412, 3433, 3413 ve 3431 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek yüklenme değerleri ortalamaları ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “yüksek” seviyede yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle üçüncü alt sınıfta yer alırken, 3411 grup şefliği en düşük yüklenme değerleri ortalaması ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “normal” seviyede yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle birinci alt sınıfta yer almaktadır.

Her iki durumda da diğer grup şeflikleri en az iki alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup şefliği yüklenme değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

6.1.2 Kısım müdürlüğü bazında yüklenme ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış bileşke yüklenme değerleri ortalamalarının her iki Fizyolojik Yüklenme modeline göre karşılaştırmaları Şekil 6.2’de görülmektedir. Model-1 sonuçları kullanıldığında ortaya çıkan grafiksel gösterim bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 6.2 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).

Çizelge 6.7’da görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 6.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7 : KM bazında varyans analizi (Model-1 / Bileşke Yüklenme).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	2395,359	2	1197,679	9,324	0,000
Gruplar içi	5780,207	45	128,449		
Toplam	8175,566	47			

Çizelge 6.8 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-1 / Bileşke Yüklenme).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	65,743	14,944	36,488	77,671
3420	20	53,401	7,100	42,900	64,010
3430	8	71,010	9,099	53,731	78,488
Tüm Sınıflar	48	61,478	13,189	36,488	78,488

Model-2 (açı aralıklı) sonuçları kullanıldığında ortaya çıkan grafiksel gösterim bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 6.9’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 6.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9 : KM bazında varyans analizi (Model-2 / Bileşke Yüklenme).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	2952,852	2	1476,426	12,403	0,000
Gruplar içi	5356,491	45	119,033		
Toplam	8309,343	47			

Çizelge 6.10 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (Model-2 / Bileşke Yüklenme).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	66,072	14,914	36,488	77,670
3420	20	52,728	6,707	39,797	64,010
3430	8	72,660	6,277	59,809	78,488
Tüm Sınıflar	48	61,610	13,296	36,488	78,488

Kısım müdürlüklerine ait bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki fizyolojik modelin sonuçlarının kullanıldığı kapsamlara göre irdelendi. Çizelge 6.11’de her iki modelin sonuçlarının kullanılmasıyla elde edilen bileşke yüklenme sonuçlarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusu olacaktır.

Çizelge 6.11 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).

Klasik-1 (FK)				Klasik-2 (FK/açılı)			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2			1	2
Tukey HSD ^a	3420	20	53,40100	Tukey HSD ^a	3420	20	52,72755
„b	3410	20	65,74255	„b	3410	20	66,07185
	3430	8	71,01000		3430	8	72,65950
Sig.			1,000	Sig.			1,000
			,459				,274

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

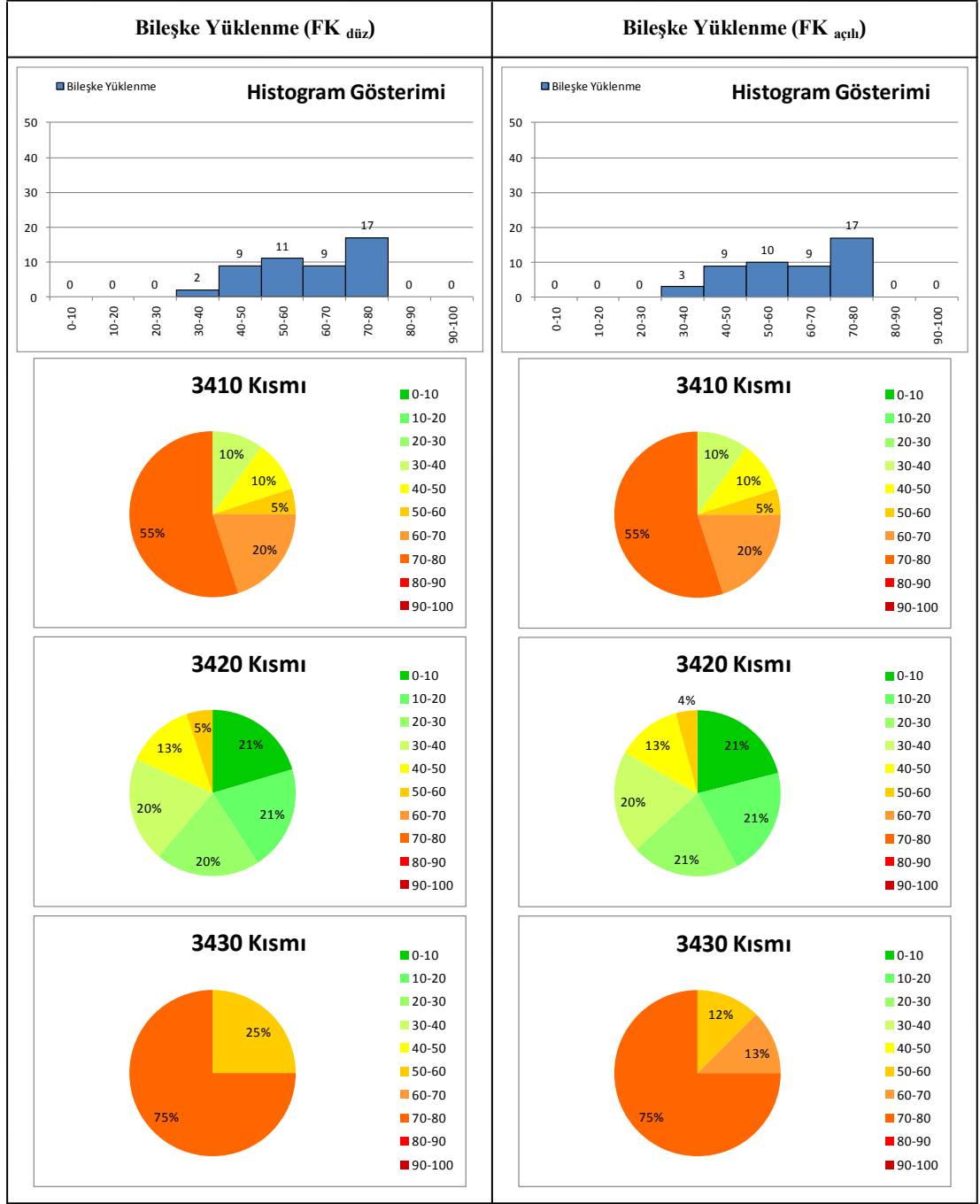
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında bileşke yüklenme değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, varyans analizinde çıkan sonuca paralel olarak her iki model sonuçlarının kullanıldığı durumlarda da iki alt sınıf oluştuğu, 3430 ve 3410 kısım müdürlüklerinin sırasıyla en yüksek bileşke yüklenme değerleri ortalamaları ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “yüksek” seviyede yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle ikinci alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğünün ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “düşük” ve “normal” seviyelerde yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle birinci alt sınıfta konumlandıkları görülecektir. Her iki model sonuçlarının kullanımında da bileşke yüklenme değer aralıklarının ve kriter değerleri ortalamasına göre sıralamanın oldukça benzer olduğu görülmektedir. Daha detaylı bilgiler, her iki Fizyolojik Yüklenme modeli sonuçları kullanılarak elde edilen bileşke yüklenme değerlerine göre 48 iş istasyonunun kısım müdürlüğü bazında bileşke yüklenme aralıklarına dağılımını ve histogram diyagramlarını gösteren Şekil 6.3’da yer almaktadır.



Şekil 6.3 : GŞ bazında İST’lerin bileşke yükleme aralıklarına dağılımı (eşit ağırlıklı / klasik kriter yaklaşımı).

6.2 Ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımına göre bileşke yükleme

“Fizyolojik Yükleme (FK)”, “Çevresel Yükleme (FK)” ve “Mental Yükleme (MY)” yükleme ağırlıklarının İmalat, Planlama ve Teknik Eğitim birimlerinde çalışan uzmanların görüşleri çerçevesinde AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemi ile belirlendiği ($w_{FK}=0,607$, $w_{CK}=0,286$, $w_{MY}=0,107$) söz konusu model kapsamında iş istasyonu bazında her üç yükleme boyutunu temsil eden ana

kriterlere göre yüklenme değerlerinin bileşkesi, tez çerçevesinde genel değerlendirme skalası olarak belirlenmiş olan (0-100) aralığına göre hesaplanmıştır. Önceki yöntemde olduğu gibi burada da fizyolojik yüklenmenin belirlenmesinde kullanılan iki farklı modele göre bileşke yüklenme değerinin 48 iş istasyonu için hesaplanması söz konusu olmuştur.

Bileşke yüklenme değerlerinin grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında ortalamaları DIN EN 614-1 standardının öngördüğü şekilde yüklenme şiddetlerinin renk skalası ile ifade edilmesi suretiyle Çizelge 6.12’de gösterilmiştir.

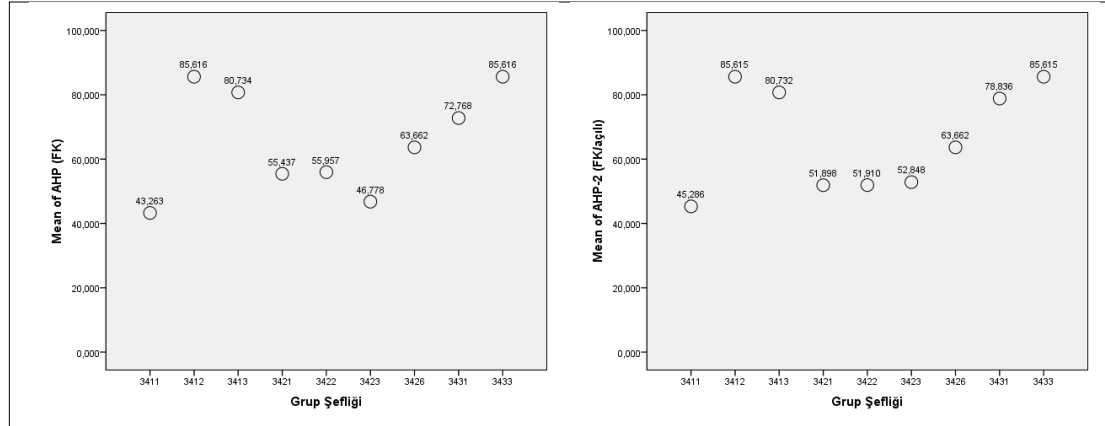
Çizelge 6.12 : GŞ ve KM’lere ait bileşke yüklenme değerleri ve sıralaması (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı).

0 50 100 0-100 aralığında yüklenme skalası										
		Fizyolojik Yüklenme		Fizyolojik Yüklenme (açı aralıklı model)		Çevresel Koşul Yüklenmesi		Mental Yüklenme		
		FK düz		FK açılı		CK		MY		
										Bileşke Yüklenme (ağırlıklandırılmış kriterler) Bileşke-1 (FK düz) Bileşke-2 (FK açılı)
	Kod	Açıklama	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
Grup Şefliği	3411	Parça Üretimi	38,7	9	42,1	9	49,3	8	52,4	5
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi	89,3	2	89,3	2	89,1	1	54,4	2
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi	89,2	3	89,2	3	72,3	5	54,5	1
	3421	Koltuklandırma	55,6	7	49,8	8	58,3	6	46,1	8
	3422	Montaj I	56,7	5	50,0	7	55,5	7	52,7	4
	3423	Montaj II	50,0	8	60,0	5	38,6	9	50,0	7
	3426	Montaj III	56,7	5	56,7	6	82,7	3	51,6	6
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi	74,6	4	84,6	4	78,8	4	45,3	9
	3433	Astar ve Son Kat Boya	89,6	1	89,6	1	89,1	1	53,0	3
Kısım Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM	74,1	2	75,1	2	71,3	2	53,8	1
	3420	Montaj KM	55,0	3	52,9	3	57,2	3	49,7	2
	3430	Boya KM	82,1	1	87,1	1	83,9	1	49,1	3

Özellikle görece yüksek yüklenme değerleri ortalamaları ile 3412, 3413 ve 3433 grup şeflikleri; 3430 kısım müdürlüğü çalışanları için “çok yüksek” bileşke yüklenme seviyelerinin söz konusu olduğu görülmektedir. Ancak daha detaylı sıralama ve sınıflandırma için hem grup şefliği hem de kısım müdürlüğü bazında varyans analizi yapılması gereği söz konusudur.

6.2.1 Grup şefliği bazında yüklenme ortalamalarının karşılaştırılması

Grup şefliği bazında sınıflandırılmış bileşke yüklenme değerleri ortalamalarının her iki Fizyolojik Yüklenme modeline göre karşılaştırmaları Şekil 6.4’de görülmektedir. Model-1 sonuçları kullanıldığında ortaya çıkan grafiksel gösterim bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 6.4 : GŞ ortalamalarının grafiksel gösterimi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).

Çizelge 6.13’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliklerine ait kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 6.14’de gösterilmiştir.

Model-2 (açı aralıklı) sonuçları kullanıldığında ortaya çıkan grafiksel gösterim bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında grup şefliği bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 6.15’de görüleceği üzere varyans analizi de grup şefliği kriter değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 6.16’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.13 : GŞ bazında varyans analizi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1 / Bileşke Yüklenme).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	11916,493	8	1489,562	30,317	0,000
Gruplar içi	1916,188	39	49,133		
Toplam	13832,681	47			

Çizelge 6.14 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1 / Bileşke Yüklenme).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	43,263	6,852	32,231	50,597
3412	7	85,616	0,242	85,378	85,863
3413	7	80,734	6,088	73,828	85,863
3421	7	55,437	5,871	50,218	68,121
3422	6	55,957	7,381	44,970	66,323
3423	4	46,778	4,937	44,310	54,183
3426	3	63,662	3,706	61,266	67,930
3431	4	72,768	17,108	48,406	84,941
3433	4	85,616	0,548	85,132	86,379
Tüm Sınıflar	48	65,822	17,156	32,231	86,379

Çizelge 6.15 : GŞ bazında varyans analizi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-2 / Bileşke Yüklenme).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	12276,200	8	1534,525	32,935	0,000
Gruplar içi	1817,108	39	46,593		
Toplam	14093,308	47			

Çizelge 6.16 : GŞ bazında tanımlayıcı istatistikler (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-2 / Bileşke Yüklenme).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3411	6	45,286	10,350	32,231	62,737
3412	7	85,615	0,242	85,376	85,861
3413	7	80,732	6,087	73,827	85,861
3421	7	51,898	8,936	38,293	68,119
3422	6	51,910	7,918	39,852	61,266
3423	4	52,848	5,792	44,310	56,450
3426	3	63,662	3,706	61,266	67,930
3431	4	78,836	6,762	72,686	84,939
3433	4	85,615	0,548	85,131	86,378
Tüm Sınıflar	48	66,064	17,316	32,231	86,378

Grup şefliklerine ait bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki fizyolojik modelin sonuçlarının kullanıldığı kapsamlara göre irdelendi. Çizelge 6.17’de her iki modelin sonuçlarının kullanılmasıyla elde edilen bileşke yüklenme sonuçlarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile grup şeflikleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusu olacaktır.

Çizelge 6.17 : GŞ ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).

AHP (FK)						AHP-2 (FK/açılı)				
Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05				Grup Şefliği	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3	4			1	2	3
Tukey HSD ^a	3411	6	43,26283			Tukey HSD ^a	3411	6	45,28617	
	3423	4	46,77825				3421	7	51,89757	51,89757
	3421	7	55,43671	55,43671			3422	6	51,91017	51,91017
	3422	6	55,95683	55,95683			3423	4	52,84825	52,84825
	3426	3		63,66167	63,66167		3426	3		63,66167
	3431	4			72,76750		3431	4		78,83625
	3413	7					3413	7		80,73200
	3433	4					3412	7		85,61625
	3412	7					3433	4		85,61525
Sig.			,140	,661	,534		Sig.		,725	,184
					,130					,824

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,877.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre oluşturulan ikili karşılaştırma tablosuna göre yapılan sınıflamada ilk fizyolojik model sonuçlarının kullanıldığı bileşke yüklenme kapsamı için dört, ikinci kapsam için üç alt sınıf oluşmuştur. İlk model sonuçları kullanıldığında 3412, 3433 ve 3413 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek yüklenme değerleri ortalamaları ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “çok yüksek” seviyede yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle dördüncü alt sınıfta yer alırken, 3411 ve 3423 grup şeflikleri de sırasıyla en düşük yüklenme değerleri ortalamaları ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “normal / kabul edilebilir” seviyede yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle birinci alt sınıfta yer almaktadırlar.

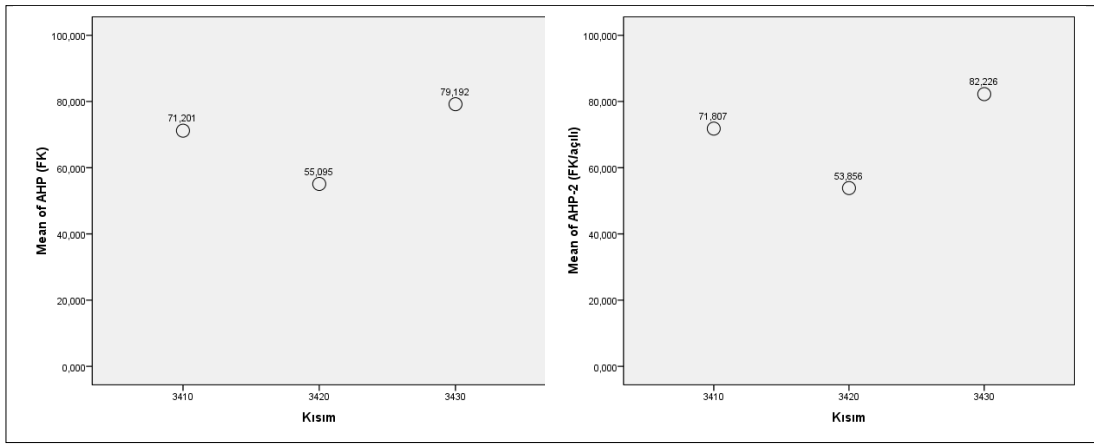
İkinci model sonuçları kullanıldığında ise 3433, 3412, 3413 ve 3431 grup şeflikleri sırasıyla en yüksek yüklenme değerleri ortalamaları ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “çok yüksek” seviyede yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle üçüncü alt sınıfta yer alırken, 3411 grup şefliği en düşük yüklenme değerleri ortalaması ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “normal” seviyede yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle birinci alt sınıfta yer almaktadır.

Her iki durumda da diğer grup şeflikleri en az bir alt sınıfa ait olacak şekilde arada konumlanmışlardır. Birden fazla alt sınıf aidiyeti, ait olunan alt sınıflardaki grup

şefliği yüklenme değerleri ortalamaları ile ikili karşılaştırmalarda, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

6.2.2 Kısım müdürlüğü bazında yüklenme ortalamalarının karşılaştırılması

Kısım müdürlüğü bazında sınıflandırılmış bileşke yüklenme değerleri ortalamalarının her iki Fizyolojik Yüklenme modeline göre karşılaştırmaları Şekil 6.5’de görülmektedir. Model-1 sonuçları kullanıldığında ortaya çıkan grafiksel gösterim bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor.



Şekil 6.5 : KM ortalamalarının grafiksel gösterimi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).

Çizelge 6.18’da görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 6.19’de gösterilmiştir.

Model-2 (açı aralıklı) sonuçları kullanıldığında ortaya çıkan grafiksel gösterim bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında kısım müdürlüğü bazında ayırt edici bir fark ve sıralama olduğunu gösteriyor. Çizelge 6.20’de görüleceği üzere varyans analizi de kısım müdürlüğü bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı hipotezini reddediyor (%95 güven aralığı için $p=0,000<0,050$). Varyans analizinde kullanılan tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 6.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.18 : KM bazında varyans analizi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1 / Bileşke Yüklenme).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	4310,233	2	2155,116	10,184	0,000
Gruplar içi	9522,448	45	211,610		
Toplam	13832,681	47			

Çizelge 6.19 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1 / Bileşke Yüklenme).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	71,201	19,509	32,231	85,863
3420	20	55,095	7,546	44,310	68,121
3430	8	79,192	13,143	48,406	86,379
Tüm Sınıflar	48	65,822	17,156	32,231	86,379

Çizelge 6.20 : KM bazında varyans analizi (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-2 / Bileşke Yüklenme).

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	Oran (F)	p değeri
Gruplar arası	5729,949	2	2864,975	15,415	0,000
Gruplar içi	8363,359	45	185,852		
Toplam	14093,308	47			

Çizelge 6.21 : KM bazında tanımlayıcı istatistikler (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-2 / Bileşke Yüklenme).

Sınıf Tanımı	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
3410	20	71,807	19,016	32,231	85,861
3420	20	53,856	8,153	38,293	68,119
3430	8	82,226	5,732	72,686	86,378
Tüm Sınıflar	48	66,064	17,316	32,231	86,378

Kısım müdürlüklerine ait bileşke yüklenme değerleri ortalamaları arasında farklılık durumu her iki fizyolojik modelin sonuçlarının kullanıldığı kapsamlara göre irdelendi. Çizelge 6.22’de her iki modelin sonuçlarının kullanılmasıyla elde edilen bileşke yüklenme sonuçlarının post-hoc (çoklu karşılaştırma) test yöntemleri ile kısım müdürlükleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak incelenmesi söz konusu olacaktır.

Çizelge 6.22 : KM ortalamalarının ikili karşılaştırmaları (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı / Model-1&2 / Bileşke Yüklenme).

AHP (FK)				AHP-2 (FK/açılı)			
Kısım	N	Subset for alpha = 0.05		Kısım	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2			1	2
Tukey HSD ^a	3420	20	55,09480	Tukey HSD ^a	3420	20	53,85610
„b	3410	20	71,20135	„b	3410	20	71,80715
	3430	8	79,19188		3430	8	82,22575
Sig.			1,000	Sig.			1,000
			,340				,131

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

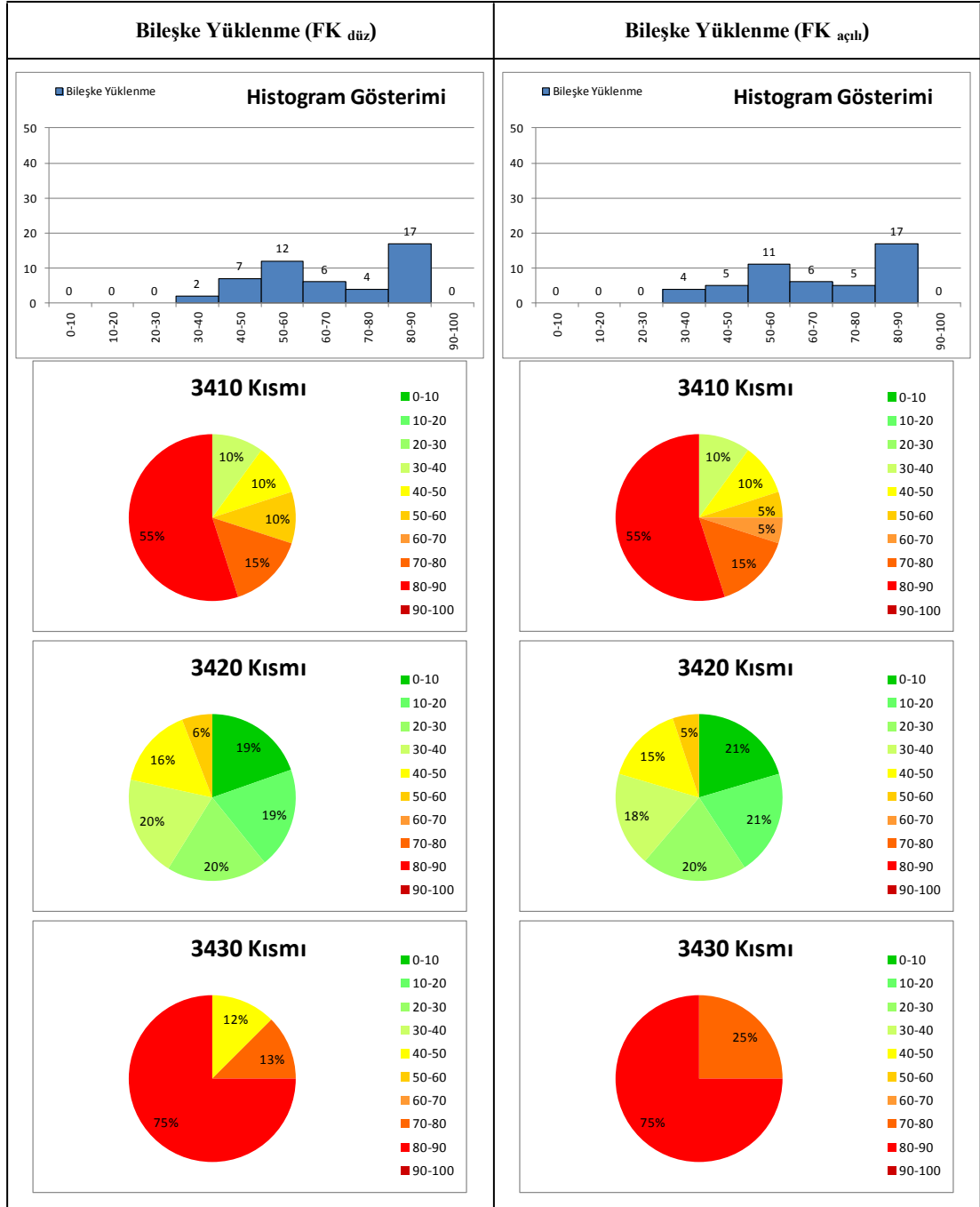
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,333.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Eşit varyans varsayımı çerçevesinde kullanılan Tukey testine göre belirlenen ikili karşılaştırmalardan yola çıkılarak kısım müdürlüğü bazında bileşke yüklenme değerleri ortalamalarının yüksekliklerine göre sınıflama ve sıralama yapılırsa, varyans analizinde çıkan sonuca paralel olarak her iki model sonuçlarının kullanıldığı durumlarda da iki alt sınıf olduğu, 3430 ve 3410 kısım müdürlüklerinin sırasıyla en yüksek bileşke yüklenme değerleri ortalamaları ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “çok yüksek” ve “yüksek” seviyelerde yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle ikinci alt sınıfta, 3420 kısım müdürlüğünün ise en düşük kriter değerleri ortalaması ile çalışanlar üzerinde büyük ölçüde “normal” ve “düşük” seviyelerde yüklenme maruziyeti yaratmak suretiyle birinci alt sınıfta konumlandıkları görülecektir. Her iki model sonuçlarının kullanımında da bileşke yüklenme değer aralıklarının ve kriter değerleri ortalamasına göre sıralamanın oldukça benzer olduğu görülmektedir. Daha detaylı bilgiler, her iki Fizyolojik Yüklenme modeli sonuçları kullanılarak elde edilen bileşke yüklenme değerlerine göre 48 iş istasyonunun kısım müdürlüğü bazında bileşke yüklenme aralıklarına dağılımını ve histogram diyagramlarını gösteren Şekil 6.6’de yer almaktadır.



Şekil 6.6 : GŞ bazında İST'lerin bileşke yüklenme aralıklarına dağılımı (ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı).

6.3 Bileşke yüklenme yaklaşımlarının karşılaştırılması

Temel yüklenme boyutları olan ve bileşke yüklenmeyi oluşturan ana kriterler konumundaki “Fizyolojik Yüklenme (FK)”, “Çevresel Yüklenme (FK)” ve “Mental Yüklenme (MY)” kriterlerinin önem derecesini eşdeğer kabul eden klasik yaklaşım ile önem derecelerinde farklılaşma öngören ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı sonuçları, 48 iş istasyonuna ait bileşke yüklenme değerleri çerçevesinde birbirleri ile eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırılmıştır. “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriter değerleri iki farklı model çerçevesinde belirlendiği için, iki yaklaşımın karşılaştırılmasında kullanılan farklı “Fizyolojik Yüklenme (FK)” modelleri de dikkate alınmalıdır.

Vücut bölgesi bazında eklem yerlerinin anlık gözlemler doğrultusunda açılabilir aralık konumlarının tespit edilmesi suretiyle hesaplanan “Fizyolojik Yüklenme (FK)” sonuçlarının kullanıldığı bileşke yüklenme sonuçları, klasik ve ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı çerçevesinde iş istasyonu bazında Çizelge 6.23’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, bileşke yüklenme ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi reddedilir, dolayısıyla her iki yaklaşımın ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında farklılık söz konusudur ($p=0,000<0,050$), kriter ağırlıklandırılmalı yaklaşım çerçevesinde elde edilen bileşke yüklenme değerleri daha yüksektir.

Çizelge 6.23 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (Model-1 / Bileşke Yüklenme).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	r	T	df	p değeri
Bileşke _{Klasik, M1}	61,478	48	13,189	1,904	48	0,962	-5,238	47	0,000
Bileşke _{AHP, M1}	65,822	48	17,156	2,476					

Sürekli gözlemler neticesinde çalışma süresi boyunca ilgili vücut bölgesi eklemlerinin önceden belirlenmiş açı aralıklarında ne kadar süre konumlandıklarından hareketle hesaplanan “Fizyolojik Yüklenme (FK)” kriter değerlerinin kullanıldığı bileşke yüklenme sonuçları, klasik ve ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı çerçevesinde iş istasyonu bazında Çizelge 6.24’de gösterilen eşleştirilmiş örneklem t-Test yöntemi ile karşılaştırıldığında, bileşke yüklenme ortalamaları arasında temel farklılık olmadığı hipotezi reddedilir, dolayısıyla her iki

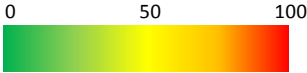
yaklaşımın ortaya koyduğu sonuçların ortalamaları arasında farklılık söz konusudur ($p=0,000<0,050$), kriter ağırlıklandırılmalı yaklaşım çerçevesinde elde edilen bileşke yüklenme değerleri daha yüksektir.

Çizelge 6.24 : Eşleştirilmiş örneklem t-Test sonuçları (Model-2 / Bileşke Yüklenme).

Örneklem İstatistiği					Korelasyon		t-Test Sonuçları		
Örneklem	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata	N	r	t	df	p değeri
Bileşke Klasik, M2	61,610	48	13,296	1,919	48	0,963	-5,359	47	0,000
Bileşke AHP, M2	66,064	48	17,316	2,499					

Ağırlıklandırılmış kriter yaklaşımı, klasik yaklaşıma göre daha yüksek bileşke yüklenme değerleri ortaya koyduysa da iş istasyonu, grup şefliği ve kısım müdürlüğü bazında sıralamaların oldukça benzer olduğu görülmektedir (Çizelge 6.25 ve Çizelge 6.26).

Çizelge 6.25 : GŞ ve KM bazlı bileşke yüklenme değerleri ve sıralaması (klasik ve kriter ağırlıklandırılmalı yaklaşım karşılaştırması).

		 0-100 aralığında yüklenme skalası		Bileşke Yüklenme (Klasik Model)		Bileşke Yüklenme (ağırlıklandırılmış kriterler)		Bileşke Yüklenme (Klasik Model)		Bileşke Yüklenme (ağırlıklandırılmış kriterler)	
				Bileşke-1 (Klasik / FK _{duz})		Bileşke-2 (AHP / FK _{duz})		Bileşke-3 (Klasik / FK)		Bileşke-4 (AHP / FK _{açılı})	
				Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
Grup Şefliği	Kod	Açıklama									
	3411	Parça Üretimi									
	3412	Karoseri - Alt Yapı Üretimi									
	3413	Karoseri - Üst Yapı Üretimi									
	3421	Koltuklandırma									
	3422	Montaj I									
	3423	Montaj II									
	3426	Montaj III									
	3431	KTL ve Yapıştırma Merkezi									
	3433	Astar ve Son Kat Boya									
Kısım Müdürlüğü	3410	Parça ve Karoseri İmalat KM									
	3420	Montaj KM									
	3430	Boya KM									

Çizelge 6.26 : İST bazlı bileşke yüklenme modellerinin karşılaştırılması.

050100

0-100 aralığında yüklenme skalası

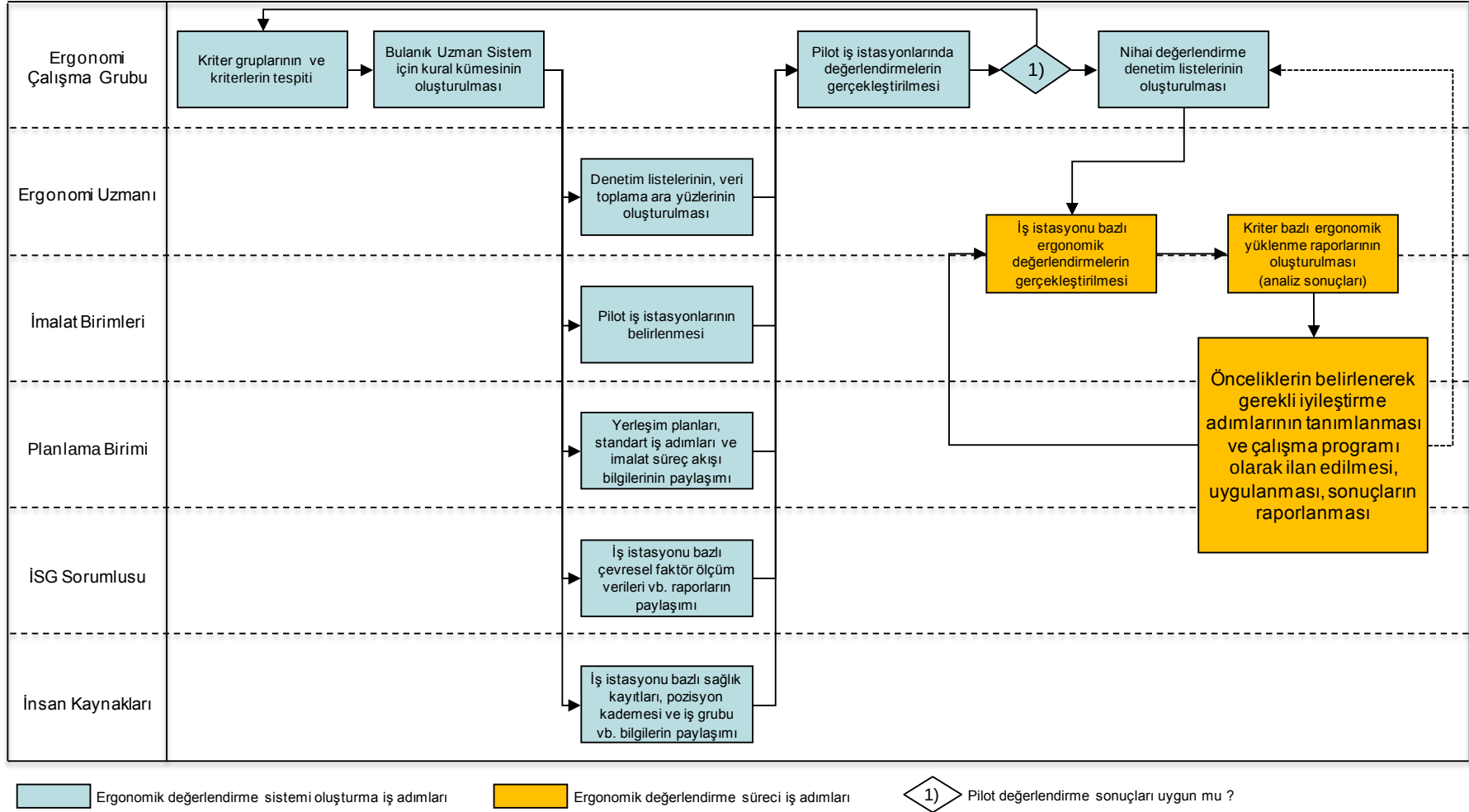
				Bileşke Yüklenme (Klasik Model)		Bileşke Yüklenme (ağırlıklandırma kriterleri)		Bileşke Yüklenme (Klasik Model)		Bileşke Yüklenme (ağırlıklandırma kriterleri)	
				Bileşke-1 (Klasik / FK düz)		Bileşke-2 (AHP / FK düz)		Bileşke-3 (Klasik / FK açık)		Bileşke-4 (AHP / FK açık)	
Kısım	Grup Şekli	Kod	İş İstasyonu Tanımı	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
3410	3411	PRC-01	NC Daire Testere Tezgahı - 1	76,6	7	85,4	8	76,6	7	85,4	8
3410	3411	PRC-05	Dikey Matkap Tezgahı - 1	76,6	7	85,4	8	76,6	7	85,4	8
3410	3411	PRC-07	NC Boru Bükme Tezgahı - 1	76,9	6	85,9	3	76,9	6	85,9	3
3410	3411	PRC-09	CNC Abkant Sac Büküm Tezgahı - 1	76,6	7	85,4	8	76,6	7	85,4	8
3410	3411	PRC-13	Lazer CNC Tezgahı - 1	76,9	5	85,9	2	76,9	5	85,9	2
3410	3411	PRC-16	Punch Pres Tezgahı - 1	76,9	5	85,9	2	76,9	5	85,9	2
3410	3412	ALTYP-01	Alt Yapı Son Kontrol İstasyonu	76,6	7	85,4	8	76,6	7	85,4	8
3410	3412	ALTYP-02	Bagaj Çerçevesi R1/R2 İstasyonu	77,1	4	85,5	7	77,1	4	85,5	7
3410	3412	ALTYP-03	Orta Altyapı 2. Operasyon İstasyonu	76,9	5	85,9	2	76,9	5	85,9	2
3410	3412	ALTYP-04	Ön Segment Komple Birleştirme İstasyonu	62,7	16	73,8	15	62,7	18	73,8	15
3410	3412	ALTYP-08	Ön Aks Öntü İstasyonu	64,0	14	74,6	13	64,0	16	74,6	13
3410	3412	ALTYP-09	Ön Aks Üstü İstasyonu	77,3	3	85,6	6	77,3	3	85,6	6
3410	3412	ALTYP-17	Doğrulma İstasyonu	55,8	27	68,1	17	55,8	25	68,1	18
3410	3413	ALTYP-10	Ön Segment (SHD/R2) Komple Birleştirme	49,9	32	52,2	29	49,9	30	52,2	29
3410	3413	ALTYP-12	Komple Birleştirme İstasyonu	47,7	33	50,2	32	47,7	33	50,2	30
3410	3413	ALTYP-13	İntouro Orta Segment İstasyonu	51,6	31	53,6	27	51,6	29	53,6	27
3410	3413	ALTYP-14	İntouro Pudrel İstasyonu	51,6	31	53,6	28	51,6	29	53,6	28
3410	3413	ALTYP-15	Arka Segment Ters Kaynak İstasyonu	56,7	24	56,0	22	51,9	28	47,2	32
3410	3413	USTYP-01	Çatma (DOM) İstasyonu	56,4	25	54,3	25	47,7	32	38,3	39
3410	3413	USTYP-02	Sağ Ön Kapı Bölgesi Sac Kaplama İstasyonu	59,8	22	73,3	16	59,8	22	73,3	16
3420	3421	KLT-05	Şoför Koluğu Ön Montaj Platformu	44,9	35	45,0	35	44,9	34	45,0	33
3420	3421	KLT-36	Elyaf Kesim Dikis Makinası	46,4	34	52,0	30	39,8	38	39,9	37
3420	3421	KLT-37	Çift İğneli Dikis Makinası	60,9	21	66,3	19	54,3	27	54,2	26
3420	3421	KLT-43	Tek İğneli Dikis Makinası	56,1	26	55,8	23	56,1	24	55,8	24
3420	3421	KLT-44	Overlok Makinası	55,7	28	55,4	24	55,7	26	55,4	25
3420	3421	KLT-47	Kumaş Kesim Masası	62,4	18	61,3	21	62,4	20	61,3	22
3420	3421	KLT-48	CNC Kumaş Kesim Tezgahı	42,9	36	44,3	36	42,9	35	44,3	34
3420	3422	MON-05	Kablo Demeti Hazırlık İstasyonu-1	54,3	29	54,2	26	54,3	27	54,2	26
3420	3422	MON-10	Hatta Alış İstasyonu	42,9	36	44,3	36	49,5	31	56,5	23
3420	3422	MON-11	Montaj İstasyonu- 1	42,9	36	44,3	36	49,5	31	56,5	23
3420	3422	MON-12	Montaj İstasyonu- 2	64,0	13	61,8	20	64,0	15	61,8	21
3420	3422	MON-13	Montaj İstasyonu- 3	62,4	19	61,3	21	62,4	21	61,3	22
3420	3422	MON-14	Montaj İstasyonu- 4	62,7	17	67,9	18	62,7	19	67,9	19
3420	3423	MON-17	Montaj İstasyonu- 7	40,8	38	39,8	39	40,8	37	39,8	38
3420	3423	MON-18	Montaj İstasyonu- 8	38,6	39	42,9	38	38,6	39	42,9	36
3420	3423	MON-19	Montaj İstasyonu- 9	41,9	37	44,0	37	41,9	36	44,0	35
3420	3423	MON-20	Montaj İstasyonu- 10	61,3	20	50,6	31	67,9	13	62,7	20
3420	3426	MON-27	Montaj İstasyonu- 18	72,5	12	84,4	12	72,5	12	84,4	12
3420	3426	MON-28	Montaj İstasyonu- 19	58,9	23	50,1	33	58,9	23	50,1	31
3420	3426	MON-29	Montaj İstasyonu- 20	36,5	40	32,2	40	36,5	40	32,2	40
3430	3431	KTL-05	KTL - Komisyonlama İstasyonu	53,7	30	48,4	34	66,9	14	72,7	17
3430	3431	PRC-12	Fosfatlama Tesisi	76,3	9	84,9	11	76,3	9	84,9	11
3430	3431	PRCBYH-05	Motor Kapak Yapıştırma İstasyonu	74,6	11	85,1	10	74,6	11	85,1	10
3430	3431	SKBYH-01	İzolasyon İstasyonu - Alt	76,5	8	85,3	9	76,5	8	85,3	9
3430	3433	SKBYH-03	KTL Zımpara Kabini 1	78,5	1	86,4	1	78,5	1	86,4	1
3430	3433	SKBYH-04	Strukturlack / Dekoratif Boya Kabini	76,2	10	85,6	5	76,2	10	85,6	5
3430	3433	SKBYH-05	Boya Kabini 2	77,7	2	85,7	4	77,7	2	85,7	4
3430	3433	SKBYH-06	Astar Zımpara Kabini	63,9	15	74,2	14	63,9	17	74,2	14

6.4 Analiz Sonuçlarının Kullanılması

Tez çerçevesinde geliştirilen ergonomik değerlendirme konsepti ile özellikle endüstriyel üretim faaliyeti gerçekleştirilen işletmelerde Ergonomi ve İSG uzmanları için hızlı, etkin ve esnek bir veri depolama, işleme, analiz ve raporlama altyapısı

oluşturulmuştur. Geliştirilen değerlendirme modeli ve bu modelin işletme özelinde uygulanması iki temel çıktı olarak özetlenebilir.

Literatürdeki birçok yöntemin kuvvetli yanlarını içerecek şekilde tasarlanan ergonomik değerlendirme konseptinin farklı sektörlerdeki üretim süreçlerinin ergonomik analizini gerçekleştirmeye yönelik sistemlerin geliştirilmesine olanak tanıyor olması ilk önemli çıktı olarak tanımlanabilir. Örneğin ergonomik değerlendirme konsepti çerçevesinde bir tekstil işletmesinin üretim sürecinde yer alan iş istasyonlarının analizinde kullanılacak farklı kriter kümelerinin ve değerlendirme listelerinin oluşturulması, değerlendirme süreci çıktısı olarak elde edilen analiz sonuçlarına göre odaklanılması gereken önceliklerin, hem kriter hem de iş istasyonu bazında belirlenmesi mümkün hale gelmiştir. şekil 6.7’de tez çalışması çerçevesinde yapılandırılan ergonomik değerlendirme konseptini kullanarak sektöre, hatta işletmeye özel bir değerlendirme sisteminin geliştirilmesine yönelik bir süreç önerilmiştir.



Şekil 6.7 : Ergonomik değerlendirme sistemi geliştirilmesi süreci.

İkinci temel çıktı ise otomotiv sektörü özelinde bir otobüs üretim tesisinde gerçekleştirilen ergonomik değerlendirme çalışmasının sonuçlarının kullanıldığı iş alanları ile ilgilidir.

Farklı işletme fonksiyonları tarafından üretilen veri kaynaklarının entegre kullanımına olanak tanıyan bilgi yönetimi yaklaşımı ile yeni bir tesis kurulumu, mevcut yerleşim planının revizyonu, yeni tezgah alımı veya tertibat tasarımı, imalat süreç akışının optimizasyonu gibi önemli Planlama faaliyetlerindeki kritik karar verme sürecine ergonomik analizlerin de kuvvetli bir kriter kümesi olarak dahil edilmesi sağlanmıştır.

Çalışanların iş istasyonları arasında rotasyona tabi tutularak sürekli yüklenmelerin önüne geçilmesi ve yüksek yüklenme seviyelerine maruz kalan çalışanlara yönelik daha adil bir ücret politikası oluşturulması gibi İnsan Kaynakları konularında da analiz sonuçlarının kullanılması mümkün hale gelmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Hendrick, H. W.** (1996). Good Ergonomics is Good Economics. 1996 HFES Presidential Address. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 40th Annual Meeting*. Philadelphia, Pennsylvania, September 2-6.
- [2] **Otomotiv Sanayicileri Derneği** (2011). Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu İçinde Otomotiv Sanayii (Rapor No: 2011/19).
- [3] **T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü** (2011). Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi - Otomotiv Sektörü Raporu (Rapor No 2011/1).
- [4] **Winter, G., Schaub, Kh., Landau, K. ve Bruder, R.** (2006). Development and validation of ergonomic screening-tools for assembly lines. *Proceedings IEA 2006 Congress, 16th World Congress on Ergonomics*, 10-14.07.2006, Maastricht, Netherlands.
- [5] **Häcker, H. O., ve Stapf, K.H.** (2004). *Dorsch Psychologisches Wörterbuch*. Bern: Verlag Hans Huber.
- [6] **Koether, R., Kurz, B., Seidel, U. A. ve Weber, F.** (2001). *Betriebsstättenplanung und Ergonomie: Planung von Arbeitssystemen*. München, Wien: Hanser.
- [7] **Schmidtke, H.** (1993). *Ergonomie*. München, Wien: Hanser.
- [8] **DIN EN 614-1** (2006). Sicherheit von Maschinen. Ergonomische Gestaltungsgrundsätze - Teil 1: Begriffe und Allgemeine Leitsätze. Deutsches Institut für Normung (DIN).
- [9] **ISO 6385** (2004). Ergonomic principles in the design of work systems. International Organization for Standardization (ISO).
- [10] **Rohmert, W.** (1986). Ergonomics: Concept of work, stress and strain. *International Review of Applied Psychology*, 35, 159-181.
- [11] **Brauchler, R. ve Landau, K.** (1998). Task Analysis: Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22, 13-35.
- [12] **Rohmert, W.** (1972). Aufgaben und Inhalt der Arbeitswissenschaft. *Die berufsbildende Schule* 24, 1, 3-14.
- [13] **Karwowski, W.** (2005). Ergonomics and human factors: the paradigms for science, engineering, design, technology and management of human-compatible system. *Ergonomics*, 48(5), 436-463.
- [14] **Smith, M.J., Karsh, B. ve Moro, F. B. P.** (1999). A review of research on interventions to control musculoskeletal disorders. *Work-Related*

Musculoskeletal Disorders: A report, Workshop Summary, and Workshop Papers. Washington DC: National Academy Press.

- [15] **Genaidy, A., Karwowski, W. ve Shoaf, C.** (2002). The fundamentals of work system compatibility theory: An integrated approach to optimization of human performance at work. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(4), 346-368.
- [16] **Beevis, D.** (2003). Ergonomics - Costs and Benefits revisited. *Applied Ergonomics*, 34, 491- 496.
- [17] **Laurig, W. ve Vedder J.** (1998). Ergonomics - Costs and Benefits revisited. *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*, 29, International Labor Office.
- [18] **Rohmert, W.** (1987). Physiological and psychological work load measurement and analysis. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors*, New York: Wiley.
- [19] **Hendrick, H. W.** (2003). An overview of macroergonomics. *Macroergonomics: Theory, Methods, and Applications*, 1-25.
- [20] **Rohmert, W.** (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 38, 193-200.
- [21] **Landau, K.** (2002). Ergonomie und Wirtschaftlichkeit - “rechnet“ sich die Arbeitsgestaltung?. *Angewandte Arbeitswissenschaft: Zeitschrift für die Unternehmenspraxis*, 172, 49-67.
- [22] **Douphrate, D. I. ve Rosecrante, J.** (2002). The economics and cost justification of Ergonomics. In D. Bloswick (Ed.), *Proceedings of the 2nd Annual Regional National Occupational Research Agenda Young Investigators Symposium* (pp. 29-40), University of Utah Press.
- [23] **MacLeod, D.** (1995). *The ergonomics edge: improving safety, quality, and productivity.* New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [24] **European Agency for Safety and Health at Work** (2008). Work-related musculoskeletal disorders: prevention report (Report No: EN4).
- [25] **Niu, S.** (2010). Ergonomics and occupational safety and health: An ILO perspective. *Applied Ergonomics*, 41, 744-753.
- [26] **Campion, M. A. ve Medsker, G. J.** (1992). Job design. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of industrial engineering* (pp. 845-881). New York: John Wiley & Sons.
- [27] **Das, B.** (1999). Development of a Comprehensive Industrial Work Design Model. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing* , 9(4), 393-411.
- [28] **MESS** (2003). *REFA İş Sistemi ve Süreç Düzenleme* (Vol. 2, pp. 261-318), İstanbul: MESS Yayınları.
- [29] **Brauchler, R. ve Landau, K.** (1998). Task Analysis: Part I - Guidelines for the practitioner. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22, 3-11.
- [30] **Kosiol, E.** (1973). Aufgabenanalyse. In Grochla, E. (Ed.), *Handwörterbuch der Organisation.* Stuttgart: Poeschel Verlag.

- [31] **David, D. C.** (2005) Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine*, 55, 190-199.
- [32] **Dempsey, P. G., McGorry, R. W. ve Maynard, W. S.** (2005). A survey of tools and methods used by certified professional ergonomists. *Applied Ergonomics*, 36, 489-503.
- [33] **Groover, M. P.** (2007). *Work Systems and the Methods, Measurement, and Management of Work*. NJ, USA: Pearson Education.
- [34] **Shanahan, C. J.** (2009). *A comparison of six Ergonomic Assessment tools to four psychophysical scales in the assessment of non-fixed work* (Doktora tezi). Graduate Program In Kinesiology and Health Science York University Toronto, Ontario, Canada.
- [35] **Kleiner, B. M.** (2006). Macroergonomics: Analysis and design of work systems. *Applied Ergonomics*, 37, 81-89.
- [36] **Shoaf, C., Genaidy, A. ve Shell, R.** (1998). A perspective on work system analysis: classification and evaluation of methods. *Ergonomics*, 41(6), 881-898.
- [37] **ISO 10075-3** (2004). Ergonomic principles related to mental workload - Part 3: Principles and requirements concerning methods for measuring and assessing mental workload. International Organization for Standardization (ISO).
- [38] **Univeristy of Surrey** (2003). *Assessing musculoskeletal disorders at work: which tools to use when?.* Surrey, UK: Guildford.
- [39] **Jones, T. ve Kumar, S.** (2006). Assessment of physical demands and comparison of multiple exposure definitions in a repetitive high risk sawmill occupation: Saw-filer. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(9), 819-827.
- [40] **Takala, E., Pehkonen, I., Forsman, M., Hansson, G., Mathiassen, S. E., Neumann, W. P., Sjøgaard, G., Veiersted, K. B., Westgaard, R. H. ve Winkel, J.** (2010). Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 36(1), 3-24.
- [41] **Genaidy, A., Salem, S., Karwowski, W., Paez, O. ve Tuncel, S.** (2007). The work compatibility improvement framework: an integrated perspective of the human-at-work system. *Ergonomics*, 50(1), 3-25.
- [42] **Macdonald, W. ve Evans, O.** (2006). *Research on the prevention of work-related musculoskeletal disorders*. Victoria, Australia: Australian Safety and Compensation Council.
- [43] **Bao, S., Howard, N., Spielholz, P. ve Silverstein, B.** (2007). Two posture analysis approaches and their application in a modified Rapid Upper Limb Assessment evaluation. *Ergonomics*, 50(12), 2118-2136.
- [44] **Hignett, S. ve McAtamney, L.** (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, 201-205.

- [45] **David, G., Woods, V., Li, G. ve Buckle, P.** (2008). The development of the Quick Exposure Check (QEC) for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Applied Ergonomics*, 39, 57-69.
- [46] **National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)** (1996). National Occupational Research Agenda (Report No: 15). Cincinnati (OH), US: Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention.
- [47] **National Center for Health Statistics** (2009). *Health, United States, 2009, with chartbook on trends in the health of Americans*. Hyattsville, USA: CDC.
- [48] **Vaughan-Jones, H. ve Barham, L.** (2009). *UK Healthy Work: Challenges and Opportunities to 2030*. London, England: BUPA.
- [49] **Punnett, L.** (2000). Editorial - commentary on proposed OSHA ergonomics program standard. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 42(10), 970-981
- [50] **National Research Council and Institute of Medicine** (2001). *Musculoskeletal disorders and the workplace: low back and upper extremities*. Washington DC: National Research Council and Institute of Medicine, National Academy Press.
- [51] **Zadeh, L. A.** (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3, 1, 28-44.
- [52] **Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- [53] **Zadeh, L. A.** (2008). Is There a Need for Fuzzy Logic?, *Information Sciences*, 178, 2751-2779.
- [54] **Zadeh, L. A.** (1979). A Theory of Approximate Reasoning. *Machine Intelligence*, 9, 149-194.
- [55] **Klir, G. J.** (2006). Fuzzy Set Theory. *Uncertainty and Information: Foundations of Generalized Information Theory* (pp. 260-314). New York: John Wiley & Sons.
- [56] **Ross, T.** (2010). Fuzz Rule-Based Systems. *Fuzzy Logic with Engineering Applications* (3rd edition, pp 232-265). New York: John Wiley & Sons.
- [57] **Dubois, D. ve Prade, H.** (1983). Ranking of Fuzzy numbers in the setting of possibility theory, *Information Sciences*, 30, 183-224.
- [58] **Zadeh, L. A.** (2010). A Summary and Update of "Fuzzy Logic". *IEEE International Conference on Granular Computing*. San Jose, USA: August, 14-16.
- [59] **Kahraman, C., Gülbay, M. ve Kabak, Ö.** (2006). Applications of Fuzzy Sets in Industrial Engineering: A Topical Classification. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 201, 1-55.
- [60] **The Math Works** (2008). *MatLab - User's Guide for Fuzzy Logic Toolbox*. The Math Works Inc.

- [61] **Mamdani, E. H.** (1976). Advances in linguistic synthesis of fuzzy controllers. *International Journal of Man-Machine Studies*, 8, 669-678.
- [62] **Ross, T.** (2010). Fuzz Rule-Based Systems. *Fuzzy Logic with Engineering Applications* (3rd ed., pp 232-265). New York: John Wiley & Sons.
- [63] **Sugeno, M. ve Kang, G.** (1988). Structure identification of fuzzy model. *Fuzzy Sets and Systems*, 28,15-33.
- [64] **Tsukamoto, Y.** (1979). An approach to fuzzy reasoning method. In M. Gupta, R. Ragade, and R. Yager (Eds.), *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications* (pp. 137-149). Amsterdam: Elsevier.
- [65] **Mamdani, E. H. ve Assilian S.** (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7, 1-13.
- [66] **Feigenbaum, E. A.** (1979). Themes and case studies of knowledge engineering. *Expert Systems in the Micro-Electronic Age* (pp. 3-25). Edinburgh: Edinburgh University Press.
- [67] **Mandal, A. K.** (2006). Fuzzy Logic Based Controller. *Introduction to Control Engineering : Modeling, Analysis and Design* (pp. 419-452). New Age International.
- [68] **Zadeh, L. A.** (1998). Fuzzy Logic. *Computer*, 21(4), 83-98.
- [69] **Mital A. ve Karwowski, W.** (1986). Towards the development of human workperformance standards in futuristic man-machine systems: A fuzzy modeling approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 19(2), 133-147
- [70] **Genaidy, A. M., Karwowski, W., Doran, M. C., Vogiatzis, C., Deraiseh, N. ve Prins, A.** (1998). What is 'heavy'?. *Ergonomics*, 41(4), 420-432.
- [71] **Ntuen, C.E.** (1999). The Application of Fuzzy Set Theory to Cognitive Workload Evaluation of Electronic Circuit Board Inspectors. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 9(3), 291-301.
- [72] **Kaya, M. D., Hasiloğlu, A. S., Bayramoğlu, M., Yeşilyurt, H. ve Özok, A. F.** (2003). A new approach to estimate anthropometric measurements by adaptive neuro-fuzzy inference system. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 32, 105-114.
- [73] **Nunes, I.** (2006). ERGO_X - The Model of a Fuzzy Expert System for Workstation Ergonomic Analysis. In W. Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (pp. 3114-3121). CRC Press.
- [74] **Nunes, I. ve Ribeiro R. A.** (2000). The ERGO_X Workstation Analysis Compared with other Ergonomic Tools. *Proceedings of the IEA 2000 / HFES 2000 Congress*.
- [75] **Azadeh, A., Fam, I. M., Khoshnoud, M. ve Nikafrouz, M.** (2008). Design and implementation of a fuzzy expert system for performance assessment of an integrated health, safety, environment (HSE) and ergonomics system: The case of a gas refinery. *Information Sciences*, 178, 4280-4300.

- [76] **Nanda, S. K., Tripathy, D. P. ve Petra, S. K.** (2009). Fuzzy inference system-based noise prediction models for opencast mines. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 99999(1), 1-19.
- [77] **Shoaf, C.** (1998). A perspective on work system analysis: classification and evaluation of methods. *Ergonomics*, 41(6), 881-898.
- [78] **Rohmert, W. ve Landau, K.** (1979). Das arbeitswissenschaftliche Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse (AET). Merkmalheft. Bern Verlag Huber.
- [79] **Rohmert, W.** (1985). AET-a new job analysis method. *Ergonomics*, 28(1), 245-254.
- [80] **Landau, K., Brauchler, R. ve Rohmert, W.** (2003). The AET Method of Job Evaluation. In W. Karwowski and W. S. Marras (Eds.), *Occupational Ergonomics*. CRC Press.
- [81] **Parsons, K. C.** (2000). Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. *Applied Ergonomics*, 31, 581-594.
- [82] **ISO** (2011). Standards Development - Technical committees. Erişim tarihi: 01 Mart, 2011, erişim adresi http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=53390.
- [83] **Bruder, R.** (2010). Umgebungsbedingungen. *Vorlesung Arbeitswissenschaft - WS 2009/2010*. IAD (Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt).
- [84] **Johnson, D. L., Papadopoulos, P., Watfa, N. ve Takala, J.** (1999). Exposure Criteria, Occupational Exposure Levels. *Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control* (pp. 79-102). World Health Organization.
- [85] **IEC 60804** (2003). Integrating-averaging sound level meters. International Electrotechnical Commission (IEC).
- [86] **ISO 9612** (2009). Acoustics - Determination of occupational noise exposure - Engineering method. International Organization for Standardization (ISO).
- [87] **ISO 11690-1** (1996). Acoustics - Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery - Part 1: Noise control strategies. International Organization for Standardization (ISO).
- [88] **TRLV** (2010). Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (Lärm / Allgemeines & Teile 1-3).
- [89] **Sama, J.** (2000). *Assessing and Mitigating Noise Impacts*. New York, USA: New York State Department of Environmental Conservation.
- [90] **Rasmussen, J.** (1983). Skills, Rules and Knowledge; Signals, Signs and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13(3), 257-266.
- [91] **ISO 5349-1** (2001). Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements. International Organization for Standardization (ISO).

- [92] **ISO 2631-1** (1997). Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements. International Organization for Standardization (ISO).
- [93] **EG/44/2002** (2002). Physical Agents Vibration Directive of European Union. *Official Journal of the European Communities*, L177/13.
- [94] **TRLV** (2010). Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (Vibration / Allgemeines & Teile 1-3).
- [95] **ISO 7730** (2005). Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Organization for Standardization (ISO).
- [96] **ASHRAE 55P** (2003). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).
- [97] **Knauth, P.** (2005). *Bildungsdokument: Klimamessung. Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion*. Karlsruhe, Germany: Universität Karlsruhe.
- [98] **Charles, K. E.** (2003). Fanger's Thermal Comfort and Draught Models (Report Nr. IRC-RR-162). Ottawa, Canada: Institute for Research in Construction - National Research Council of Canada.
- [99] **ISO 7708** (1995). Air quality - Particle size fraction definitions for health-related sampling. International Organization for Standardization (ISO).
- [100] **DIN EN 481** (1993). Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles. Deutsches Institut für Normung (DIN).
- [101] **TRGS 900** (2001). Technische Regel für Gefahrstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).
- [102] **ISO 8995** (1989). Principles of visual ergonomics -- The lighting of indoor work systems. International Organization for Standardization (ISO).
- [103] **DIN EN 12464-1** (2011). Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Deutsches Institut für Normung (DIN).
- [104] **DIN EN 12464-2** (2007). Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 2: Arbeitsplätze im Freien. Deutsches Institut für Normung (DIN).
- [105] **Colombini, D. ve Occhipinti, E.** (2006). Preventing upper limb work-related musculoskeletal disorders (UL-WMSDS): New approaches in job (re)design and current trends in standardization. *Applied Ergonomics*, 37, 441-450.
- [106] **DIN EN 614-1** (2009). Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Gestaltungsgrundsätze - Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze. Deutsches Institut für Normung (DIN).

- [107] **ISO 14738** (2002). Safety of machinery - Anthropometric requirements for the design of workstations at machinery. International Organization for Standardization (ISO).
- [108] **ISO 11226** (2000). Ergonomics - Evaluation of static working postures. International Organization for Standardization (ISO).
- [109] **DIN EN 1005-4** (2008). Safety of machinery - Human physical performance - Part 4: Evaluation of working postures and movements in relation to machinery. Deutsches Institut für Normung (DIN).
- [110] **ISO 11228-3** (2003). Ergonomics - Manual handling - Part 3: Handling of low loads at high frequency. International Organization for Standardization (ISO).
- [111] **NASA-STD-3001** (1995). Space Flight Human-System Standard (Volume 1, Section 3). NASA (National Aeronautics and Space Administration).
- [112] **Juul-Kristensen, B., Fallentin, N. ve Ekdahl, C.** (1997). Criteria for classification of posture in repetitive work by observation methods: A review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19, 397-411.
- [113] **Colombini, D.** (1998). An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, 41(9), 1261-1289.
- [114] **Hamilton, N., Weimar, M. ve Luttgens, K.** (2007). *Kinesiology: Scientific Basis of Human Motion*. McGraw-Hill Humanities/Social Sciences/Languages.
- [115] **Kapandji, I. A.** (1987). *The Physiology Of Joints*. New York: Churchill Livingstone.
- [116] **Kroemer, K. H. E., Kroemer, H. J. ve Kroemer-Elbert, K. E.** (1997). *Engineering Physiology: Bases of Human Factors Engineering/Ergonomics* (4th edition). Springer Verlag.
- [117] **Richter, P.** (1998). Ergonomics. *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*. International Labour Organization (ILO).
- [118] **ISO 10075-2** (1996). Ergonomic principles related to mental workload - Part 2: Design principles. International Organization for Standardization (ISO).
- [119] **Wiebe, E. N., Roberts, E. ve Behrend, T. S.** (2010). An examination of two mental workload measurement approaches to understanding multimedia learning. *Computers in Human Behavior*, 26, 474-481.
- [120] **ISO 10075** (1991). Ergonomic principles related to mental workload - General terms and definitions. International Organization for Standardization (ISO).
- [121] **Hart, S. G. ve Staveland, L. E.** (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 139-183). Amsterdam: North Holland Press.
- [122] **Wickens, C. D.** (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159-177.

- [123] **Kee, D. ve Karwowski, W.** (2001). LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time. *Applied Ergonomics*, 32, 357-366.
- [124] **ACGIH** (2001). TLV (Threshold Limit Values) for chemical substances in the work environment.
- [125] **Colombini, D., Occhipinti, E. ve Grieco, A.** (2002). Work organization analysis: Task analysis, cycle time and rest periods. *Risk Assessment and Management of Repetitive Movements and Exertions of Upper Limbs* Job Analysis, Ocra Risk Indices, Prevention Strategies and Design Principles (Vol. 2, pp. 31-41). London: Elsevier.
- [126] **MSDN** (t.y.). Microsoft Active Server Pages: Frequently Asked Questions. *Microsoft Developer Network*. Erişim tarihi 02 Haziran, 2011, erişim adresi <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms972347.aspx>.
- [127] **w3schools** (t.y.). ASP Introduction. *w3schools*. Erişim tarihi: 03 Haziran, 2011, erişim adresi http://www.w3schools.com/asp/asp_intro.asp.
- [128] **Microsoft .NET** (t.y.). What is .Net. *Microsoft .NET Framework*. Erişim tarihi 02 Mayıs, 2011, erişim adresi <http://www.microsoft.com/net>.
- [129] **w3schools** (t.y.). ASP.NET Web Forms - Tutorial. *w3schools*. Erişim tarihi: 02 Mayıs, 2011, erişim adresi <http://www.w3schools.com/aspnet/>.
- [130] **MSDN** (t.y.). VML Introduction : Frequently Asked Questions About VML. *Microsoft Developer Network*. Erişim tarihi 06 Haziran 2011, erişim adresi <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb263898.aspx>.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Emre Mercan
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 9 Haziran 1977
E-Posta: emremercan@yahoo.com
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği
Yüksek Lisans: Boğaziçi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Mercan, E.** ve Özok. A.F., 2011: İnsan-Makina Sistemlerinin Değerlendirilmesinde Bulanık Modelleme, *17. Ulusal Ergonomi Kongresi*, 15 Ekim, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- **Mercan, E.** ve Özok. A.F., 2011: Otomotiv Sektöründe Ergonomi ve Verimlilik, *Karar Destek Sistemleri Sempozyumu*, 10 Mayıs, Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- **Mercan, E.** ve Özok. A.F., 2010: İnsan-Makina Sistemlerinin Değerlendirilmesinde Bulanık Modelleme ve Otomotiv Sektöründe bir Uygulama, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 30.Ulusal Kongresi*, 30 Haziran, Sabancı Üniversitesi, İstanbul.
- **Mercan, E.** ve Özok. A.F., 2009: İnsan-Makina Sistemlerinin Ergonomik Analizi ve Bir Uygulama, *5. Endüstri Mühendisliği Ergonomi Konulu Bahar Konferansı*, 10-11 Nisan, İzmir MMO, İzmir.

