

175822

**DEMİRYOLU HAT GEOMETRİSİ BOZULMASININ
BİLGİ SİSTEMLER DESTEKLİ MODELLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Hakan GÜLER
(501982009)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Temmuz 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Ekim 2005**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Güngör EVREN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Haluk GERÇEK

Prof. Dr. Mete SÜMER (İ.Ü.)

Prof. Dr. Sadettin ÖZEN (İ.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Nevzat ERSELCAN

EKİM 2005

ÖNSÖZ

Birlikte çalışmaya başladığımdan itibaren bana yön gösteren, çalışmalarında destek ve cesaret veren, tecrübelerini benimle paylaşan yönetici hocam sayın Prof. Dr. Güngör EVREN'e in içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Demiryolu verilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan TCDD 1. Bölge Yol Müdürlüğü'nde çalışan başta Nizamettin ARAS olmak üzere tüm Yol Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederim.

Bilecik'te yaptığım çalışmalarında bana yardım ve desteklerini esirgemeyen TCDD 1. Bölge 12. Şube Şefliği çalışanlarına teşekkür ederim.

Ankara'da yaptığım çalışmalarda yardımlarından dolayı başta Süha KÖYLÜ olmak üzere TCDD Ankara Yol Dairesi Başkanlığı çalışanlarına teşekkür ederim.

Doktora çalışmamın başından sonuna kadar bana yardım ve desteklerini esirgemeyen, Hollanda'da bulunduğün sürede benimle evini paylaşan Hollanda Delft Üniversitesi'nde çalışan meslektaşım Stasha JOVANOVIĆ'e teşekkür ederim.

Bozulma modelinin oluşturulması sırasında benimle tecrübelerini ve çalışmalarını paylaşan Fransa Demiryolları Araştırma Geliştirme Bölümü'nde çalışan Daniel LEVI'ye teşekkür ederim.

Demiryolu kontrol araçlarıyla ilgili bana bilgi ve doküman sağlayan merkezi İtalya'da bulunan Mer Mec firmasına ve Carlo EVANGELISTE'ye teşekkür ederim.

Gösterdiği ilgi, verdiği görüş ve öneriler için bölümümüz öğretim üyelerinden Prof. Dr. Haluk GERÇEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Sayısallaştırma çalışmalarında yardımlarından dolayı Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, Fotogrametri Anabilim dalı çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince bana her türlü desteği gösteren bölümümüz öğretim üyelerinden Prof. Dr. Emine AĞAR, Prof. Dr. İnal SEÇKİN, Yrd. Doç. Dr. Nevzat ERSELCAN, Yrd. Doç. Dr. Murat ERGÜN ve diğer tüm anabilim dalı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Uzun ve yoğun Doktora çalışmalarında akşamları, geceleri beni sabırla dinleyen, her adımda benimle heyecanımı, üzüntümü paylaşan meslektaşım Yaşar VİTOŞOĞLU'na; Coğrafi Bilgi Sistemleri'ni bana öğreten yardım ve desteklerini esirgemeyen arkadaşım S.Erkan KAÇMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ailemden ayrı kaldığım sürede bana her türlü desteği sağlayan beni sabırla bekleyen eşim Selver GÜLER'e, bana güç ve mutluluk veren sevgili oğlum Cengiz Egemen'e, beni bu günlere getiren aileme sevgi ve şükranlarımı sunuyorum.

Ekim 2005

Hakan GÜLER

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xx
1. GİRİŞ	1
2. DEMİRYOLU HATTINDA MEYDANA GELEN BOZULMALAR	4
2.1 Demiryolu Hattının Temel Yapısı ve İşlevi	6
2.2 Hat Geometrisinin Bozulması	7
2.2.1 Düşey geometrinin bozulması	9
2.2.2 Yatay geometrinin bozulması	14
2.3 Varlık Yönetim Sistemleri Kavramı	15
2.3.1 Demiryollarında varlık yönetim sistemi kavramı	16
2.3.2 Demiryolu sistem altyapısı kavramı	18
2.3.3 Demiryolu varlıklarının yerinin belirlenmesi	19
3. DEMİRYOLU HATTINDA KULLANILAN KONTROL VE TANI SİSTEMLERİ	25
3.1 Tünel Kontrol Sistemleri	25
3.2 Köprülerin Kontrol ve Yönetim Sistemleri	26
3.3 Demiryolu Altyapısının Kontrolü	27
3.3.1 Altyapının durumunu belirleyen parametreler	29
3.3.2 Zemin penetrasyon radarı	29
3.3.3 Hattın rijitliğinin ölçülmesi	31
3.3.4 Kızıl ötesi termografik ölçüm yöntemi	33
3.3.5 Penetrasyon yapmadan su muhtevası kontrolü	34
3.4 Makas ve Kesişmelerin kontrolü	34
3.5 Ultrasonik Ray Kontrolleri	36
3.6 Demiryolu Kontrol Araçları	38
3.6.1 Optik ölçüm sistemleri	41
3.6.2 Teleskobik ölçüm aksları	41
3.6.3 Ataletsel ölçüm yöntemi	43
3.6.4 Kiriş ölçüm yöntemi	44
3.6.5 Demiryolu geometrisinin kontrolü	45
3.6.6 Ray profil kontrolü	46
3.6.7 Ray yüzeyi kontrolü	47
3.6.8 Kataner sistem kabloların kontrolü	48
3.6.9 Demiryolunun video ile kontrolü	48

4. DEMİRYOLU HATTINA YAPILAN BAKIM VE YENİLEME ÇALIŞMALARI	51
4.1 Demiryolu Hattına Yapılan Bakım Çalışmaları	52
4.1.1 Demiryolu hattına elle yapılan bakım çalışmaları	53
4.1.2 Ray taşlama trenleri	54
4.1.3 Rayın mantarının yeniden şekillendirilmesi	56
4.1.4 Kaynak geometrisinin düzeltilmesi	56
4.1.5 Buraj makineleri	58
4.1.6 Balast püskürtücüler	59
4.1.7 Balast enkesitinin düzenlenmesi	60
4.1.8 Balast direncini artıran makineler	60
4.1.9 Balast temizleyicileri	61
4.1.10 Altyapıyı düzenleyen makineler	62
4.1.11 Yüksek sıcaklıklar	63
4.2 Demiryolu Hattına Yapılan Yenileme Çalışmaları	64
4.2.1 Demiryolu hattına elle yapılan yenileme çalışmaları	66
4.2.2 Demiryolu hattında makineli yenileme çalışmaları	67
4.2.2.1 Ayaklı köprülü vinçlerle hattın yenilenmesi	67
4.2.2.2 Hat kesimleri yöntemiyle hattın yenilenmesi	68
4.2.2.3 Sürekli yöntemle hattın yenilenmesi	68
4.2.2.4 Hat yenileme trenleri	69
4.2.3 Makasların yenilenmesi	70
4.2.4 Demiryolu hattının döşenmesi	71
5. DEMİRYOLU HATTININ BAKIM VE YENİLENMESİYLE İLGİLİ PLANLAMA SİSTEMLERİ	72
5.1 Sistem Dinamikleri	72
5.2 Bakım ve Yenileme Planlaması Destek Sistemleri (MINI-MARPHAS ve MARPHAS)	73
5.3 Hat Bakım Sistemleri (TMS)	75
5.4 Shinkansen Yönetim Bilgi Sistemi (SMIS)	76
5.5 Hat Bakım Yönetimi (GEV)	77
5.6 Bakım Kesimlerinin Üstyapı Bilgisi ve Kontrolü (BINCO)	79
5.7 Demiryolunun Uzman Sistemlerle Planlaması, Organizasyonu ve Bakımı (REPOMAN)	79
5.8 Genel Bakım Kararları (DONG)	80
5.9 Bilgisayar Destekli İş Planlaması (KOMPLAN)	81
5.10 Büyük Periyodik Faaliyetler (GOP)	82
5.11 Ray Yenilemesi ve Net Şimdiki Değer (RPNPV)	83
5.12 Demiryolu Bakım ve Yenilemesinde Bilgisayar Destekli Sistemler (PATER)	84
5.13 Avrupa Demiryollarında Kullanılan Ecotrack Sistemi	85
5.13.1 Ecotrack sisteminin fonksiyonları	86
5.13.2 Ecotrack sisteminin veri tabanı	88
5.13.3 Ecotrack sisteminde kuralların oluşturulması	89
6. TCDD'DE HAT KONTROL ÇALIŞMALARI	91
6.1 Hat Geometrisi Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	93
6.1.1 Burulma grafiğinin değerlendirilmesi	94
6.1.2 Hat genişliği grafiğinin değerlendirilmesi	96

6.1.3	Yatay eksen grafiğinin değeriendirilmesi	97
6.1.4	Dever grafiğinin değeriendirilmesi	98
6.1.5	Nivelman grafiğinin değeriendirilmesi	101
6.2	Ray Kusurlarının Tespit Edilmesi	103
6.3	Kontrol Aracının Analiz Programı	103
7.	DEMİRYOLU HATTINDA MEYDANA GELEN BOZULMALARIN MODELLENMESİ	107
7.1	Teorik Hat Bozulma Modeli	118
7.2	Bozulma Modelinin Oluşturulmasında Gerekli Olan Temel Veriler	110
7.2.1	Demiryolu hattının bakım ve yenilemesinde kullanılan önemli büyüklükler	111
7.3	Demiryolu Hattında Meydana Gelen Bozulmaların Değeriendirilmesi	112
7.3.1	Bozulmaların değeriendirilmesinde dikkate alınacak hususlar	114
7.3.2	Demiryolu hat kalitesinin belirlenmesi	115
7.4	Hat Geometrisi Bozulmasının Modellenmesi	116
7.4.1	Çok değışkenli istatistiksel analiz	121
7.4.2	Elde edilen regresyon modelinin değeriendirilmesi	123
8.	HATTIN BAKIM VE YENİLEME ÇALIŞMALARINDA CBS'NİN KULLANILMASI	133
8.1	Temel Harita Bilgileri	133
8.2	Bilgi Sistemleri	136
8.3	Coğrafi Bilgi Sistemleri	138
8.3.1	Coğrafi bilgi sistemlerinin fonksiyonları	139
8.3.2	Coğrafi bilgi sistemlerinin bileşenleri	139
8.3.3	Coğrafi bilgi sistemlerinde sayısal harita kavramı	140
8.3.4	Coğrafi bilgi sistemlerinin temel işlevleri	141
8.3.5	Yazılım ürünleri	142
8.4	Demiryolu Mühendisliğinde CBS'nin Kullanılması	143
8.5	Bozulma Modelinin CBS Ortamında Çalıştırılması	145
9.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	150
	KAYNAKLAR	158
	EKLER	164
	ÖZGEÇMİŞ	269

KISALTMALAR

TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographical Information Systems)
VYS	: Varlık Yönetim Sistemleri
AMS	: Varlık Yönetim Sistemleri (Asset Management Systems)
BY	: Bakım ve Yenileme
B	: Bakım
Y	: Yenileme
GPS	: Küresel Konum Sistemleri (Global Positioning Systems)
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
FLI-MAP	: Havadan Hızlı Lazer Sistemlerle Görüntüleme ve Haritalama (Fast Laser Imaging and Mapping Airborne Platform)
LIDAR	: Işık Kullanarak Tarama ve Tespit (Light Detection And Ranging)
IR	: Kızıl ötesi
NIR	: Yakın Kızılötesi
VNIR	: Çok Yakın Kızılötesi
STRAIT	: Otomatik Tekrarlı Teknikle Ray Kaynaklarının Düzeltilmesi (Straightening of Rails Welds by Automated Iteration Technique)
CEN	: Avrupa Standartlar Enstitüsü (Comite Europeen De Normalisation)
ERRI	: Avrupa Demiryolları Araştırma Enstitüsü (European Railway Research Institute)
UIC	: Uluslararası Demiryolu Birliği (International Union of Railways)
UKR	: Uzun Kaynaklı Ray
UTM	: Merkator Projeksiyonu (Universal Transverse Mercator)
SQL	: Sorgulama Dili (Structured Query Language)
DBMS	: Veri Tabanı Yönetim Sistemleri (Database Management Systems)
RKT	: Regresyon Kareler Toplamı
AKT	: Artık Kareler Toplamı
RKO	: Regresyon Kareler Ortalaması
AKO	: Artık Kareler Ortalaması

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa no</u>
Tablo 2.1 : Uzaktan algılama teknolojilerinin karşılaştırılması.....	24
Tablo 3.1 : Modern demiryolu kontrol araçlarıyla tespit edilen kusurlar..	39
Tablo 5.1 : Ecotrak'ın kural tabanı.....	89
Tablo 5.2 : Ecotrack sisteminin genel kural grupları.....	90
Tablo 6.1 : M-PV7 aracının teknik özellikleri.....	92
Tablo 7.1 : TCDD'de kullanılan BY eşik tablosu.....	117
Tablo 7.2 : Demiryolu hattına yapılan BY çalışmaları.....	118
Tablo 7.3 : Hat geometrisi bozulmaları ve bunlar üzerinde etkin olan BY çalışmaları.....	119
Tablo 7.4 : İlk çoklu regresyon analizine ait model özeti.....	125
Tablo 7.5 : İlk adımsal çoklu regresyon analizinde modele dahil edilmeyen değişkenler.....	125
Tablo 7.6 : İlk adımsal çoklu regresyon analizi model özeti.....	126
Tablo 7.7 : Aykırı gözlemlerin sayısı.....	126
Tablo 7.8 : Sonuç adımsal çoklu regresyon analizine ait model özeti.....	127
Tablo 7.9 : Burulma ve hat genişliği analiz sonuçları.....	127
Tablo 7.10 : Eksenden sapma, dever ve nivelman analiz sonuçları.....	128
Tablo 7.11 : Hız değişkeni olmadan yapılan sonuç adımsal çoklu regresyon analizine ait model özeti.....	131
Tablo 7.12 : Burulma ve hat genişliği analiz sonuçları (hız değişkeni olmadan).....	132
Tablo 7.13 : Eksenden sapma, dever ve nivelman analiz sonuçları (hız değişkeni olmadan).....	132
Tablo 8.1 : Demiryolu hattına yapılan BY çalışmaları.....	147
Tablo 8.2 : Hat geometrisi bozulmaları ve TCDD'de kullanılan karşılıkları.....	148
Tablo A.1 : Çoklu regresyon modelinde verilerin gösterimi.....	172
Tablo A.2 : Çoklu regresyonda varyans analiz tablosu.....	176
Tablo B.1 : Parametreler korelasyon matrisi.....	181
Tablo B.2 : Regresyon modeli sonucu bulunan R değerleri.....	182
Tablo B.3 : Regresyon modeli varyans analizi.....	182
Tablo B.4 : Parametrelerin anlamlılık analizi.....	182
Tablo B.5 : Adımsal regresyon analizi sonucu bulunan R değerleri.....	186
Tablo B.6 : Adımsal regresyon modeli varyans analizi.....	186
Tablo B.7 : Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi.....	187

Tablo B.8	: Aykırı gözlemlerin test edilmesi.....	189
Tablo B.9	: Varyans şişme değerleri.....	191
Tablo B.10	: Varyans ayrışım oranları.....	191
Tablo B.11	: Sonuç adımsal regresyon modelinde bulunan R değerleri.....	192
Tablo B.12	: Sonuç adımsal regresyon modeli varyans analizi.....	192
Tablo B.13	: Sonuç adımsal regresyon modeli anlamlılık analizi.....	193
Tablo C.1	: Parametreler korelasyon matrisi.....	195
Tablo C.2	: Regresyon modeli sonucu bulunan R değerleri.....	196
Tablo C.3	: Regresyon modeli varyans analizi.....	196
Tablo C.4	: Parametrelerin anlamlılık analizi.....	196
Tablo C.5	: Adımsal regresyon analizi sonucu bulunan R değerleri.....	200
Tablo C.6	: Adımsal regresyon modeli varyans analizi.....	200
Tablo C.7	: Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi.....	201
Tablo C.8	: Aykırı gözlemlerin test edilmesi.....	202
Tablo C.9	: Varyans şişme değerleri.....	204
Tablo C.10	: Varyans ayrışım oranları.....	204
Tablo C.11	: Sonuç adımsal regresyon modelinde bulunan R değerleri.....	205
Tablo C.12	: Sonuç adımsal regresyon modeli varyans analizi.....	205
Tablo C.13	: Sonuç adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi	205
Tablo D.1	: Parametreler korelasyon matrisi.....	207
Tablo D.2	: Regresyon modeli sonucu bulunan R değerleri.....	208
Tablo D.3	: Regresyon modeli varyans analizi.....	208
Tablo D.4	: Parametrelerin anlamlılık analizi.....	208
Tablo D.5	: Adımsal regresyon analizi sonucu bulunan R değerleri.....	212
Tablo D.6	: Adımsal regresyon modeli varyans analizi.....	212
Tablo D.7	: Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi.....	213
Tablo D.8	: Aykırı gözlemlerin test edilmesi.....	214
Tablo D.9	: Varyans şişme değerleri.....	216
Tablo D.10	: Varyans ayrışım oranları.....	216
Tablo D.11	: Sonuç adımsal regresyon modelinde bulunan R değerleri.....	217
Tablo D.12	: Sonuç adımsal regresyon modeli varyans analizi.....	217
Tablo D.13	: Sonuç adımsal regresyon modeli anlamlılık analizi.....	218
Tablo E.1	: Parametreler korelasyon matrisi.....	219
Tablo E.2	: Regresyon modeli sonucu bulunan R değerleri.....	220
Tablo E.3	: Regresyon modeli varyans analizi.....	220
Tablo E.4	: Parametrelerin anlamlılık analizi.....	220
Tablo E.5	: Adımsal regresyon analizi sonucu bulunan R değerleri.....	224
Tablo E.6	: Adımsal regresyon modeli varyans analizi.....	224
Tablo E.7	: Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi.....	225
Tablo E.8	: Aykırı gözlemlerin test edilmesi.....	227
Tablo E.9	: Varyans şişme değerleri.....	229
Tablo E.10	: Varyans ayrışım oranları.....	229

Tablo E.11	: Sonuç adımsal regresyon modelinde bulunan R değerleri.....	230
Tablo E.12	: Sonuç adımsal regresyon modeli varyans analizi.....	230
Tablo E.13	: Sonuç adımsal regresyon modeli anlamlılık analizi.....	231
Tablo F.1	: Parametreler korelasyon matrisi.....	232
Tablo F.2	: Regresyon modeli sonucu bulunan R değerleri.....	233
Tablo F.3	: Regresyon modeli varyans analizi.....	233
Tablo F.4	: Parametrelerin anlamlılık analizi.....	233
Tablo F.5	: Adımsal regresyon analizi sonucu bulunan R değerleri.....	237
Tablo F.6	: Adımsal regresyon modeli varyans analizi.....	237
Tablo F.7	: Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi.....	238
Tablo F.8	: Aykırı gözlemlerin test edilmesi.....	239
Tablo F.9	: Varyans şişme değerleri.....	241
Tablo F.10	: Varyans ayrışım oranları.....	241
Tablo F.11	: Sonuç adımsal regresyon modelinde bulunan R değerleri	242
Tablo F.12	: Sonuç adımsal regresyon modeli varyans analizi.....	242
Tablo F.13	: Sonuç adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi	243
Tablo H.1	: Çeşitli kesimlere ait bağımsız değişkenler (Burulma parametresi).....	267
Tablo H.2	: Çeşitli kesimlere ait bağımsız değişkenlerin katsayılarla çarpılmış hali (Burulma parametresi).....	267
Tablo H.3	: Çeşitli kesimlere ait bağımsız değişkenler (Burulma parametresi-Hız değişkeni olmadan).....	268
Tablo H.4	: Çeşitli kesimlere ait bağımsız değişkenlerin katsayılarla çarpılmış hali (Burulma parametresi-Hız değişkeni olmadan).	268

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa no</u>
Şekil 2.1 : Demiryolu hattının bozulması.....	5
Şekil 2.2 : Balastlı demiryolu hattının şematik enkesiti.....	5
Şekil 2.3 : Demiryolu hattının temel yapısı ve işlevi.....	7
Şekil 2.4 : Demiryolu hattının serbestlik dereceleri.....	8
Şekil 2.5 : Demiryolu hattında meydana gelen bozulmaların dalga uzunlukları.....	8
Şekil 2.6 : Taşıt etkileşimiyle ilgili düşey geometrideki dalga boyları.....	9
Şekil 2.7 : Dinamik yükler altında en büyük yükün belirlenmesi.....	11
Şekil 2.8 : Demiryolu hattında meydana gelen burulma.....	13
Şekil 2.9 : Dever bozulması.....	14
Şekil 2.10 : Nivelman bozukluğu.....	14
Şekil 2.11 : Hat genişliğinin bozulması.....	15
Şekil 2.12 : Hattın ekseninden sapması.....	15
Şekil 2.13 : Fleş miktarının belirlenmesi.....	16
Şekil 2.14 : Orto foto örnekleri.....	20
Şekil 2.15 : Video görüntülerle demiryolu varlıklarının incelenmesi.....	21
Şekil 2.16 : İstanbul iline ait uydu görüntüsü.....	21
Şekil 2.17 : Havadan lazerle arazi haritasının oluşturulması.....	21
Şekil 3.1 : Tünel profilinin tarama görüntüleme (lazer/görsel/termal) sistemiyle incelenmesi.....	26
Şekil 3.2 : Köprü yönetim sisteminin genel yapısı.....	27
Şekil 3.3 : Altyapısı bozulmuş bir hat enkesiti.....	30
Şekil 3.4 : Paralel zemin penetrasyon radarlarının altyapı durumunu göstermesi.....	30
Şekil 3.5 : Demiryolu aracına yerleştirilmiş zemin penetrasyon radarı.....	31
Şekil 3.6 : Yüksek hızlı sehim ölçerin şematik gösterimi.....	32
Şekil 3.7 : Sehim hızları ve uygun eğri modelinin tespiti.....	33
Şekil 3.8 : Sehim hızı eğrisi ve sehim eğrisi.....	33
Şekil 3.9 : Makaslarda ölçüm noktaları.....	36
Şekil 3.10 : Rayda ultrasonik ölçüm bölgeleri.....	37
Şekil 3.11 : Hat geometrisi ölçüm sistemi.....	40
Şekil 3.12 : Hat genişliği ve yatay durumu ölçen optik ölçüm sistemi.....	41
Şekil 3.13 : Teleskobik ölçüm akslarının ilkesi.....	42
Şekil 3.14 : Ataletsel ölçüm cihazı.....	44

Şekil 3.15	: Farklı ölçüm araçlarına ait transfer fonksiyonları.....	44
Şekil 3.16	: Demiryolu geometrisinin ölçülmesi.....	45
Şekil 3.17	: Ray profilinin kontrolü.....	47
Şekil 3.18	: Ray enkesitinin ölçüm anındaki diyagramı.....	47
Şekil 3.19	: Ray yüzeyi üzerindeki ondülasyonların tespiti.....	47
Şekil 3.20	: Temas teli ölçüm sistemi.....	48
Şekil 3.21	: Demiryolunun video kontrolü.....	49
Şekil 3.22	: Ray yüzeyinin video ile kontrolü.....	49
Şekil 3.23	: Kataner sistemin video kontrolü.....	50
Şekil 4.1	: Demiryolu hattına yapılan bakım ve yenileme çalışmaları.....	51
Şekil 4.2	: Ray taşlamasında kullanılan titreşen taşlı sistem.....	54
Şekil 4.3	: Dönen taşlı sistemde taşlama ünitesi.....	55
Şekil 4.4	: Taşlama yapılmış ray yüzeyi.....	55
Şekil 4.5	: Ray mantarını yeniden şekillendiren makine.....	56
Şekil 4.6	: Bir kaç geçiş işlemiyle ray profilinin istenen şekle getirilmesi	56
Şekil 4.7	: Ray kaynaklarını düzelten makine.....	57
Şekil 4.8	: Otomatik tekrarlı teknikle ray kaynaklarının düzeltilmesi.....	58
Şekil 4.9	: a) İkili ve senkronize olmayan buraj prensibi b) Buraj ünitesi.	58
Şekil 4.10	: Buraj işleminin ardından balasta oluşan kaldırma/oturma grafiği.....	59
Şekil 4.11	: Balast püskürtme işleminin aşamaları.....	59
Şekil 4.12	: Balast enkesitini düzenleyen makine.....	60
Şekil 4.13	: (a) Dinamik direnç artırıcı makine (b) Direnç artırıcı ünite.....	61
Şekil 4.14	: Balast temizleme makinesi.....	62
Şekil 4.15	: Altyapıyı düzenleyen makine.....	63
Şekil 4.16	: Hava sıcaklığı ile ray sıcaklığı arasındaki ilişki.....	64
Şekil 4.17	: Ayaklı köprülü vinçler kullanılarak sürekli hat yenileme yönteminin uygulanması.....	68
Şekil 4.18	: Hat yenileme treni.....	69
Şekil 4.19	: Makas serme makinesi.....	70
Şekil 4.20	: Hat döşeme trenleri.....	71
Şekil 5.1	: SMIS yönetim sistemini.....	77
Şekil 5.2	: Ecotrack sisteminde yer alan ülkeler.....	85
Şekil 5.3	: (a) Sisteminin çalışma adımları (b) Sistemin çalışma planı.....	86
Şekil 5.4	: (a) Traverslerin serilme tarihleri (b) Hat malzeme özellikleri..	87
Şekil 5.5	: (a) Geçmişteki BY çalışmaları (b) Ölçümlerin istatistikleri.....	87
Şekil 5.6	: (a) Hat kalitesinin gösterilmesi (b) Hat kalitesinin değerlendirilmesi.....	88
Şekil 6.1	: M-PV7 demiryolu kontrol aracı.....	92
Şekil 6.2	: M-PV7 demiryolu kontrol aracı ölçüm sırasında.....	93
Şekil 6.3	: Bozulmanın değerlendirilmesinde kullanılan eko ve referanslar.....	93
Şekil 6.4	: Yol kontrol aracından elde edilen bozulma grafiği.....	94

Şekil 6.5	: M-PV7 ile burulmanın tespit edilmesi.....	95
Şekil 6.6	: Yol kontrol aracıyla elde edilen burulma diyagramı.....	95
Şekil 6.7	: M-PV7 ile hat genişliğinin tespit edilmesi.....	96
Şekil 6.8	: Yol kontrol aracıyla elde edilen hat genişliği diyagramı.....	97
Şekil 6.9	: M-PV7 ile yatay eksenden sapmanın ölçülmesi.....	97
Şekil 6.10	: Yol kontrol aracıyla elde edilen eksenden sapma diyagramı....	98
Şekil 6.11	: M-PV7 ile deverin ölçülmesi.....	99
Şekil 6.12	: Yol kontrol aracıyla elde edilen dever diyagramı.....	100
Şekil 6.13	: Kurp ve fleş diyagramları.....	100
Şekil 6.15	: M-PV7 ile nivelmanın ölçülmesi.....	101
Şekil 6.14	: Kontrol aracının nivelman ölçme tekniği.....	102
Şekil 6.16	: Yol kontrol aracıyla elde edilen nivelman diyagramı.....	102
Şekil 6.17	: Eksen sapma grafiklerinden ray başındaki ayrılmaların tespit edilmesi.....	103
Şekil 6.18	: Eksen sapma grafiklerinden ray conta bozukluklarının tespit edilmesi.....	103
Şekil 6.19	: Nivelman grafiklerinden ray üzerindeki ondülasyonun tespit edilmesi.....	103
Şekil 7.1	: Bilgisayar destekli BY.....	107
Şekil 7.2	: Demiryolu hattının teorik bozulması ve alınan önlemler.....	109
Şekil 7.3	: Standart sapma hesabına katılmayan bölgesel kusurlar.....	112
Şekil 7.4	: Demiryolu hattına geçmişte yapılan BY faaliyetlerinin bilinmesinin önemi.....	114
Şekil 7.5	: Normalize edilmiş standart sapma değerlerini kullanarak hat kalitesinin belirlenmesi.....	115
Şekil 7.6	: Analiz kesimlerinin sayısal ortamda veri tabanı.....	117
Şekil 7.7	: BY çalışmaları veri tabanı.....	119
Şekil 7.8	: Bozulma oranlarının tespit edilmesi.....	121
Şekil 7.9	: Toplam bakım çalışması sayısı.....	129
Şekil 7.10	: Toplam yenileme çalışması sayısı.....	130
Şekil 8.1	: Harita projeksiyonları.....	134
Şekil 8.2	: Mercator projeksiyonunda değişik projeksiyon şekilleri.....	134
Şekil 8.3	: Coğrafi koordinat sistemi.....	135
Şekil 8.4	: UTM koordinat sisteminin temel yapısı.....	136
Şekil 8.5	: Bilgi sisteminde akış şeması.....	137
Şekil 8.6	: Coğrafi bilgi sistemlerinin temel fonksiyonları.....	139
Şekil 8.7	: CBS'nin bileşenleri.....	140
Şekil 8.8	: CBS'de varlıkların gösterimi.....	140
Şekil 8.9	: Vektörel veri modelleri.....	141
Şekil 8.10	: Raster veri modelleri.....	141
Şekil 8.11	: Analiz kesimleri özelliklerinin CBS ortamında gösterilmesi....	146
Şekil 8.12	: CBS ortamında geçmiş tarihlerde yapılan BY çalışmaları ve kodlarının.....	147
Şekil 8.13	: Regresyon katsayıları araç çubuğu.....	148

Şekil 8.14	: Bozulma oranları araç çubuğu.....	148
Şekil 8.15	: İleriye yönelik tahmin araç çubuğu.....	149
Şekil B.1	: Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri.....	183
Şekil B.2	: Verilerin matris saçılım grafiği.....	185
Şekil B.3	: Tahmin ve gözlem değerleri.....	190
Şekil B.4	: Student türü artıklar.....	190
Şekil B.5	: Cook uzaklığı.....	190
Şekil C.1	: Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri.....	197
Şekil C.2	: Verilerin matris saçılım grafiği.....	198
Şekil C.3	: Tahmin ve gözlem değerleri.....	203
Şekil C.4	: Student türü artıklar.....	203
Şekil C.5	: Cook uzaklığı.....	203
Şekil D.1	: Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri.....	209
Şekil D.2	: Verilerin matris saçılım grafiği.....	211
Şekil D.3	: Tahmin ve gözlem değerleri.....	215
Şekil D.4	: Student türü artıklar.....	215
Şekil D.5	: Cook uzaklığı.....	215
Şekil E.1	: Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri.....	221
Şekil E.2	: Verilerin matris saçılım grafiği.....	222
Şekil E.3	: Tahmin ve gözlem değerleri.....	228
Şekil E.4	: Student türü artıklar.....	228
Şekil E.5	: Cook uzaklığı.....	228
Şekil F.1	: Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri.....	234
Şekil F.2	: Verilerin matris saçılım grafiği.....	235
Şekil F.3	: Tahmin ve gözlem değerleri.....	240
Şekil F.4	: Student türü artıklar.....	240
Şekil F.5	: Cook uzaklığı.....	240
Şekil G.1	: Terfi tanzim buraj (elle) çalışması sayısı.....	245
Şekil G.2	: Makineli buraj çalışması sayısı.....	245
Şekil G.3	: Küçük malzeme bakımı çalışması sayısı.....	245
Şekil G.4	: Küçük malzeme değiştirme çalışması sayısı.....	246
Şekil G.5	: Travers değiştirme çalışması sayısı.....	246
Şekil G.6	: Ray değiştirme çalışması sayısı.....	246
Şekil G.7	: Ray kaynağı ve UKR çalışması sayısı.....	247
Şekil G.8	: Ray göbek dolgu kaynağı çalışması sayısı.....	247
Şekil G.9	: Plastik dübel değiştirme çalışması sayısı.....	247
Şekil G.10	: Plastik selet ve yüksük tebdili çalışması sayısı.....	248
Şekil G.11	: Eski balastın elenmesi ve platform tanzimi çalışması sayısı.....	248
Şekil G.12	: Makineli yol elemesi çalışması sayısı.....	248

Şekil G.13	: Toplam bakım çalışması sayısı.....	249
Şekil G.14	: Toplam yenileme çalışması sayısı.....	249
Şekil H.1	: TCDD tarafından hazırlanmış demiryolu ağı haritası.....	251
Şekil H.2	: CBS ortamında TCDD ağı.....	253
Şekil H.3	: CBS ortamında grafik ve grafik olmayan verinin beraber gösterimi.....	253
Şekil H.4	: Herhangi bir kesim hakkında veriye ulaşmak.....	254
Şekil H.5	: Nokta yoğunluğu analizi.....	256
Şekil H.6	: Bir sorgulama analizi.....	256
Şekil H.7	: Toplam yük miktarları.....	256
Şekil H.8	: En kısa yol analizi.....	257
Şekil H.9	: Kesimlerde deray analizi.....	257
Şekil H.10	: Demiryolu kurumuna bağlı kazalarda ölen ve yaralananlar.....	258
Şekil H.11	: İşletmelere bağlı olarak bölgelerde meydana gelen derayların karşılaştırılması.....	258
Şekil H.12	: Bozulma oranları ve regresyon katsayıları.....	259
Şekil H.13	: Yazılan programla ekrana getirilen regresyon katsayıları.....	260
Şekil H.14	: Yazılan program kullanılarak BY eşik değerlerinin ekrana getirilmesi.....	261
Şekil H.15	: Gelecek tahmini için gerekli değerlerin ekrandan girilmesi.....	261
Şekil H.16	: Yazılan programın analiz işlemi sonucu bulunan bozulma değerleri.....	262
Şekil H.17	: Burulmanın zamanla değişimi.....	263
Şekil H.18	: Ekartmanın zamanla değişimi.....	263
Şekil H.19	: Fleşin zamanla değişimi.....	263
Şekil H.20	: Deverin zamanla değişimi.....	263
Şekil H.21	: Nivelmanın zamanla değişimi.....	264
Şekil H.22	: Sorgulama analizi sonucu üretilen sorgu tabloları.....	265
Şekil H.23	: Birinci dönemde analiz kesimlerinde oluşan bozulmalar.....	265
Şekil H.24	: Üçüncü dönemde ekartman bozulması olan kesimler.....	266

SEMBOL LİSTESİ

h_b	: Burulmada tekerlekler arası kot farkı
b_b	: Burulma miktarının ölçüldüğü genişlik
F	: Fleş
L	: Kiriş boyu
H	: Transfer fonksiyonu
a_i^j	: Bozulma değerleri
L_a	: Analiz kesimi uzunluğu
I_g	: Kontrol aracının kat ettiği mesafe
S_i	: Bozulma değerlerinin toplamı
Q	: Kalite puanı
k_i	: Ağırlık faktörü
K_g	: Genel çarpan
DN	: Dilim numarası
λ_0	: Orta boylam
QI	: Kalite indeksi
σ	: Standart sapma
P	: Pik değerler
T	: Zaman
B_i	: Bozulma değerleri
Y	: Yük
τ	: Bozulma oranı
y_i	: Bağımlı değişkenler
x_i	: Bağımsız değişkenler
$\bar{x}$	: Ortalama
s^2	: Varyans
r_{ij}	: Korelasyon katsayısı
β	: Regresyon katsayıları
ε	: Hata miktarı

b_j^*	: Standartlaştırılmış regresyon katsayısı
R	: Çoklu korelasyon katsayısı
R^2	: Çoklu belirtme katsayısı
$\bar{R}^2$	: Düzeltilmiş R^2
p_{ii}	: Gözlem uzaklıkları
e_i	: Ham artıklar
e_{is}	: Standartlaştırılmış artıklar
r_i	: Student türü artıklar
C_i^2	: Cook uzaklığı
KO_i	: Kovaryans oranı
VIF_i	: Varyans şişme değerleri
λ_i	: Özdeğerler
κ	: Koşul indeksi
i, j	: Değişkenler



DEMİRYOLU HAT GEOMETRİSİ BOZULMASININ BİLGİ SİSTEMLER DESTEKLİ MODELLENMESİ

ÖZET

Demiryolu hat bakım ve yenilemesiyle (BY) ilgili maliyetler önemli olup toplam altyapı maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu maliyetleri azaltacak önlemlerin alınması altyapı yönetiminde önemli bir etkinlik sağlayacaktır. Demiryolu hattına yapılacak müdahalelerin ne zaman, nerede ve nasıl olacağı, kaynakların en iyi şekilde tahsis edilmesi ve maliyetlerin en aza indirilmesi konularındaki problemler oldukça karmaşıktır. Çünkü yük altında bulunan aynı ya da farklı hat kesimleri çok farklı şekillerde davranış ortaya koyarlar. Bu sebeple BY çalışmalarıyla ilgili kararlar teknik ve ekonomik yönden birbirleriyle ilişkilidirler. Hat BY planları; büyük miktarlarda teknik ve ekonomik verilere, kapsamlı hat verilerine ve tüm bunların yanında tecrübelerine dayanır.

Demiryolu hattı bileşenleri ve tesislerinden oluşan varlıkların uygun yönetim sistemleri ve araçlarla yönetilmeleri gereklidir. Bu sebeple Varlık Yönetim Sistemi (VYS) kavramı verimli demiryolu çalışmalarında kullanılmaya başlamıştır. Varlık yönetim sistemi için pek çok tanım bulunmasına karşın, varlık yönetim sistemi; fiziksel yapıların bakımı, yenilenmesi ve işletilmesinin en ekonomik şekilde yapılması anlamına gelmektedir. Bu tanımla, varlık yönetimi uzun ve kısa dönemde kararların verilmesi için bir taslak oluşturur. Varlık yönetim sistemleri, planlamayla başlayan ve yenileme veya yeniden yapılmaya kadar devam eden süreçteki ekonomik ömrü tamamlamalıdır. Bakım süreçlerinin belirlenmesiyle, varlık yönetim araçları zaman tasarrufuna sağlayabilir ve demiryolu hattında uygun verileri sağlayabilir. Böylece yöneticiler uygun verileri kullanarak bakım stratejilerinin geliştirilmesinde tarafsız kararlar alabilirler.

Bu çalışmanın ana amacı, demiryolu hat geometrisi bozulmasını modellemek ve elde edilen modeli daha etkin ve verimli bir demiryolu hat bakım-yenileme yönetimi sağlamak için CBS ortamında çalıştırmaktır. Bu çalışmada, yaklaşık 183.2 km uzunluğundaki Arifiye-Eskişehir arasındaki demiryolu hattı analiz kesimlerine bölünmüştür. Analiz kesimlerinin belirlenmesinde, farklı hat kesimleri, farklı BY faaliyetleri, farklı trafik yükleri ve üstyapının yaşı dikkate alınmıştır. Her bir analiz kesimi veya aynı özellikteki hat kesimleri için; hat yapısı (raylar, traversler), trafik (toplam, yolcu ve yük trafiğinin oranı, hızlar), hat planı ve BY verisi mümkün olduğunca tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yüksek düzeyde bir karar destek sisteminin sağlanması için TCDD ağı CBS ortamına aktarılmıştır. Tüm TCDD ağının veri tabanının CBS ortamına aktarılması oldukça zor ve karmaşık olmuştur. Çünkü bu çalışma oldukça büyük miktarlarda veriyi gerektirmiştir. Farklı veri tabanlarındaki hat verisi ve varlık sistemleri hat durumunun analizi ve çalışma planlarının oluşturulması amacıyla CBS'ye aktarılmıştır. Bu veriler genel hat ve işletme verileri, üstyapı ve altyapı verileri,

geometri ölçümleri, kontrol ve diğer ölçümler, geçmiş tarihlerde yapılan çalışmalar ve analiz kesimleri düzeyinde demiryolu ağı haritası verilerinden oluşmaktadır.

Demiryolu kontrol araçlarından elde edilen düşey ve yatay geometrideki kusurları gösteren standart sapmalar, hat geometrisinin durumunu gösteren en uygun verilerdir. Bozulmaların standart sapmalarında meydana gelen değişimler, geçen zamanın veya trafiğin bir fonksiyonu olarak gösterilirler. Çalışmalarda ya en son hat BY faaliyeti ya da ilk ölçüm tarihi baz alınır. Bu çalışmada TCDD’de kullanılan demiryolu kontrol aracından elde edilen veriler kağıt bazlı olduğundan bozulmalar mm cinsinden değerlendirilmiştir.

Analiz kesimlerinin homojen olduğu kabul edilmiştir. Özellikle eğim, kurp, malzeme tipi ve yaş analiz kesimlerinin oluşturulmasında esas alınmışlardır. Sonuç olarak, 183.2 km uzunluğundaki hat kesimi, uzunluğu ortalama 220 metre olan 820 analiz kesimine bölünmüştür. Tüm bu işlemler CBS ortamında gerçekleştirilmiş ve ilgili veri tabanı ile ilişkilendirilmiştir. CBS ortamında herhangi bir analiz kesimine ait geçmiş BY çalışmalarına, malzeme tiplerine ve diğer pek çok özelliğine ulaşmak çok kolaydır.

Demiryolu hattı geometrisi bozulmasının modellenmesi için, SPSS 12.0 istatistik programı kullanılarak çok değişkenli istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir. Değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı Pearson yöntemiyle belirlenmiştir. Parametrelerin anlamlılık düzeyleri için $p < 0.05$ alınmıştır. Bağımlı değişken olan bozulma oranı (mm/ton) bağımsız değişkenler kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan bağımsız değişkenler şunlardır:

Yığılımlı yük (x_1); Hız (x_2); Eğrilik yarıçapı (x_3); Boyuna eğim (x_4); Dever miktarı (x_5); Travers tipi (x_6); Ray tipi (x_7); Ray uzunluğu (x_8); Taş düşme (x_9); Heyelan (x_{10}); Kar (x_{11}) ve Sel (x_{12}).

Analizlerde nitel ve nicel değişkenlerin her ikisi de kullanılmıştır. Göstermelik değişkenler; x_7 , x_8 , x_9 , x_{10} , x_{11} ve x_{12} bağımsız değişkenleri için kullanılmıştır.

Çok değişkenli istatistiksel analizden önce varyans-kovaryans ve saçılım grafikleri analizi yapılarak değişkenler arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Varyans-kovaryans ve saçılım grafiklerine dayanarak bazı değişkenler analizden çıkarılmıştır.

Demiryolu ulaştırmasında en iyi kararların alınmasında çok faydalıdır. Raylı sistemleri ve demiryolunun durumunu kontrol altında tutmak, yük ve yolcu taşımacılığında en iyi yolun bulunması, ulaştırma ağının devamlılığının sağlanması ve tüm bu çalışmaların coğrafik bir ortamda anlaşılması, kaynakların tahsisi ve kullanılması konularında coğrafik analizler çok etkilidir.

Hat geometrisinin durumunu belirleyen burulma, hat genişliği, hattın eksen durumu, dever ve nivelmanın bozulmasının belirlenmesi için SPSS istatistik programı kullanılarak çok değişkenli istatistiksel analiz gerçekleştirilmiş ve bağımsız değişkenlerin katsayıları tespit edilmiştir. Öncelikle, varyans analizi yapılarak, bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından açıklanıp açıklanmadığı, diğer bir deyişle, bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler kümesi arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığı test edilmiştir. Bu analiz için F testi uygulanmış ve sonuç anlamlı bulunmuştur. Parametrelerin anlamlılıkları Student testi ile kontrol edilmiş ve anlamlılık 0.05 den küçük bulunmuştur. Regresyon çözümlemesinin ikinci aşamasında, verideki her bir gözlem için gözlem istatistikleri ve gözlem analizi yapılmış ve çoklu bağıntı araştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar regresyon modelinin kabul edilebilir olduğunu göstermiştir.

Tüm bu bulgular gelecekte demiryolu hat geometrisinin nasıl bir davranış sergileyeceğini belirlemek için CBS ortamına aktarılmıştır. CBS kullanarak herhangi bir analiz kesiminin hat geometrisi değişimini görmek ve gelecekte BY kararlarını almak mümkündür. Ulusal düzeyde ulaştırma altyapılarındaki bir gelişim, ekonomik kalkınmada ve bunun devamı sağlıklı ekonominin gerçekleştirilmesinde çok önemli bir yere sahiptir. Benzer şekilde, ulaştırma sektöründeki pek çok kuruluş için kar ve rekabet edebilme ancak güvenli ve güvenilir sistemlere bağlıdır. Demiryollarında hat geometrisi bozulmasının belirlenmesi güvenlik, BY kararlarının alınması, sistemin rekabet gücünün artırılması gibi pek çok açıdan önemlidir. Bozulmayı etkileyen pek çok parametre olmasına karşın, bozulma modelini çok değişkenli istatistik yöntemler kullanarak modellemek mümkündür. Böyle bir çalışma, ancak düzenli ve uygun verilerin zaman içinde toplanmasıyla sağlanabilir. CBS; tasarım, inşaat veya bakım ile ilgili kritik kararların alınması gibi faaliyetler veya varlıklar arasındaki ilişkinin belirlenmesinde bir araç olarak kullanılabilir. Bu çalışmada CBS, demiryollarında BY maliyetlerinin azaltılması, kaynakların en iyi şekilde kullanılması ve ne zaman, nerede ve nasıl müdahale yapılacağını belirlenmesi konularında bir araç olarak kullanılmıştır.



MODELING RAILWAY TRACK GEOMETRY DETERIORATION: AN INFORMATION SYSTEMS BASED STUDY

SUMMARY

Costs of permanent way and its maintenance and renewal (M&R) are substantial and form a large part of the total infrastructure expenditure. Any reduction of these costs has a significant impact on the overall efficiency of the management of infrastructure. The process of determining whether, when, where and how to intervene and deciding on an optimum allocation of resources and minimizing the cost is a very complex problem because: different or mostly same track sections tend to behave differently under the effects of loading; decision processes for M&R works are closely interrelated technically and economically; thus decision-making for M&R plans is based on a large quantity of technical and economic information, extensive knowledge and above all experience.

The assets that consist of railway track components and facilities must be managed by using appropriate management systems and tools. Thus the term of asset management systems (AMS) was begun to use for realizing efficient railways. Although a number of definitions are used for asset management, asset management is the systematic process of maintaining, upgrading, and operating physical assets cost effectively. With this definition, asset management is a decision making tool that creates a framework for both long and short term planning. Asset management systems should provide complete life cycle coverage, starting with the planning and continuing until replacement or reconstruction. Through the automation of the maintenance process as asset management tool can save time and provide accurate information on railway track. This will help managers use good data to make objective judgment in selective maintenance strategies.

The main goal of this paper is to model track geometry deterioration and to operate the deterioration model on GIS environment for efficient railway track maintenance and renewal management. In this study, a model length of about 183.2 kilometers between Arifiye and Eskisehir was divided into Analyses segments. The analyses segments choice was intended to enable a study to be made of the effect of: the different types of track structure, the different levels of maintenance and renewal (M&R) operations, different traffic, and age of the superstructure.

Turkish State Railways network transferred into GIS environment in order to provide high quality decision support systems (DSS). It was extremely a complex system to transfer all data related network. It requires large amount of data to be available. Thus a track section data contained in various databases and asset management systems (AMS) was transferred into GIS database to be used for the track condition analyses and work planning purposes. This data contains general data, layout and operating data, general data on superstructure and infrastructure, geometry

measurements, inspections and other measurements, work history and map data of the railway network on the analysis segment base.

The essential descriptive parameters of the track geometry adopted are the standard deviations of defects in longitudinal level and in alignment measured by the track recording cars. The basic presentation of the data is a time history giving the development of the standard deviation of the defect or the equivalent as a function of traffic or time elapsed, the point of referenced being either the last track M&R operations or the date of first recording. In this study, deterioration of the railway track was evaluated in mm type because the data obtained from track recording car of TCDD were paper based.

These analyses segments are assumed to be homogenous. Especially slopes, curves, type of materials and their ages effected length of analyses segments during the division process. As a result of this process, 183.2 kilometers track length consisted of 820-unit segments and the average segment length was 220 meters. All processes were realized in GIS environment and connected with a database including the required data for all segments. In the GIS environment, it is easy to reach any segments' material type, work history and many others only by simple clicking on it.

Multivariable statistical analysis was performed using SPSS for Windows 12.0 (Chicago, Illinois) for modeling railway track geometry deterioration. Pearson's product moment correlation coefficient was used to calculate bivariate associations. $p < 0.05$ was regarded as statistically significant. Dependent variable which is the rate of deterioration (mm/ton) was calculated for track geometry using the independent variables which are expressed below.

Independent variables are Traffic (x_1); Velocity (x_2); Curvature (x_3); Gradient (x_4); Cant (x_5); Sleeper type (x_6); Rail type (x_7); Rail length (x_8); Falling stone (x_9); Land slide (x_{10}); Snow (x_{11}) and Flood (x_{12}).

In the analyses, both qualitative and quantitative variables were used. Dummy variables were used to express the qualitative variables which are x_7 , x_8 , x_9 , x_{10} , x_{11} , and x_{12} .

Before the multivariable statistical analysis, variance-covariance and scattered analyses were performed to find the best relationship between the variables and what kind of relationship (linear or non-linear) they have. Some of variables were excluded in some of analyses according the variance-covariance and scattered analyses.

In the railway transportation system, geographic analysis is the key to making better decisions. Monitoring rail systems and railways conditions, finding the best way to deliver goods and services, maintaining transportation networks, understanding these issues from a geographic perspective is crucial to deploying or spending resources wisely. Geographic Information Systems (GIS) can be used to determine the location of an event or asset and its relationship or proximity to another event or asset, which may be the critical factor leading to a decision about design, construction, or maintenance.

Multivariable statistical analysis was performed for track geometry deterioration which consisted of twist, nivelman (level), versine, gauge and cant and the coefficients of the independent variables were found by using SPSS statistical program. The obtained regression model was tested by using some hypothesis tests. Variance analysis was performed to determine whether there is a linear relationship

between dependent and independent variables. F test was used for this purpose and the result was found lower than regarded significance. Significances of the parameters in the analysis were tested with student test (t-test) and the significances were found lower than regarded significance ($p < 0.05$). At the second step of the regression analysis some case statistics and case analyses were performed and multicollinearity was investigated between the parameters. The findings showed that the regression model for track deterioration was reasonable.

These findings were transferred into GIS environment to evaluate the future behavior of the track geometry in visual perspective. GIS enabled us to reach the track geometry changing of any analysis segment and also helped us to take precautions and to plan M&R activities. The gateway to economic development and, subsequently, a healthy economy, transportation infrastructure represents one of the largest and most critical investments made in any nation, at any stage of development. Similarly, for many firms in the transportation industry, profitability and a strong competitive position depend on a safe and reliable system. Determining railway track deterioration is very important for safety, M&R decisions, increasing the competition and for many reasons. Although there are many factors which effect the deterioration, deterioration can be modeled by using multivariable statistical methods. Thus it is wise to collect appropriate data with regular intervals. GIS can be used to determine the location of an event or asset and its relationship or proximity to another event or asset, which may be the critical factor leading to a decision about design, construction, or maintenance. In this study, it was seen that GIS was a useful tool for the process of determining whether, when, where and how to intervene and deciding on an optimum allocation of resources and minimizing the M&R cost on railway track.

1. GİRİŞ

Ülkemizde karayolları taşımacılığın %95 'ini üstlenmiş olduğundan ulaştırma sisteminde denge bozulmuş ve bir çok olumsuzluklar artarak sürmektedir. En önemlisi karayollarımızda meydana gelen kazalar maddi ve manevi zararlara yol açmaktadır. Kentiçi ulaşımında artan araç sayısı trafik sıkışıklıklarına, gecikmelere ve dolayısıyla maddi kayıplara sebep olmaktadır. Ülkemizde gerek kentiçi gerek şehirler arası demiryollarının daha etkin, verimli ve rekabet edebilir hale getirilmesi önemlidir. Bu çalışmada demiryolu taşımacılığını etkinleştirme bağlamında, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) hatlarında meydana gelen hat geometrisi bozulmasının istatistik yöntemler kullanılarak, bilgi sistemler destekli bir modelinin oluşturulması amaçlanmaktadır. Elde edilen bozulma modeli kullanılarak demiryolu hattında kısa ve uzun dönemlerde yapılacak bakım ve yenileme (BY) programlarının hazırlanması mümkündür. Bozulma modelinin belirlenmesi öncelikli olarak demiryollarında yapılması gereken önemli çalışmalara bağlıdır. Bu çalışmalar;

1. Demiryolu hattının bozulma mekanizmasının belirlenmesi,
2. BY çalışmalarında uygun yönetim sistemlerinin belirlenmesi,
3. Demiryolu hattında meydana gelen bozulmaları tespit etmede kullanılan modern yöntemlerin kullanılması,
4. Demiryolu hattına yapılan BY çalışmalarının belirlenmesi,
5. Bilgi sistemlerinin kullanılması,
6. Bozulma modelinin oluşturulması, çalıştırılması ve BY programlarının hazırlanması.

Diğer teknolojik gelişmelere karşın yüzyıllardır demiryolu hattı üstyapısıyla ve altyapısıyla değişmeden kalmıştır. Tecrübelerle belirlenmiş olan bu tasarım, hem ekonomik hem de teknik açıdan çok uygun bir yapıdadır. Demiryolu hattının temel yapısı ve işlevi belirlenip, bozulma, titreşim ve gürültüyle ilgili ileri düzeylerde çalışmalar yapılarak, sistemi ekonomik ve teknik açıdan daha etkin bir hale getirmek mümkündür. Bir ülkenin gelişmesinde önemli bir yere sahip olan demiryollarında sağlıklı kararların alınabilmesi ancak demiryollarında uygun yönetim sistemlerinin

kullanılmasına bağlıdır. Demiryollarında etkinliğin ve verimliliğin sağlanması için sistemi oluşturan tesislerin ve elemanların yönetilmesiyle ilgili olarak uygun yönetim sistemlerinin neler olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bölüm 2’de demiryolu hattının altyapı ve üstyapı bileşenleri açıklandıktan sonra hattın bozulma mekanizması ele alınmıştır. Daha sonra, demiryolu hattının etkin bir şekilde yönetilmesiyle ilgili Varlık Yönetim Sistemleri (Asset Management Systems) açıklanarak sistem varlık verilerinin nasıl toplanacağına dair yöntemlerden de bahsedilmiştir.

Tasarım şeklinin aynı kalmasına rağmen günümüzde ve gelecekte demiryollarında modern teknolojilerinin kullanılması sistemin rekabeti için zorunludur. Çok yakın zamana kadar demiryolu hattı, uzman bakım ekipleri tarafından basit aletlerle veya gözlemsel olarak kontrol edilmekteydi. Ancak günümüz teknolojisinde demiryollarıyla ilgili büyük miktarlarda veri toplamak, bunları işlemek, işlenmemiş veriyi depolamak ve bunları anında kullanmak mümkündür. Bölüm 3’te demiryolu sistem altyapısı verilerinin toplanmasında kullanılan modern teknolojiler ana noktaları ile verilmiştir.

Demiryolu üzerinden geçen ağır ve yüksek hızlı araçların etkisi dikkate alındığında, demiryolu hattının çok narin bir yapıda olduğu görülür. Bu durum diğer inşaat mühendisliği yapılarıyla karşılaştırıldığında, demiryolu hattına yapılacak bakım ve yenilenmenin önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Demiryolu hattının bakım ve yenilenmesiyle ilgili maliyetler önemli olup toplam altyapı harcamalarının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. BY maliyetlerinde yapılacak azaltımlar, sistem altyapı yönetiminin verimliliğini önemli derecede etkilemektedir. Kaynakların en uygun tahsisıyla ve maliyetlerin en aza indirilmesiyle ilgili alınacak kararların ve önlemlerin ne zaman, nerede ve nasıl olacağının belirlenmesi oldukça karmaşık bir problemdir. Çünkü aynı yük etkisi altında bulunan demiryolu hattının farklı kesimleri farklı davranışlar göstermektedir. BY çalışmalarıyla ilgili alınacak kararlar teknik ve ekonomik yönden birbirleriyle yakından ilişkilidirler. BY programlarının oluşturulması sırasında alınacak kararlar; büyük miktarlarda teknik, ekonomik, kapsamlı bilgiye ve her şeyden önemlisi tecrübelerle dayanır. Bölüm 4’te demiryolu hattına yapılan BY çalışmalarının neler olduğu ve hangi durumlarda hangi bakım türünün yapılması gerektiği ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Demiryolu hattı bozulmasının belirlenmesi ve etkin BY programların hazırlanmasıyla ilgili dünya üzerinde çeşitli üniversiteler, araştırma enstitüleri ve demiryolu organizasyonları tarafından pek çok araştırmalar yapılmaktadır. Bölüm 5'te çeşitli demiryolu organizasyonları ve araştırma kurumları tarafından hazırlanmış planlama sistemleri ve Avrupa'da kullanılan Ecotrack sistemi açıklanmıştır. Bölüm 6'da ise TCDD tarafından kullanılan demiryolu kontrol aracı ayrıntılı olarak incelenmiş ve toplanan verilerin nasıl değerlendirileceği açıklanmıştır.

Etkin BY iş programlarının hazırlanması; demiryolu hattını oluşturan elemanların özelliklerine, demiryolu hattında zaman içinde gerçekleşen işletme faaliyetlerine ve demiryolu hattına geçmişte yapılan BY çalışmalarına bağlıdır. Bu sebeple BY ile ilgili analizlerde sıralanan verilerin ayrıntılı bir şekilde tespit edilmesi gerekir. Bu veriler üzerinde yapılacak çalışmalar bize demiryolu hattının bozulması hakkında bilgi verir. Zaman içinde meydana gelen bozulma oranının tespit edilmesinden sonra, demiryolu hattının gelecekte nasıl bir bozulma göstereceği belirlenebilir. Bu analizler gerçekleştirilirken demiryolu birim uzunluktaki kesimlere (analiz kesimleri) bölünür. Her birim kesimin uzunluğu hattın önem derecesine bağlı olarak değişir. Çünkü demiryolu hattının aynı özelliklere sahip olan kesimleri farklı davranışlar gösterebilmektedir. Gelişen teknoloji demiryolu hattının durumunu çok küçük kesimlerde depolamaya imkan vermektedir. Bölüm 7'de çoklu regresyon analizi yapılarak demiryolu hattı bozulmasının istatistik modeli oluşturulmuştur. Çoklu regresyona girecek bağımlı ve bağımsız değişkenlerle ilgili verilerin nasıl elde edildiği, yazılan programlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Demiryolu hattında etkinliğin sağlanması için toplanan verilerin, elde edilen modellerin ve hazırlanan iş programlarıyla ilgili bilgilerin toplanıp işlenmesi ve kullanılır hale dönüştürülmesi belli bir sistemin var olmasını gerektirmektedir. Demiryollarında coğrafik ve coğrafik olmayan verileri birleştirmek, hazırlanan BY programlarını görsel bir ortamda takip edip kararlar almak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bölüm 8'de CBS ile ilgili temel kavram ve açıklamalar yapılmıştır. Ekler bölümünde TCDD ağının CBS ortamında nasıl veri tabanının oluşturulduğu açıklanmış ve yapılan analizlerle CBS açıklanmaya çalışılmıştır. Yine Bölüm 8'de elde edilen hat geometrisi bozulma modelinin CBS ortamına aktarılması yönelik CBS ortamında yazılan programlar tanıtılmış ve ekler bölümünde bozulma modelinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. DEMİRYOLU HATTINDA MEYDANA GELEN BOZULMALAR

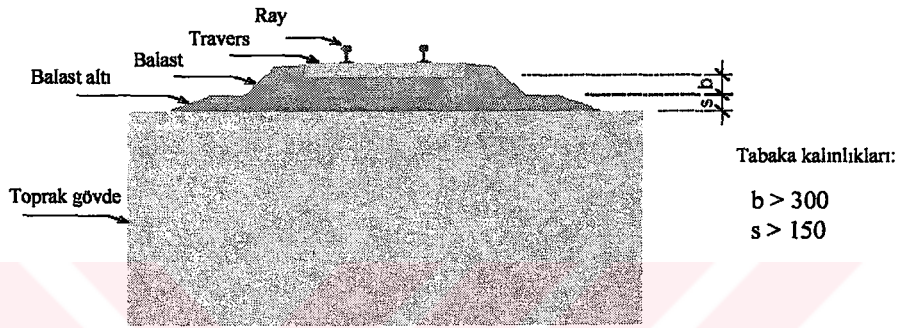
Havayolu, karayolu ve denizyolları ile rekabet edebilir hale gelmesi için demiryolu ulaştırmasının performansının artırılmasına yönelik artan talepler vardır. Bu talepler beraberinde; yüksek tren hızlarını, büyük taşıma kapasitelerini, düşük enerji kullanımını, daha iyi konforu, yüksek güvenlik düzeylerini, düşük bakım maliyetlerini, yüksek teknolojiyi ve ekonomik gereksinimleri de getirmektedir. Gürültünün azaltılması, emisyonların en düşük düzeye indirilmesi gibi çevresel faktörler, ulaşım türünün seçilmesi konusunda önemli parametrelerdir. Demiryolu kuruluşlarının öncelikli beklentileri birim zamanda ulaşım kapasitesini artırmak olmasına rağmen; son yıllarda yukarıda sıralanan ölçütleri gerçekleştirme yönünde önemli girişimleri vardır.

Özellikle Avustralya, Güney Afrika, Çin ve ABD gibi ülkelerde gelişen endüstri ile birlikte uzun mesafe yük taşımacılığı ihtiyaçları, taşıtırma sistemlerinin kapasitesinin artırılmasını gerektirmektedir. Statik dingil yükleri ile karşılaştırıldığında, yük trenleri yolcu trenlerinden daha ağırdır. Trenin ağırlığını gösteren statik dingil yükü, yolcu trenleri için normal olarak 170 kN (17 ton) geçmez. Yük trenleri için bu değer 250 kN (25 ton) ile 350 kN (35 ton) arasındadır. Büyük dingil yüklerinin sonucu olarak, özellikle yolcu taşımacılığı için yapılmış olan hatlarda yapılan yük taşımacılığı ciddi hat bozulmalarına sebep olmaktadır (Şekil 2.1).

Demiryolu hattının bozulması her bir hat bileşeninin korunmasına yönelik önlemlerle azaltılabilir. Dünyada geniş bir uygulama alanına sahip olan balastlı demiryolunun hat bileşenleri iki gruba ayrılır. İlk grup üstyapı olarak tasarlanır ve raylardan, bağlantı malzemesinden ve traverslerden oluşur. İkinci grup altyapı olarak tasarlanır ve balast tabakasından, balast altı malzemesinden ve toprak gövdeden oluşur (Şekil 2.2).



Şekil 2.1 Demiryolu hattının bozulması



Şekil 2.2 Balastlı demiryolu hattının şematik enkesiti

Demiryolu altyapısı taneli malzemeden oluşurken, üstyapısının tamamı taneli olmayan bir yapıdır. 250 kN'dan daha büyük dingil yüklerine karşı hattın bir direnç sağlaması için, rayların yüksek mukavemetli, contasız, kuvvetli ve tercihen ağırlığının 60 kg/m olması gerekir. Rayların ön germeli ya da betonarme traverslere elastik bağlantı malzemeleri ile bağlanması daha uygundur. Çünkü betonarme traverslerin dayanıklılığı ahşap traverslere göre daha fazladır. Tren yüklerini etkin bir şekilde dağıtan ve traversleri olması gereken konumda tutan balast tabakası; yeteri kadar direnci, mukavemeti ve enerji emilimini sağlaması için kalınlığının 300 mm'den daha büyük olması gerekir. Yinede bu yapısal özellikler beklentileri tam olarak karşılamamaktadır. Çünkü tane boyutu, tane şekli, aşınma direnci ve bileşeni gibi balast malzemesi indeks özelliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Balast malzemesi seçimini daha çok ekonomik koşullar ve bulunabilirliği etkilemektedir. Balast malzemesi olarak kırma granit, kireç taşı, cüruf ve çakıl gibi pek çok çeşitte malzeme kullanılabilir. Yapısal açıdan balast hava çıkışlı gürültüyü söndürmelidir, raylar arasında düzgün bir elektriksel direnç sağlamalıdır ve yüksek

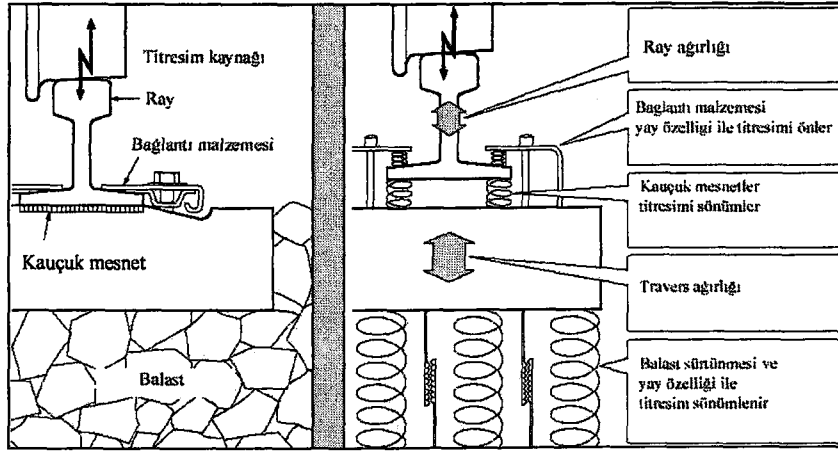
düzeyde bir drenaj kapasitesine sahip olmalıdır. Bunların yanında balast tanelerinin boyutu 15 mm ile 80 mm arasında olmalı ve birbirleriyle bağlantıları iyi olmalıdır.

Balast altı tabakası; tren yüklerinin daha geniş bir alana dağılmasını sağlamak, dondan hattın değişmesini engellemek, toprak gövde malzemesinin balast tabakası içine girmesini, temasını önlemek ve aynı zamanda hattın drenaj kapasitesini daha iyi yapmak için tasarlanırlar. Balast altı tabakası inşaat farklılıklarını ve tekrarlı yükler altında oluşan oturmaları karşılamak için en az 150 mm kalınlığında olmalıdır. Genellikle tane boyutu 0.05 mm ve 20 mm arasında olan kum-çakıl karışımı gibi pahalı olmayan malzemeler balast altı tabakası için kullanılabilirler. Bazı özel durumlarda asfalt betonu, jeosentetikler veya çimento/kireç karışımı zeminler gibi daha ileri düzeyde pahalı balast altı malzemeleri kullanılabilir. Bu gibi iyileştirme çalışmaları daha çok alttaki toprak gövdenin dayanımına ve rijitliğine bağlıdır. Doğal bir zemin karışımını veya bir dolguyu ifade eden toprak gövdenin düşük rijitliğe ve/veya dayanıma sahip olduğu durumlarda, aşırı hat bozulmalarını önlemek için ileri düzeyde balast altı tabakalar düşünülmelidir (Suiker, 2002).

2.1 Demiryolu Hattının Temel Yapısı ve İşlevi

Demiryollarının gelişmesi ve toplumdaki rolü yıllar boyunca yeni teknolojilerin kullanılmasıyla güçlendirilmektedir. Güvenlik, hız ve konfor her demiryolunda göz önüne alınan önemli parametrelerdir. Demiryollarının sebep olduğu problemler özellikle yerleşim bölgelerinde yaşanan gürültü kirliliği ve doğal çevrenin korunmasıyla ilgilidir. Son dönemlerde işgücünün azaltılarak daha yüksek verimlerin elde edilmesine yönelik olan bakım çalışmaları, demiryolları için önemli bir sorun haline gelmiştir. Demiryolu hattı demiryolu işletmelerinde en önemli teknik bileşendir. Hat teknolojisi, demiryolunun kendisiyle paralel bir şekilde gelişmektedir. Demiryollarının öncelikli problemlerinden birisi hatların teknik durumuyla ilgilidir. Şekil 2.3 toprak gövde üzerine serilen balastı, traversleri, sabitlenen rayları ve bunların işlevlerini göstermektedir. Tecrübelerle belirlenmiş olan bu ekonomik tasarım diğer teknik gelişmelere karşın neredeyse değişmeden kalmıştır. Hatlar yüzlerce hatta binlerce kilometreye yayılan uzun ve geniş yapılardır. Ekonomik açıdan hattın bu şekilde tasarımı, yumuşak bir zeminde hareket eden ağır-hızlı trenleri karşılama açısından uygun bir yapıdadır. Balastlı demiryolunda titreşim ve gürültüyle ilgili daha ileri düzeyde çalışmalar yapmak mümkündür. Yaklaşık 100

yıldır demiryolu hattı için yeni tasarımlar araştırılmasına karşın geleneksel demiryolu hattından daha iyi bir sistem bulunamamıştır. Balastlı demiryoluna alternatif olarak balastsız demiryolu geliştirilmiştir. Yüksek hızlara imkan vermesi, az bakım gerektirmesinden dolayı gelecekte balastsız demiryolunun geleneksel demiryolunun yerini alacağı öngörülmektedir (Miura ve diğ., 1998).



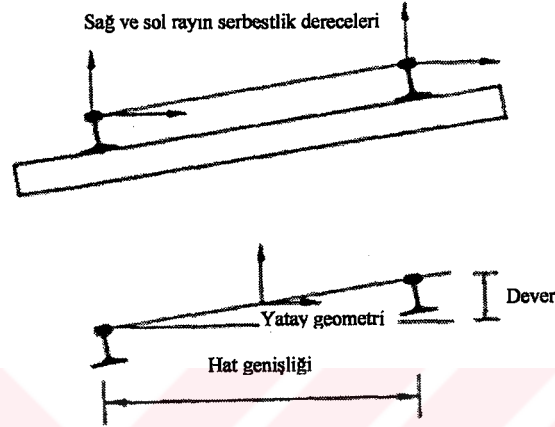
Şekil 2.3 Demiryolu hattının temel yapısı ve işlevi

2.2 Hat Geometrisinin Bozulması

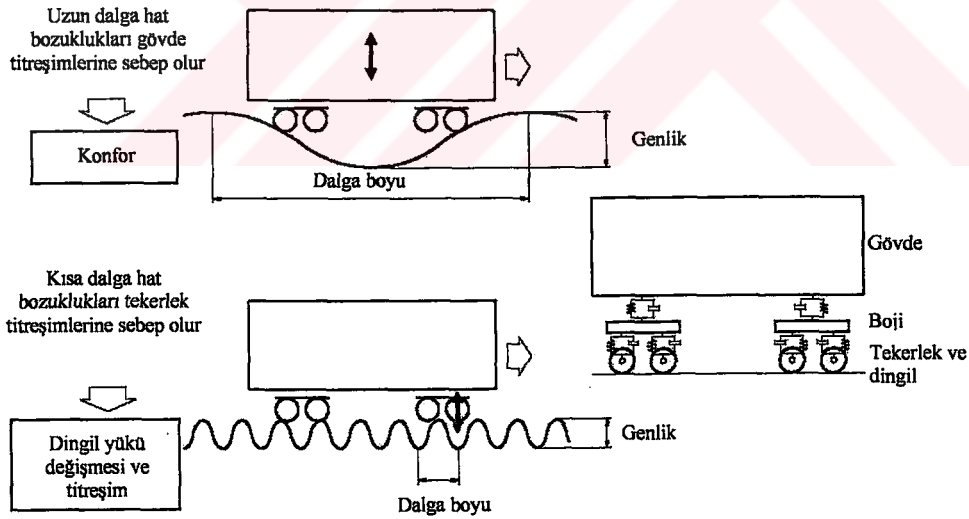
Demiryolu hattının yatayda ve düşeydeki konumuna demiryolu hattı geometrisi denir. Hattın olması gereken geometrik konumdan sapmasına hat geometrisinin bozulması adı verilmektedir. Hat geometrisi başlıca iki grupta incelenir. İlki yatay geometri diğeri ise düşey geometridir. Demiryolu hat geometrisinde meydana gelen bozulmalar düşey geometrinin bozulması ve yatay geometrinin bozulması şeklinde sınıflandırılabilir. Demiryolu hattında meydana gelen bozulmalar; burulma, hat genişliğinin bozulması, demiryolu hattının ekseninden sapması, dever bozulması ve nivelman bozulmasıdır. Her bir rayın yatay ve düşey doğrultuda iki serbestlik derecesi vardır. Bu sebepten dolayı demiryolu hattında meydana gelen bozulmalar her bir ray için değişiklik gösterebilir (Şekil 2.4) (Güler ve Seçkin, 2002; Esveld, 2001).

Özellikle balastlı demiryollarında çok sık tren işletmesi altyapının çok hızlı bozulmasına sebep olmaktadır. Bu bozulmalar kendilerini başlangıçta küçük bozulmalar olarak gösterirler. Hat üzerinde gerçekleşen sık tren geçişleri contalarda, kaynaklarda çökmelere ve ray yüzeyinde bozulmalara sebep olur. Bu tür bozulmaların olduğu kesimlerde vagonlar hat üzerinde aşağı-yukarı ve sağa-sola

doğru hareket etmeye başlarlar. Bu hareketler bozulma şekline bağlı olarak değişiklik gösterir. Vagonlar gövde, boji ve dingillerden oluşurlar. Her eleman hareketi etkileyen kendine özgü bir frekansa sahiptir. Geniş bir açıklıktaki hat bozulmalarında (uzun dalga bozulmaları) görülen değişimler, konforsuz bir sürüşle sonuçlanan dikey ve yatay gövde titreşimlerine sebep olur. Kısa dalga hat bozuklukları (ray üzerinde ondülasyonlar), tekerlek-ray arasında şok etkiler aşırı bir yüklemeye, gürültü ve titreşim meydana getirirler (Şekil 2.5) (Miura ve diğ., 1998; White, 1998).



Şekil 2.4 Demiryolu hattının serbestlik dereceleri



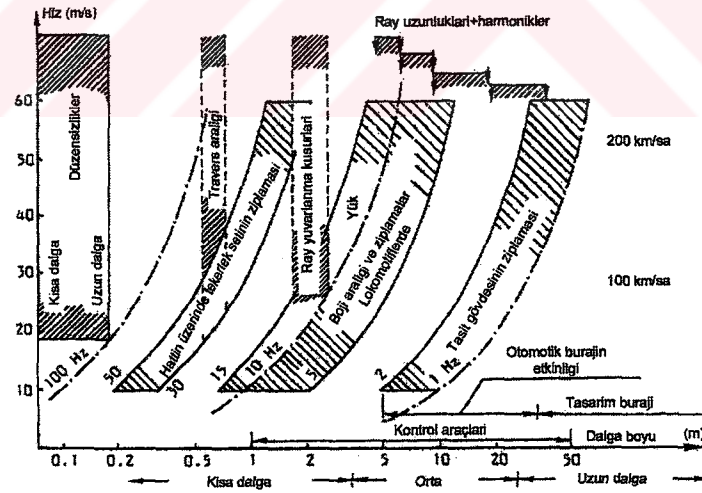
Şekil 2.5 Demiryolu hattında meydana gelen bozulmaların dalga uzunlukları

Bir vagon kurp içinde yüksek hızla hareket ederken sadece hat bozukluklarından etkilenmez. Aynı zamanda vagonlar hıza bağlı olarak oluşan dengelenmemiş merkezkaç kuvvetinin etkisiyle kurp dışına doğru savrulurlar. Bununla birlikte,

büyük bir reaksiyon kuvveti raylara etkir ve aracı kurp boyunca çevirir. Büyük yatay bir hat bozukluğu, tekerleğin raya tırmanmasına veya raydan zıplamasına sebep olur ve trenler raydan çıkabilir (deray). Demiryollarında güvenliği ve konforu sağlanmak için, dinamik yükleri, gürültüyü ve titreşimleri azaltmak için, hat bozukluğu ve ray ondülasyonlarının kontrolü ile ilgili hedefler belirlenmeli ve hat düzenli aralıklarla kontrol edilmelidir (Miura ve diğ., 1998; White, 1998).

2.2.1 Düşey geometrinin bozulması

Demiryolu hattında aynı özellikleri taşıyan hat kesimlerinin bozulma oranları arasında önemli farklılıklar olabilmektedir. Bu farklılığın sebebi hattın yaşı, inşaat şekli ile diğer sebeplerdir. Bu sebeple hattın bozulmasıyla ilgili bir değerlendirmeye gidileceği zaman hattın bozulmasını etkileyen tüm parametrelerin göz önüne alınması gerekir. Özellikle gelecekle ilgi iş planlarının hazırlanmasında, hat geometrisini ve bozulma oranını etkileyen faktörlerin incelenmesi çok önemlidir. Bozulmaların belirlenmesi için yapılan incelemelerde; hattın rijitliği ve geometrinin spektral kompozisyonu, araçlardan kaynaklanan dinamik yükler üzerinde önemli bir etkiye sahip olan geometride ki diğer faktörlerle birlikte ortaya konmalıdır. Demiryollarında düşey geometri kabaca 4 dalga bandında incelenir (Şekil 2.6) (Report D161, 1998):



Şekil 2.6 Taşıt etkileşimiyle ilgili düşey geometrideki dalga boyları

1. Kısa dalgalar (0-3 m): Bu uzunluktaki kusurlar ray başının boyuna şeklinde ve rayın boyuna düzgünlüğünde görülür (kötü kaynaklar gibi). Buraj gibi normal bakım teknikleriyle bu kusurlar giderilemezler. Bu kusurlar yalnızca ray taşlaması veya

rayların düzeltilmesiyle giderilebilirler. Bu kusurlar, yola ve araçların süspansiyon/boji sistemlerine ek yükler şeklinde etki ederler. Bu kuvvetler, hat içinde kısa dalga boylarından kaynaklanmalarına rağmen ilerleyen dönemlerde uzun dalgalarda bozulmalara sebep olurlar.

2. Orta dalgalar (3-25 m): Bu kusurlar hattın balast içinde yapmış olduğu farklı oturmalardan kaynaklanır. Orta dalganın daha kısa boylarında bu kusurlar rayın şeklinden kaynaklanabilirler. Bu kusurlara sebep olan etkenlerin başında, balastın oturma karakteristiğinin ve dinamik yüklerin değişkenliğidir. Buraj makineleri (hassas modda) bu dalga boyunda etkindirler.

Bu dalgalar, araçların boji ve gövdesine doğru olan veya bunlardan kaynaklanan kuvvetler üzerine önemli etkileri vardır. Geleneksel demiryolu kontrol araçlarıyla ölçülen hat kalitesi ve araç sürüş konfor kalitesi bu dalga boylarında tespit edilir.

3. Uzun dalgalar (25-70 m): Bu dalgalar normal olarak yol bakım, tasarım kusurlarından veya zemin hareketinden kaynaklanırlar. Bu dalgalar kendilerini genellikle birbirinden ayrı ve izole kusurlar olarak gösterirler. Yol üzerindeki yüklere olan etkileri normal olarak çok büyük değildir.

4. Çok uzun dalgalar (70 m): Çok uzun dalgalar diğer adıyla doruğumsu dalgalar tasarımdan veya çeşitli kusurlardan (düşey kurp kusurları) kaynaklanabilir.

Demiryolu hattının geometrik bileşimi: Hattın geometrik bileşimi farklı dalga boylarında görülen olaylar hakkında bir fikir verebilir. Hat geometrisini ölçen araçlar 1 ile 25 metre arasında bilgiyi verebilirler. Daha kısa dalga bantları için dingil ivme ölçerler kullanılır. Uzun dalga boyları için ise topografik ölçümler gereklidir. Hat geometrik bileşimi normal olarak, aşağıda sıralanan sebeplerden kaynaklanan farklı boydaki dalga uzunluklarının bir araya gelmesinden ve onların harmonilerinden oluşan bir dizi dalga elemanını kapsar:

1. Ondülasyonlar (0.04-0.07 m ve 0.2-0.3 m)
2. Travers aralığı (0.5-0.8 m)
3. Ray yuvarlanma kusurları (1.5-6.2 m)
4. Ray uzunluğu
5. Kullanılan taşıtın dinamik frekansları

Travers aralık frekansı, traversler arasındaki ve üzerindeki hattın rijitliğindeki değişmelere bağlıdır ve yüklenmemiş bir hatta ölçülemezler. Kullanılan taşıtların

frekansları 6-12 m arasında olup, aracın süspansiyon durumuna ve ray uzunluğu harmonilerine bağlıdır. Rastsal olarak meydana gelen bozulmalara; rayın (<5 m) yuvarlanma yüzeyindeki ondülasyonlar, balastın (>3 m) rassal şekilde farklı oturması, hattın gerçek poz durumu ve temelin kayması (>25 m) gibi kusurlar sebep olmaktadır.

Demiryolu kontrol araçlarından elde edilen sonuçlarla (standart sapmalar, 1-25 m) hat geometrisinin kalitesi hakkında bir fikir edinilebilir. Bu değerlerin karesi varyansı verir. Hat spektrasının altındaki alan aynı zamanda varyansdır ve bununla her bir etkenin hatta verdiği düzgünsüzlük incelenebilir (Report D161, 1998).

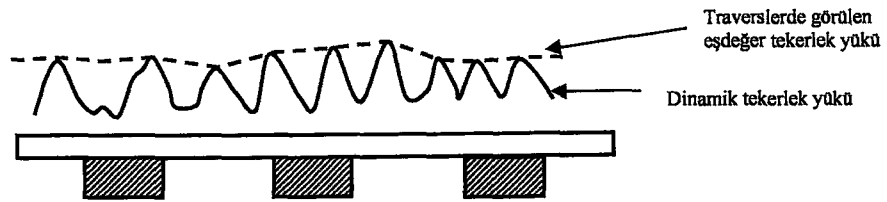
Düşey geometrinin bozulma sebepleri: Demiryolu hattının düşey geometrisi, hattın belli bir uzunluğunda bulunan traverslerin farklı oturma yapmalarından dolayı bozulur. Traverslerin farklı oturma yapma sebepleri şunlardır:

- a) Balast içindeki düzensizlikler,
- b) Farklı yüklere maruz kalmaları.

Her bir traversin taşıdığı yük; araçların dinamik yüküne, ray doğrultusundaki bozukluklara, komşu traversler arasındaki mesafeye ve traversleri destekleyen elastik yatağa bağlı olarak değişir. Özet olarak demiryolu hattında düşey geometride meydana gelen bozulmalar aşağıda sıralanan 3 sebebe bağlanabilir:

- a) Taşıt yüklerindeki farklılıklar,
- b) Farklı balast oturmaları,
- c) Rayın şeklindeki düzensizlikler.

a) Taşıt yükleri: Herhangi bir hızla bir hat kesiminden geçildiğinde, yol üzerinde bir araya gelmiş doruğumsu dingil yükleri oluşur. Şayet dinamik yük yeteri derecede düzenli ve yüksek bir frekansta görülürse, her bir traversste oluşan en büyük yük, yüklerin pik noktalarından geçen bir zarfla verilebilir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Dinamik yükler altında en büyük yükün belirlenmesi

Şayet aracın dingil yükü artarsa, balast içinde farklı oturmalarla sebep olan bozulmalar meydana gelecektir. Uzun dalga boylarında (yaklaşık 2 x travers aralığı, ve daha uzun) traversler farklı yüklere maruz kalırlar. Ancak raylar bu farklı yükleri hat boyunca dağıtırlar ve dolayısıyla traversler üzerindeki yükler düzgün olur. Dalga boyunun 10 m'ye kadar çıkması durumunda rayın yükleri eşit miktarda dağıtması azalacaktır.

Demiryolu hattı üzerinde hareket eden taşıtlara etki eden yükler aşağıda sıralanan sebeplerin bir araya gelmesiyle oluşur:

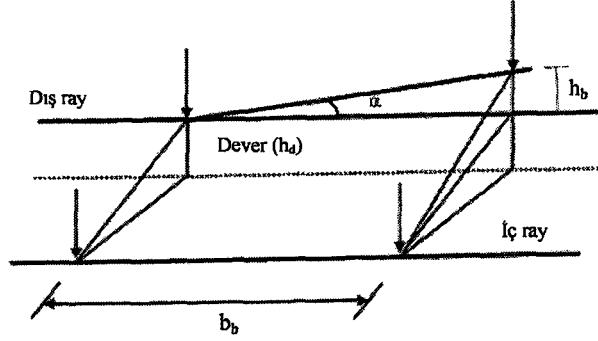
- | | | |
|---|---|------------------------------|
| 1. Ondülasyonlar (0.05-0.1 m), | } | Eşdeğer dingil yükünde artış |
| 2. Travers aralığı (0.5-0.7 m), | | |
| 3. Yuvarlanma kusurları (1.5-2.5 m), | | |
| 4. Ray başındaki bozukluklar (0.1-3 m), | } | Hat boyunca dağılmış |
| 5. Ray uzunluğu ve harmonikler, | | |
| 6. Boji ve araç hareketi, | | |
| 7. Tekerlek yassılaşması (gelişigüzel şekilde). | | |

b) Farklı balast oturumları: Demiryolu hattına etki eden taşıt yüklerinin düzenli olmasına rağmen, buraj ve yenileme çalışmalarının ardından balast tabakasında farklı oturumlar meydana gelebilir. Bu tür bozulmalara sebep olan etkenlerin ve büyüklüklerinin belirlenmesi çok zordur. Ancak bu tür farklı oturumlara taşıt dinamik yüklerinin ve ray şeklinin sebep olduğu bilinmektedir. Uzun dalga boyunda görülen oturumlarda, oturma buraj makinesiyle verilen yükseltmenin bir fonksiyonudur. Kısa dalga boyunda görülen farklı oturumların başlıca sebebi ise raylardır.

c) Ray şekli: Balastlı bir demiryolu hattında rayın doğal şekli üç metre dalga boyu uzunluğunda görülür. Rayın %100 şekli kendini bu uzunlukta göstermektedir. Ray şeklinde görülen bozulmalar, buraj gibi bakımlarla düzeltilemezler. Ray şeklindeki kusurlar dalga boyu 15 metreye çıktığında azalmaktadır. Ray üzerinde görülen bölgesel kusurlar, ancak ray düzeltmesi denen teknikle (STRAIT) giderilebilir. Raydaki düzgünsüzlüğün aynı zamanda dinamik yükler üzerinde de bir etkisi vardır. Yol üzerinde sıfır hızında hareket eden ve sıfır dinamik yük oluşması durumunda rayda meydana gelen çökmeyle, ondülasyonlardan kaynaklanan düzgün bir ray üzerindeki dinamik yüklerin sebep olduğu çökmeler hemen hemen eşittir. Bu iki etkinin bir araya gelmesiyle iki kat bir çökme meydana gelecektir. Raydaki bu çökme

kusurlarının giderilmesi için ray doğrultusunun düzeltilmesi ve taşlama işlemlerinin yapılması gereklidir (Report D161, 1998). Aşağıda düşey geometri bozulmalarının neler olduğu açıklanmıştır;

Burulma: Demiryolu hattı üzerinde hareket eden araçların tekerleklerinin aynı düzlem üzerinde bulunmamasına burulma adı verilmektedir. Burulma; nivelman bozukluğu, dever bozukluğu ve gizli boşlukların birleşmesinden meydana gelmektedir (Şekil 2.8).



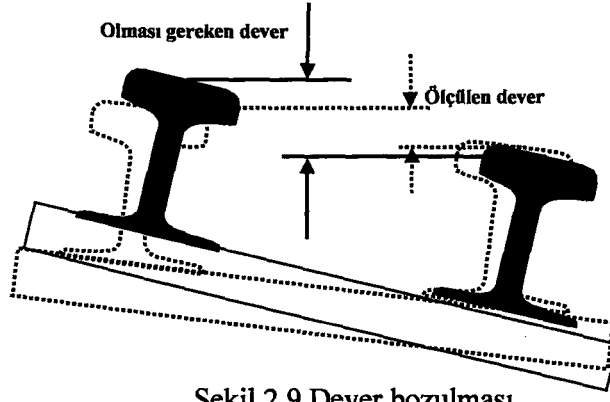
Şekil 2.8 Demiryolu hattında meydana gelen burulma

Demiryolu hattında meydana gelen burulma miktarı aşağıdaki eşitlik yardımıyla elde edilmektedir. Burada h_b kot farkını, b_b ise demiryolu aracının ön ve arka dingil arasındaki açıklığını ifade etmektedir:

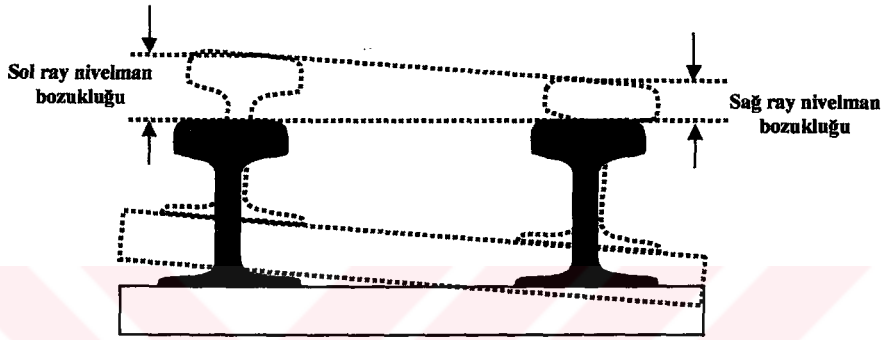
$$\text{Burulma}(\text{‰}) = \frac{h_b}{b_b} \quad (2.1)$$

Dever bozulması: Dönemeçlerde dış rayın iç raya göre yükseltilme değerine dever adı verilir. İki ray arasındaki kot farkı olarak da kabul edilebilir. Deverde meydana gelen bozulmalara dever bozulması adı verilmektedir. Demiryolu hattında meydana gelen dever bozulmasının derecesi; olması gereken dever miktarından, ölçülen dever miktarının çıkarılmasıyla elde edilir (Şekil 2.9).

Nivelman bozulması: Her iki rayın düşeyde sahip olduğu farklılığa rayların üst kotunda meydana gelen bozulma adı verilmektedir. Rayların üst kotunda meydana gelen bozulmalar her iki rayın olması gereken kotlardan düşüklüğünü ve/veya yüksekliğini yani nivelmanını belirtir. Her bir ray için ayrı ayrı hesaplanır (Şekil 2.10).



Şekil 2.9 Dever bozulması



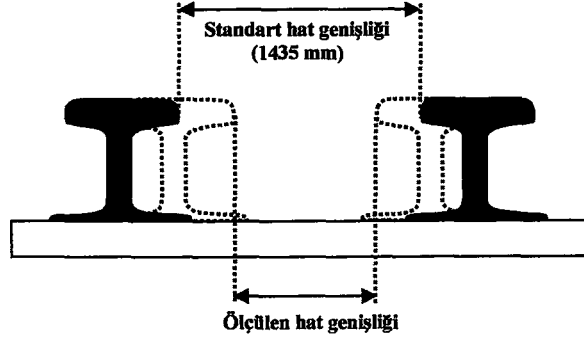
Şekil 2.10 Nivelman bozukluğu

2.2.2 Yatay geometrinin bozulması

Demiryolu hattında yatay geometride meydana gelen bozulmalar oldukça karmaşıktır. Düşey geometrinin aksine, yatay geometride ray ve tekerlek arasında sabit ilişki yoktur. Bu sebeple farklı hızlarda farklı araçlar, yatay geometride ters yönlerde meydana gelen kuvvetlere maruz kalırlar. Uzun kaynaklı raylarda meydana gelen termal kuvvetler ve büyük deverlerde yerçekimi etkisi yatay geometriyi bozabilir. Taşıtların yatay kuvvetlerinin matematik modelinin kurulması oldukça zordur. Çünkü yağmur gibi pek çok parametre olayı etkilemektedir.

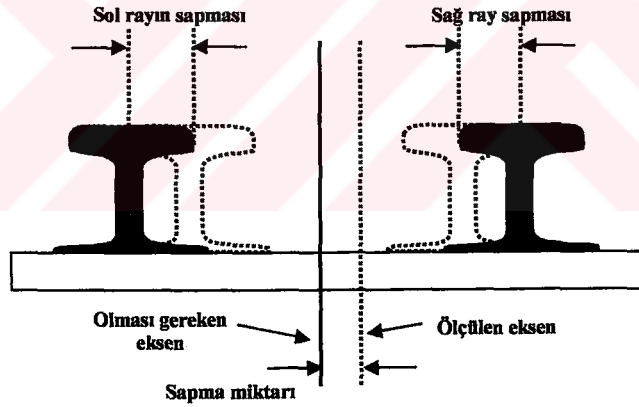
Araştırmalar yatay geometrinin düşey geometriye göre çok büyük bir problem olmadığını göstermiştir. Yatay geometrideki bozukluklar belirlendiği ve düzeltildiği zaman, yeniden görülme sıklığı çok azdır. Yatay geometrideki bozulmalar düzeltilmelerine rağmen yeniden görülüyorsa, muhtemelen hattın sürekliliğinde bir sorun vardır ve bunlar genellikle makaslarda ve kesişmelerde meydana gelirler (White, 1998).

Hat genişliğinde meydana gelen bozulma: Rayların iç yanakları arasındaki yatay uzaklık hat genişliği olarak tanımlanır. Ülkemizde hat genişliği değeri sabit olup yolun düz giden kısımlarında 1435 mm değerindedir. Hat genişliğinin standart değerden sapmasına hat genişliği bozulması adı verilmektedir. Hat genişliğindeki bozulma miktarı standart hat genişliğinden, ölçülen hat genişliğinin çıkarılmasıyla bulunur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Hat genişliğinin bozulması

Demiryolu hattının ekseninden sapması: Demiryolu hattının ekseninden sapması, her iki rayın hattın merkezine göre yatayda yaptığı yer değiştirmedir. Hattın ekseninden sapması her bir ray için ayrı ayrı hesaplanır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Hattın ekseninden sapması

2.3 Varlık Yönetim Sistemleri Kavramı

Bir ülkenin ekonomisinin gelişmesinde önemli bir yere sahip olan ulaştırma sektöründe, sağlıklı kararların alınabilmesi ancak uygun karar ve yönetim sistemlerinin belirlenip uygulanabilmesine bağlıdır. Diğer ulaştırma sistemlerinde olduğu gibi demiryollarında da etkinliğin ve verimliliğin sağlanması için sistemi oluşturan tesislerin ve elemanların yönetilmesiyle ilgili olarak uygun yönetim

sistemlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Uzun ve kısa dönemlerde alınacak kararlar ancak eldeki verilerin miktarına ve güvenirliliğine bağlıdır. Ulaştırma alanında da kullanılmaya başlayan Varlık Yönetim Sistemi (Asset Management System) kavramı, sistemi oluşturan tüm fiziksel elemanların ve tesislerin etkin bir şekilde kullanılmasıyla ilgilidir. Varlık yönetim sisteminin etkinliği, güvenilir ve sürekli olarak güncellenen verilerin miktarına ve niteliğine bağlıdır. Bu sebeple günümüz teknolojisinde, uygun bir bilgi sistemi kullanarak sistem hakkında düzenli ve güvenilir veriler elde etmek mümkündür.

2.3.1 Demiryollarında varlık yönetim sistemi kavramı

Ulaştırma mühendisliği alanında Varlık Yönetim Sistemi (VYS) kavramının anlamı, sistemin fiziksel yapısının oluşturulması, işletilmesi ve bakım çalışmaları sırasında mali olarak etkinliğinin ve verimliliğinin sağlanmasıdır. VYS sayesinde, sistemi oluşturan elemanların ve tesislerin durumu ve performansı hakkında elde edilen bilgilerle yöneticiler; planlar oluşturabilecek, kısa ve uzun dönemli stratejiler geliştirilebileceklerdir. VYS’de amaç kamu yatırımlarından en iyi faydanın elde edilebilmesidir. VYS’de etkinliğin sağlanabilmesi için, sistemde ekonomik ömrü süresince yapılacak periyodik çalışmaların önceden planlanması ve bunların zamanında gerçekleştirilmesi gerekir. Periyodik bakım süreçlerinde bir varlık yönetim sistemi; zaman tasarrufu sağladığı gibi yollar, köprüler, kanalizasyon sistemleri, drenaj sistemleri, sinyalizasyon ve diğer sistem altyapısı tesisleri hakkında tutarlı bilgilerin elde edilmesinde yardımcı olacaktır. Varlıkların yönetilmesiyle ilgili olarak oluşturulacak bir programın önemli aşamaları aşağıda belirtilmiştir (Wittwer ve diğ., 2002).

1. Varlıkların dökümü,
2. Bu varlıklar için bir durum değerlendirmesinin yapılması,
3. Performans standartlarının geliştirilmesi ve uygulanması,
4. Bu standartlara karşılık fiziksel tesislerin değerlendirilmesi,
5. Bu fiziksel tesislerin bakımında veya iyileştirilmesinde izlenecek seçeneklerin analiz edilmesi,
6. Kaynakların tahsis edilmesiyle ilgili kararların verilmesi,
7. Yatırım planının tamamlanması,

8. Fiziksel tesislerin performansının belirlenmesi için performans ölçütlerinin geliştirilmesi ve kullanılması,
9. Geri besleme yapılacak bilginin toplanması ve gereken düzenlemelerin yapılması.

Yirminci yüzyılın sonlarına doğru artan veri miktarıyla birlikte bilgisayar destekli bakım ve yenileme sistemleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Özellikle seksenli yıllarda otomatik analizlere imkan verecek sayısal ortamda elverişli verinin eksikliğiyle ilgili problemlerin çoğu doksanlı yıllarda çözülmeye başlamıştır. Böylece daha iyi ve güvenilir hat durum analizleri yapılabilmiş ve hat bakım-yenilemesiyle ilgili kapsamlı, duruma dayalı karar destek sistemlerinin gelişimi sağlanmıştır.

Diğer taraftan, demiryoluyla ilgili sistemlerin gelişimi daha gelişmiş ve daha güvenilir hat bozulma modellerinin ileri düzeyde gelişimini zorunlu kılmıştır. Yüksek kalitede hat durum verisinin elde edilmesi için yapılan çalışmalar, hat durum ve ilgili bakım yenileme yönetiminin diğer sistem altyapı elemanlarından ayrı olarak düşünülemeyeceğini göstermiştir. Altyapı yönetimi, sanat yapıların yönetimi, kataner sistem yönetimi gibi sistemlerle hat yönetimi entegrasyon içinde olmalıdır.

Uzun zamandan beri bilindiği gibi demiryolu sistem altyapısı bileşenlerinden olan altyapı, hattın üstyapısının davranışı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle sürekli ve tekrarlı olarak görülen hat geometrisi problemlerinin asıl sebebi altyapı problemidir. İyi kalitede verinin elde edilmediği ve uygun yönetim sistemi belirlenmediği sürece yapılan ölçümlerden çok büyük faydalar beklenemez. Sistem altyapı yönetim sistemlerinin kullanılmasıyla birlikte, demiryolu hattının durumuyla ilgili bilgiler elde edilmiş ve durum değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Sürekli ve tekrarlı sistem altyapısı kontrolünde ihtiyaç duyulan güvenilir, verimli ve ekonomik yöntemlerin olmayışı problemlerin çözümünde zorluk çıkarmıştır. Demiryollarının işletmesine yönelik artan talepler ve bu konularda alınan katı kararlar, doksanlı yıllarda demiryolu sistem altyapısının yönetimini gerekli kılmıştır. Daha iyi verimin elde edilmek istenmesi, düşük maliyetlerin sağlanmasıyla ve yukarıda sıralanan sebepler yeni bir yönetim sistemi kavramını ortaya çıkarmıştır. Bu yönetim sistemi Demiryolu Varlık Yönetim Sistemi (Railway Asset Management Systems) olarak adlandırılır. Bilgisayar destekli hat bakım yönetim sistemi de varlık yönetim sisteminin içinde olup bütünleşmiş modüllerden birisidir.

Demiryolu varlık yönetim sistemi doksanlı yılların ikinci yarısından sonra önem kazanmaya başlamıştır. Sistem altyapısı yönetimi, hattın işletme durumu, katar, iş gücü, bakım makineleri, malzeme ve aynı zamanda bütçe durumları arasındaki karmaşık ilişkiler ancak kapsamlı bir varlık yönetim sistemiyle çözülebilir.

Demiryolu varlık yönetim sisteminin diğer bileşenleri şunlardır:

- Demiryolu varlıklarının CBS destekli yerlerinin belirlenmesi,
- Bütünleştirilmiş durum kontrolü ve veri toplanması,
- Bakım ve yenileme planlaması için ilgili karar destek sistemleri,
- Kaynak tahsisi optimizasyonu (bütçe, hattın kapalı kalma süreleri, iş gücü, makine, malzeme vb.),
- Hesap/Rapor,
- Yatırım planlaması,
- Kapsamlı veri yönetimi.

Varlık yönetimiyle ilgili demiryolu sistem altyapısının gelişimi genel olarak iki aşamaya ayrılır. İlk aşama varlık yönetim sisteminin veritabanı büyüklüğünü ve veri toplama yöntemlerini belirtir. Bu aşamanın anlamı varlık bilgilerinin tedarik edilmesidir. Bu aşama oldukça önemlidir. Çünkü diğer aşamalar için bir temel oluşturur ve gelecekte güncelleştirme çalışmalarına imkan verir. Bu aşamada herhangi bir hata gerçekleşirse, diğer aşamalarda da hatalar görülecektir.

İkinci aşama bozulma/bakım işlemlerinin yapıldığı aşamadır. Bu aşamada toplanan verilerin işlenmesi yapılır. Bu aşamanın diğer adı toplanan verilerin temelinde, karar verme süreçlerini ortaya koyacak kuralların belirlenmesidir. Bu süreçler, bakım, işletme veya güvenlik için zorunlu olan eşiklerle ilgili parametreleri karakterize eder (Guler ve diğ., 2004; Esveld, 2001).

2.3.2 Demiryolu sistem altyapısı kavramı

Demiryolu ulaştırması sisteminin olup kendisine özgü bir teknik ve organizasyon bütünlüğü vardır. Demiryolu organizasyonu aşağıda sıralanan durumları kapsar:

- a) Demiryolu sistem altyapısı (Railway infrastructure),
- b) Demiryolunun performansı için gerekli olan katarlar, binalar ve sanat yapıları,

- c) Demiryolu sistem altyapısını yöneten, işletmeyi sağlayan insanlar.

Demiryolu sistem altyapısı aşağıdaki bileşenleri kapsamaktadır:

1. Demiryolu üstyapısı (raylar, traversler, bağlantı malzemeleri ve diğer üstyapı bileşenleri),
2. Demiryolu altyapısı (balast tabakası, balast altı tabaka, toprak gövde),
3. Diğer sistem altyapı bileşenleri,
 - a. Mühendislik yapıları ve tesisler (köprüler, hemzemin geçitler, kurplar, drenaj sistemleri, haberleşme sistemleri, istinat ve iksa duvarları),
 - b. Kamulaştırma genişliği, sınır işaretleri ve koruyucu yapılar,
 - c. Demiryolu sinyalizasyonu, merkezi kontrol ve birbirine bağlı haberleşme sistemleri, tren hareketlerinin güvenliğini sağlayan sistemler ve makasların yerleri, sinyalizasyonu düzenleyen tesisler, sinyal ışıkları, sinyal göstergeleri ve sabit sinyaller,
 - d. Özel demiryolu haberleşme şebekeleri,
 - e. Havai ve yerden demiryolu elektrik kabloları, katanerler, transferlerin yapıldığı istasyonlar,
 - f. Demiryolu istasyonları ve bekleme yerleri,
 - g. Demiryolu sistem altyapısı tesislerinin bakımı, tamiri ve kullanılması için gerekli binalar ve yapılar,
 - h. Demiryolu sistem altyapısının işletmesi ve korunması için ve demiryolu trafiği için gerekli olan tüm havai ve yeraltı sistemleri.

2.3.3 Demiryolu varlıklarının yerinin belirlenmesi

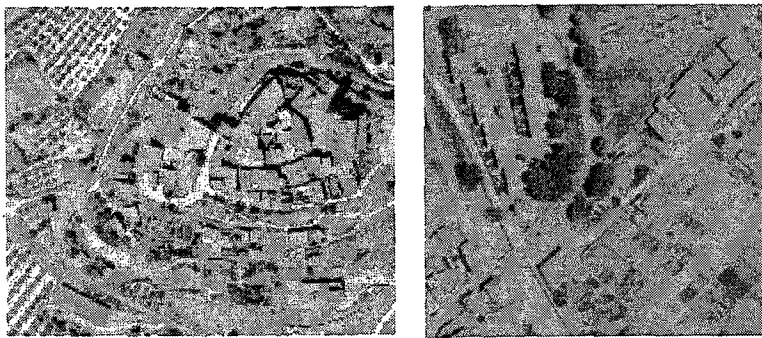
Demiryolu sistem altyapısıyla ilgi olarak varlık yönetiminin ilk aşamasında, demiryolu varlıklarının neler olduğu ve nerede olduklarıyla ilgili bilginin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak çoğu demiryolu kuruluşu için bu çok önemli bir problemdir. Çünkü kaynakların çoğu kağıt bazlıdır, oldukça eskidir, düzenli olarak güncellenmemiştir, tutarsızlıklar vardır ve güvenilir değildir. Pek çok demiryolu kuruluşunda demiryolu sistem altyapısının yaşı yüzünden bu problem daha büyüktür. Bu yüzlerce yıllık sürede, hattın güzergahında, sanat yapılarında ve diğer sistem

altyapı elemanlarında pek çok değişiklikler olmuştur. Maalesef bu değişiklikler özellikle eski tarihlerde yapılanlar kayıt edilmemişlerdir ya da kayıtlar yetersizdir.

Varlıklar genellikle kilometre noktalarına göre ifade edilirler ancak bu noktaların çoğu yanlışır. Demiryollarında yapılan bu değişikler daha çok emekliliği yaklaştırmış ya da emekli olmuş tecrübeli mühendisler tarafından bilinmesine karşın, özellikle yeni mühendislerin bu konuda bir bilgileri yoktur. Bu sebeple tutarlı ve doğru bir sistem altyapısının oluşturulması için tecrübeli insanların bilgilerinden yararlanılmalıdır.

Demiryolu şebekeleri çok uzun olduğundan basit yöntemlerle varlıkların yerinin belirlenmesi çok zordur. Bu sebeple yeni, hızlı ve hassas yöntemlere ihtiyaç vardır. Günümüz teknolojisinde bu tür problemlerin çözülmesi için gelişmiş düzeylerde yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

Orto foto teknolojisinin kullanılması: Arazinin yükseklik farklarından ve resim alımındaki eğikliklerden dolayı oluşan hataların diferansiyel olarak düzeltilmesi ile istenen harita ölçeğine getirilen fotoğrafik görüntünün üzerine grid çizgileri, kenar bilgileri ve yükseklik eğrileri gibi diğer bilgilerin eklenmesi ile elde edilen fotoğraf görünümündeki haritalar orto foto haritalardır. Orto foto teknolojisi sistem altyapısının coğrafik konumunun belirlenmesinde kullanılan ilk ve muhtemelen en kolay yöntemdir. Bu teknolojinin temelinde orto foto teknolojisi kullanılır. Orto foto görüntülerin oluşturulmasından sonra demiryolu sistem altyapısını gösteren elemanlar vektör görüntülere dönüştürülür. En sonunda, her bir vektör nesne ilgili bilgiyle donatılır (Şekil 2.14).



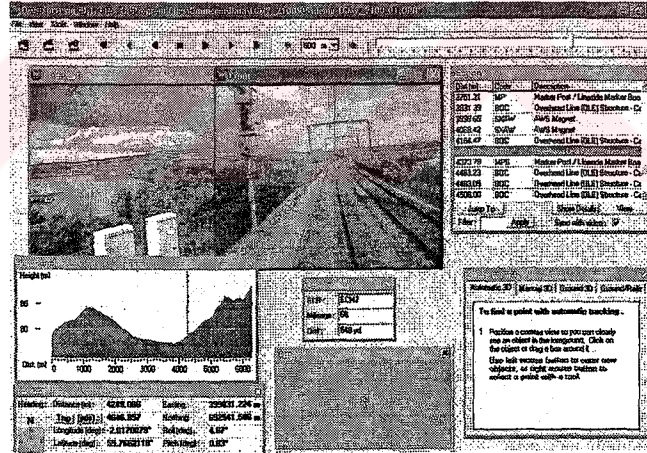
Şekil 2.14 Orto foto örnekleri

Bu yöntem, sistem altyapısının konum bilgisinin hızlı ve nispeten ucuz bir şekilde elde edilmesine imkan sağlar. Hava fotoğrafları görüntüleri düzenli olarak hemen

hemen tüm ülkelerde geleneksel ölçüm yöntemlerinin bir parçası olarak yıllardır kullanılmaktadır. Bu yöntemin hassasiyeti 10 ve 20 cm arasındadır. Daha iyi hassasiyet isteyen durumlarda diğer yöntemler daha uygun olabilmektedir.

Video görüntüleri: Video görüntüleme sistemleri İngiltere de doksanlı yılların sonlarına doğru kullanılmaya başlamıştır. Video görüntüleri ile demiryollarında yüksek hızlarda ölçümler yapmak ve karmaşık sistem analizlerini gerçekleştirmek mümkündür. Video görüntülerle görünebilir tüm sistem altyapısı ve hat geometrisi ile ilgili kapsamlı bir görüntü alınabilir. Görüntü alma işlemleri emniyetli ve çok ekonomiktir. Video görüntülerle taranan şebekenin üç boyutlu modelleri çıkarılabilir ve varlıklar belirlenebilir (Omnicom Engineering, 2004).

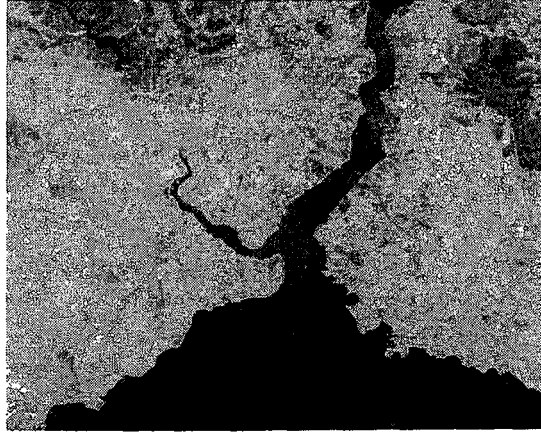
Bu sistemler demiryolu şebekesinin farklı bir açıdan incelenmesine imkan verirler ve varlıkların konumlarını üç boyutlu olarak gösterirler. Sistem yeni veya eski bir varlığın belirlenmesine, varlık veri tabanına otomatik transfer işlemlerine, her bir varlık için kullanıcı ayrıntılarının eklenmesine, sistem altyapısında bakım ve yenile yapılacak kesimlerin belirlenmesine imkan verir. Video görüntüleme sistemleri; güvenli, hızlı, hassas ve yeniden kullanıma imkan verme özelliklerinden dolayı çok faydalıdır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Video görüntülerle demiryolu varlıklarının incelenmesi

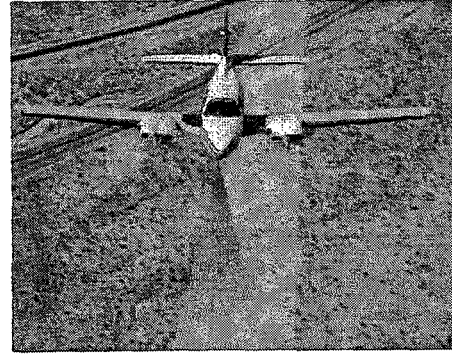
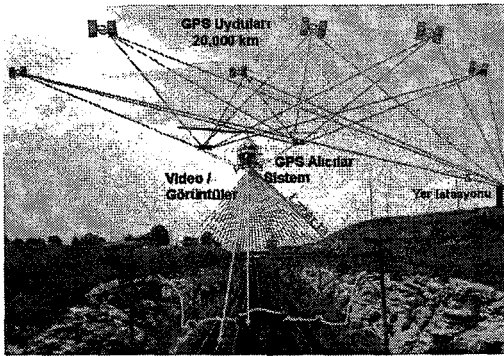
Uydu görüntüleri: Demiryolu sistem altyapısı elemanlarının konumlarının belirlenmesi ve veri toplanması için kullanılan diğer yöntem uydu teknolojisidir. Uydu görüntüleri son zamanlarda sivil amaçlar için daha ucuz ve kolay edilebilir hale gelmiştir. Aynı zamanda uydu görüntülerinin hassasiyeti oldukça yüksektir ve daha yüksek hale gelmektedir. Konumsal hassasiyetine bağlı olarak bu sistemlerin en

yüksek kapasitesi 1 ile 2 metre arasındadır ve demiryollarında sınırlı bir kullanım alanına sahiptir. Gelecekte hassasiyetinin daha artmasıyla bu teknoloji en güvenilir ve ekonomik sistem olacaktır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 İstanbul iline ait uydu görüntüsü

Lazer teknolojisi: Demiryollarında mevcut verilerle gerçek veriler arasındaki fark ancak hızlı ve hassas ölçüm yapan sistemlerle giderilebilir. Dünyada bu konuda çalışan mühendislerin uzun araştırmalar sonucu buldukları havadan lazerle tarama teknolojisi sayesinde, demiryolu şebekesinin sayısal haritasını istenilen hassasiyette belirlemek mümkündür. Bugün dünyada yaygın bir şekilde kullanılan başlıca lazer teknolojileri FLI-MAP ve LIDAR'dır. FLI-MAP havadan hızlı lazer sistemlerle görüntüleme ve haritalama anlamına gelmektedir (Fast Laser Imaging and Mapping Airborne Platform). LIDAR ise ışık kullanarak tarama ve tespit anlamına gelmektedir (Light Detection And Ranging). Bu teknolojilere kısaca havadan lazerle arazi haritasının oluşturulması da denmektedir (Airborne Laser Terrain Mapping) (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Havadan lazerle arazi haritasının oluşturulması

Havadan lazerle harita oluşturma sistemi 1995'ten beri özellikle dar koridorların taranmasında kullanılmaktadır. Günümüze kadar geçen sürede, bu sistemin güvenilir ve hassasiyeti yüksek bir sistem olduğu ispatlanmış durumdadır. Bu teknoloji dünyada pek çok uygulamada kullanılmaktadır. Havadan lazer kullanılarak haritalar elde edilmesi yöntemi, ucuz olup yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modellerinin oluşturulmasında ve ulaştırma ve evre uygulamaları için yüksek hızlarda eşyükselti eğrilerinin belirlenmesinde etkindir. Ham haldeki lazer veriler işlenerek hava fotoğraflarının üzerine eklenebilir (Crye, 2001). Havadan lazerle arazi haritasının oluşturulması sisteminin pek çok avantajı vardır. Öncelikli olarak bu sistem güvenlidir. Çünkü srveyan gerektirmeden ölçüm işlemleri yapılabilir. İkinci olarak, özellikle ulaştırma sektöründe sisteme müdahale gerekmeden ölçüm yapılabilir. Bu sistem evre şartlarından hiç bir şekilde etkilenmez ve araziyle ilgili istenilen her türlü özellik kolay bir şekilde ölçülebilir. Bu yöntemle özellikle yollar, dolgular, demiryolu ve iletim hatları gibi dar koridorların coğrafik verileri çok hızlı ve ekonomik bir şekilde toplanabilir (Uddin ve diğ. 2001a). Bu sistemde kullanılan lazer tarayıcılar 15-200 metreden yansıyan ısınları toplayabilirler ve kullanılan ışınlar insan sağlığına zararlı değillerdir. Lazer tarayıcılar saniyede 50 defa tarama yapabilirler. Uçuş yüksekliğine bağlı olarak saniyede 20,000 noktanın verisini toplarlar ve metrekarede 20 nokta yoğunluğuna sahiptirler. Her bir taramayla; yansımaların süresi, yükseklik, hata miktarları ve yoğunluk bilgileri elde edilir. Bu verilerle ileri düzeyde filtreleme işlemleri yapılarak istenilen objelerin coğrafi bilgilerine kolaylıkla ulaşılabilir. Küresel konum sistemleri (GPS) sayesinde elde edilen uydu verisiyle veriler konumlarıyla birlikte kaybedilmeden kullanılırlar. GPS ile objelerin konumları daha güvenilir bir şekilde tespit edilmiş olur. GPS, hava aracı ve yer istasyonlarına ait verilerin sisteme girişi saniyede iki defa yapılır. Sistemin havadaki konumu saniyede 200 sinyalle ataletsel ölçüm sistemiyle (inertial measuring system) belirlenir. Bu sistem aracın içerisine yerleştirilir ve aracın üç boyutlu tüm hareketlerini, aynı zamanda üç boyutta hızları ve ivmelenmeleri de belirler. Dijital zumlu kameralar araç üzerine yerleştirilir ve GPS verileri ile birlikte görüntü elde edilir. Video görüntüleri dijital olarak kaydedilir. Yüksek znrlkl dijital kameralar hava aracı üzerine yerleştirilir ve taranan koridorla ilgili resimler alınabilir. Kameralar saniyede bir resim alabilirler. Bu görüntülerin çözünürlülüğü yüksekliğe bağlı olmakla birlikte piksel boyutları 3-10 arasındadır. Bu fotoğraflarla lazer görüntüler birleştirilerek orto foto mozaik görüntüler elde edilebilir. Kızıl tesi

kameralar kullanılarak tarama yapılan alanın termal haritası elde edilebilir. Kullanılan yazılımlar, tarama yapılan alandan ileri düzeyde filtreleme yapma imkanı vererek objelerin belirlenmesini sağlarlar. Bu sayede elde edilen veriler bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ortamlarında değerlendirilebilirler. Lazer teknolojisi; İletim hatları, demiryolu varlıklarının envanteri, demiryolu arazi bilgisi, topografya (Sayısal arazi modelleri) ölçümleri, haberleşme hatları, hidrolojik uygulamalar ve inşaat mühendisliği gibi alanlarda başarı ile uygulanmaktadır (FLI-MAP, 2004).

Uzaktan algılama teknolojisi: Uzaktan algılama, yeryüzünün belli bir mesafeden, güç alanlarıyla, elektromanyetik radyasyonla, ses enerjisi kullanan kameralarla, radyometre ve tarayıcılarla, lazerlerle, radyo frekanslı alıcılarda, radar sistemlerle, sonarla, termal aygıtlarla, sismograflarla, manyetik kuvvet ölçme aracıyla, ağırlık ölçerlerle, yansıma ölçme aracıyla ve diğer aletlerle taranarak yeryüzü bilgilerini elde eden bir bilim dalıdır. Uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak yeryüzü verileri ucuz ve kolay bir şekilde toplanabilir. Bu şekilde ulaştırma sistem altyapısının kısa ve uzun dönemlerde durumunun değerlendirmesini yapmak mümkündür (NASA, 2004). Aşağıdaki Tablo 2.1’de çeşitli uzaktan algılama teknolojileri karşılaştırılmıştır (Uddin ve diğ. 2001b). Uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü coğrafi koordinatlı konumsal veri ve görüntülerle, coğrafi bilgi sistemleri ve diğer veri kaynakları geliştirebilir. Böylelikle etkin ve ekonomik bir ulaştırma sistem altyapısı oluşturulabilir.

Tablo 2.1 Uzaktan algılama teknolojilerinin karşılaştırılması

Uydu	Konumsal çözünürlük	Spektral çözünürlük	Zaman(gün)	Ölçme alanı (km x km)
Landsat 7	15 m	7 band	16	185 x 185
IKONOS	1 m	3 band	3.5 -5	11 x 11
Orbview3	1 m	4 band	3	8 x 8
QuickBird	0.82 m	3 band	1.5- 4	22 x 22
ASTER	VNIR: 15 m IR: 30-90 m	14 band	Yörüngeye bağlı	Değişken
Obrview4	1 m	4 band	3	8 x 8
SPOT 5 (A,B)	2.5 m 20 m (Orta IR)	4 band	1- 4	60 x 60
Hava fotoğrafı	0.15 m	Görünür band	Taleple	2 x 2 ; 3,000 m
Lazer teknolojisi	0.15 m-0.03 m	NIR band	Taleple	Çok yoğun

Notlar: IR = Kızılötesi NIR = Yakın kızılötesi VNIR = Çok yakın kızılötesi

3. DEMİRYOLU HATTINDA KULLANILAN KONTROL VE TANI SİSTEMLERİ

Çok yakın zamana kadar demiryolu hattı, uzman bakım ekipleri tarafından basit aletlerle veya gözlemsel olarak kontrol edilmekteydi. Teknolojik zorluklar demiryollarına veya demiryolu hattının bakımından sorumlu birimlere, istatistik olarak işlenmiş verilerin kullanılmasına imkan vermiyordu. Büyük miktarlardaki (örneğin her 25 cm'de alınmış) işlenmemiş veriyi, depolamak ve bunu anında kullanmak imkansızdı (Profillidis, 1995).

Demiryolu trafiğinin güvenliğini ve güvenilirliğini tehlikeye sokabilecek kusurların tespit edilmesi ve önceden önlemlerin alınması ancak kontrol sistemleriyle gerçekleştirilebilir. Kullanılan kontrol tekniği, düzenli zaman aralıklarında ardışık kontrol etme imkanı verebilecek süreklilikte ve hızda ise, duruma dayalı başarılı bir yönetim sağlanabilir. Böylece kontrol tekniği üstyapı elemanlarının zaman içinde davranışı konusunda bir fikir sağlayarak, gelecekteki durumun tahmin edilmesine ve bakım planlarının oluşturulmasına imkan sağlayacaktır (Esveld, 2001).

Bakım planlaması ve güvenlik açısından bir demiryolu hattıyla ilgili olarak aşağıdaki verilere ihtiyaç duyulur:

- Hattın geometrik durumu,
- Rayların yorulma ve aşınma durumları,
- Sanat yapılarının konumları,
- Hattın iletim kablolarının durumları,
- Köprü ve tünellerin fiziksel durumları.

3.1 Tünel Kontrol Sistemleri

Kesintisiz tünel kontrolü, demiryolu sistem altyapısı yönetimi alanında en son gelişmelerden birisidir. Tünel iç yüzeyinin lazer, termal ve video tarama teknikleriyle incelenmesi çok faydalı olup yaygın bir kullanımı vardır. Dünyada demiryolu tünellerinin çoğu 100 yaşından büyüktür. Gelişen teknoloji ile birlikte bu tünellerin

mevcut şartlarda durumunun tespit edilmesine yönelik önemli çalışmalar yapılmaktadır. Şekil 3.1, tünel profili lazer/görüntü/termal tarama sistemini yani tarama görüntüleme sistemini göstermektedir. Tarama görüntüleme sistemi karmaşık verileri bir araya getirerek tünelin durumu hakkında ayrıntılı bilgiler verir. Bu yöntemin özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Esveld, 2001):

- Görsel, termal veya profil verinin gösterimi,
- Tarama yerlerine ait tünel enkesitinin gösterilmesi,
- Gerçek ölçülerle tarama ölçüleri arasındaki tutarlılık,
- Tarama yapılan yerlerin üç boyutlu gösterimi,
- Taranmış bölgelere vurgu yapmak için açıklayıcı notlar eklemek ve diğer dokümanlarla ve uygulamalarla ilişkilendirmek,
- Taranmış herhangi bir bölgenin değişik ölçeklerde yakınlaştırılması,
- Hat verisinden otomatik olarak tünel içi geçiş izi hesaplamaları.



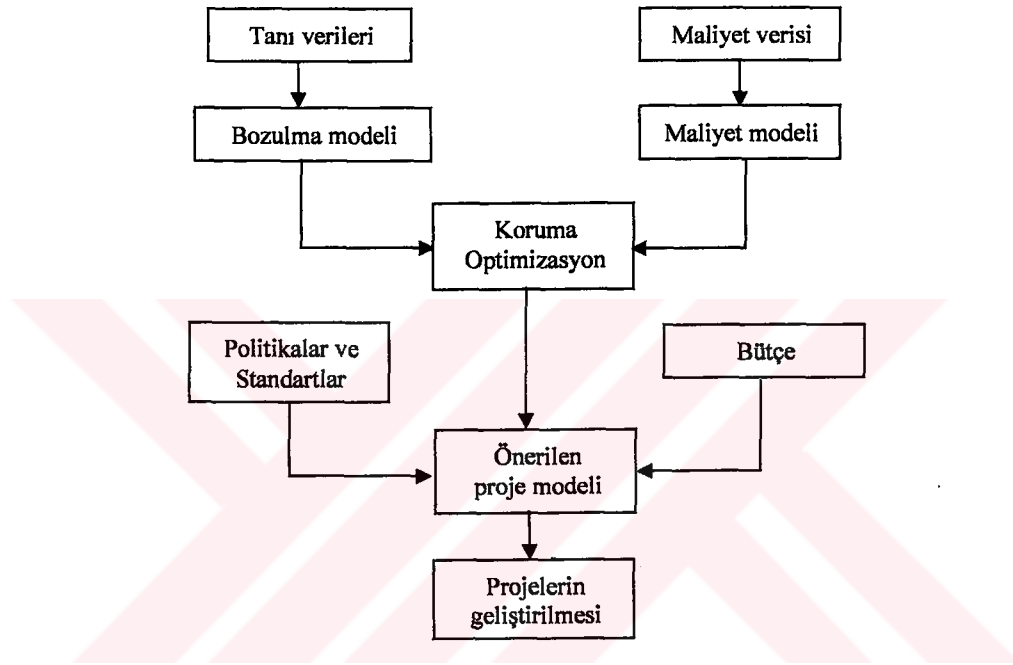
Şekil 3.1 Tünel profilinin tarama görüntüleme (lazer/görsel/termal) sistemiyle incelenmesi

3.2 Köprülerin Kontrol ve Yönetim Sistemleri

Köprüler özellikle güvenlik açısından demiryolu elemanları içerisinde en önemli elemanlardan birisidir. Avrupa’da açıklıkları yüzlerce metre olan betonarme veya çelik yüz binlerce köprü bulunmaktadır. Hükümetlerin demiryolu taşımacılığının artmasına yönelik geliştirdikleri politikalarla ve hız artımlarıyla, gelecekte demiryolu trafiği önemli derecede artacaktır. Artan kullanımla, tren sıklıkları, hızlar ve artan dingil yükleri daha ağır yüklemelere yol açacak, sistemin ekonomik ömrünü olumsuz

etkileyecek ve güvenliği tehlikeye sokabilecektir. Bu durum BY faaliyetlerini gerektirecek ve sonuç olarak tren gecikmelerine, trafik karışıklıklarına sebep olacaktır. Aynı zamanda hatta çalışan personelin kaza olasılığını da arttıracaktır.

Köprü yönetim sistemleri ilgili birime bilgi ve araçlar sağlayarak, köprülerin ekonomik ömürleri süresince analizini, sürekliliğini sağlar. Bu sistemler köprülerin gerçek verilerini kullanarak, bozulma ve bozulma şekli analizleri yaparak hattın maksimum kullanımını ve güvenliğini sağlamaktadır. Şekil 3.2’de köprü yönetim sisteminin genel yapısı görülmektedir (Esveld, 2001).



Şekil 3.2 Köprü yönetim sisteminin genel yapısı

3.3 Demiryolu Altyapısının Kontrolü

Demiryolu üstyapısında hat geometrisi problemlerinden biri veya bir kaç tanesi bazen çok sıklıkla görülmeye başlar. Bu problemin gerçek sebebi altyapı tabakalarından kaynaklanabilir (balast, balast altı ve doğal zemin). Altyapının durumu hakkında yeterli bilgi yoksa ve altyapı kontrol edilemiyorsa, problemler farklı şekillerde çözülmeye çalışılır. Bu gibi durumlarda yapılması gereken bakım yerine; hattın kaldırılması, eksenine getirilmesi ve buraj gibi standart geometri bakımları yapılır. Maalesef problemler tekrar görülür ve bakımların sıklığı artmaya başlar. Bununla birlikte bozulma oranı artar ve kabul edilemez bir düzeye gelir. Eğer

uygun bakım zamanında yapılmış olsaydı, demiryolu hattında bu kadar çok zaman kaybı olmayacak ve hattın bozulması yüksek düzeylere çıkarılmayacaktı (Esveld, 1997).

Altyapı, hat bakım maliyetlerini doğrudan ve dolaylı yollardan etkilemektedir. Bu durum üstyapı ve altyapının bütünleştirilmiş bir yönetimi gerektirir. Demiryolu hattının düzeltilmesine yönelik çalışmalar genellikle hattın işletmeye kapatılmasını gerektirir. Bu durum demiryolu hattının işletme sıklığının artırılmasına yönelik politikaları olumsuz yönde etkiler. Demiryolu altyapısının rijitliği de çok önemli bir durumdur. Çünkü altyapının rijitliği raylar, traversler ve balast gibi hat bileşenlerinin ekonomik ömürlerini etkilemektedir. Altyapı ve üstyapının bütünleştirilmiş yönetim sisteminin aşağıda sıralanan durumları sağlaması gerekir:

- Altyapının durumu ve hat bakım gereksinimleri arasında güvenilir bir ilişki kurulması,
- Bakım maliyetlerini ve altyapının olumsuz etkilerini azaltmak için uygun yöntemlerin belirlenmesi.

Altyapı ve üstyapının bütünleştirilmiş yönetim yaklaşımı aşağıda sıralanan esaslara dayanmalıdır:

- İleri düzeylerde analizlere imkan verecek şekilde kontrol edilmesi gereken altyapı durum parametrelerinin belirlenmesi,
- Kesintisiz altyapı kontrolü için hasar vermeyen yöntemlerin ve yolların belirlenmesi (periyodik, kesintisiz, kolay ve ekonomik olan, mümkün olduğunca trafik karışıklıklarına sebep olmayan),
- Tüm verilerin eş zamanlı ve bütünleştirilmiş analizlere imkan vermesi (envanter verisi, üstyapı ve altyapı durum verisi, geçmiş BY verisi, trafik özellikleri, yük ve yaş bilgisi, yol çevresinin durumu, arazi ve laboratuvar testleri gibi),
- Seçeneklerin bütünleştirilmesi ve ekonomik analiz süreçlerinde, belli durumlarda yapılacak en uygun BY çalışmalarının belirlenmesi ve karar verme süreçlerinin oluşturulması için kuralların geliştirilmesi,
- Kuralların geliştirilmesi için önerilen BY çalışmalarının geri beslemeyle performansının kontrol edilmesi.

3.3.1 Altyapının durumunu belirleyen parametreler

Altyapının durumunu gösteren pek çok parametre vardır. Altyapıya ulaşmanın güç olması sebebiyle bu parametrelerin kullanılması oldukça zordur. Şüphesiz bu verilerin kazı yaparak elde edilmesi en uygun olanıdır. Ancak bu yöntemlerin kullanılması trafik karışıklıklarına sebep olacağından kullanmak mümkün olmayabilir ya da tercih edilmezler. Altyapıyla ilgili olan başlıca parametreler aşağıda sıralanmıştır:

- Hat geometrisi verisi,
- Zemin penetrasyon radar verisi,
- Hat rijitlik verisi,
- Toprak gövdenin taşıma gücü verisi,
- Su muhtevası verisi,
- Kızılötesi termografik kontrol verisi,
- Tüm hattın drenaj bilgisi,
- Kaya sınıflarının verisi.

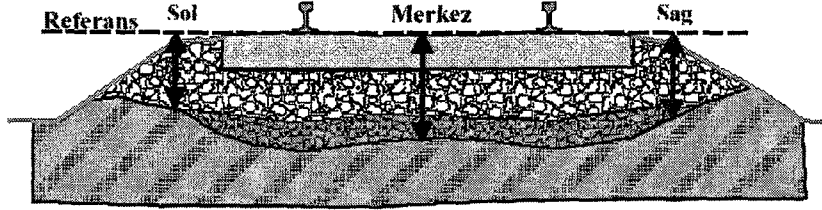
Üstyapıda olduğu gibi altyapının kontrolü için uygulanacak tekniklerin de kesintisiz olması, yüksek hızlarda olması, trafik karışıklığına sebep olmaması, günün saatinden ve hava koşullarından bağımsız olması gerekir. Aynı zamanda bu teknikler düzenli zaman aralıklarında yapılabilmelidir. Böylece altyapının zaman içindeki davranışı tespit edilebilir (Esveld, 1997; Esveld, 2001).

Daha öncede belirtildiği gibi, üst yüzeyin altında yani derinlerde bulunan tabakaların kontrol edilmesi oldukça zor bir işlemdir. Ancak altyapı yönetimi için geliştirilmiş ve müdahale gerektirmeyen çeşitli teknikler bulunmaktadır. İlerleyen bölümlerde bu tekniklerden bahsedilecektir.

3.3.2 Zemin penetrasyon radarı

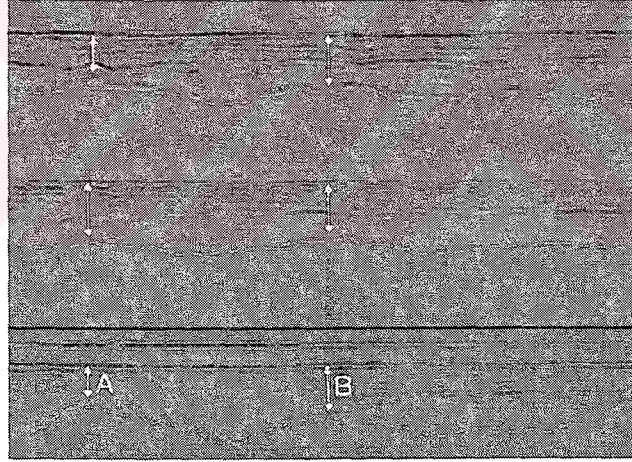
Zemin penetrasyon radarıyla ölçüm yönteminin mantığı, farklı yalıtkan özellikteki malzemelerin ara yüzlerinden yansıyan çok kısa elektromanyetik kuvvetlerin yayılması ve bunların kaydedilmesi esasına dayanır. Elde edilen sinyaller, yüzey altında gizlenmiş kötü haldeki balastın durumu ve drenaj problemlerinin değerlendirilmesine imkan verir. Aynı zamanda farklı zemin tabakalarının sınırları, hava boşlukları, su birikintileri ve diğer homojen olmayan kısımların bilgisi de elde

edilir. Seçilen hat yüzeyi boyunca verici ve alıcıların her ikisi de hareket eder ve alıcı antenle kaydedilen yansımaların iki boyutlu görüntüleri veya radar görüntüleri elde edilebilir. Yansıma değerlerinin yoğunluğu gri ölçekli bir formda görülür. Bu görüntüler sonradan bilgisayar destekli numune tanıma teknikleriyle elle veya otomatik olarak analiz edilebilir ve zemin tabakalarının kalınlıklarıyla ilgili ayrıntılı bilgiler sağlanabilir. Şekil 3.3'te altyapısı bozulmuş bir hat enkesiti görülmektedir.



Şekil 3.3 Altyapısı bozulmuş bir hat enkesiti

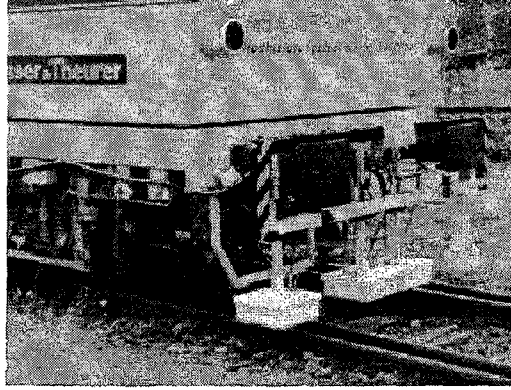
Zemin penetrasyon radarının kullanılması sonucu altyapıda görülen kusurlu kesimler tespit edilebilir. Şekil 3.4'te A ve B ile gösterilen kesimlerde altyapının yukarı yönde bir bozulma yaptığını göstermektedir. Bu sistem sayesinde altyapıya müdahale etmeden kusurlar belirlenebilir doğru çözümler uygulanabilir (Hyslip ve diğ., 2004).



Şekil 3.4 Paralel zemin penetrasyon radarlarının altyapı durumunu göstermesi

Zemin penetrasyon radarı ölçümleri belirli zaman aralıklarında tekrarlanırsa, zemin tabakalarının kalınlıkları ve balastta meydana gelen çökmelerin zaman içindeki değişimleri belirlenebilir. Bu alet uygun bir demiryolu aracına yerleştirilerek hat boyunca kesintisiz bir ölçüm yapılabilir. Bu şekilde hattın işletmeye kapalı olduğu dönemlerin tamamını kullanarak uzun mesafeler kontrol edilebilir. Şekil 3.5'te bir

demiryolu kontrol aracına yerleştirilmiş zemin penetrasyon radarı görülmektedir (Manacorda ve diğ., 2002).



Şekil 3.5 Demiryolu aracına yerleştirilmiş zemin penetrasyon radarı

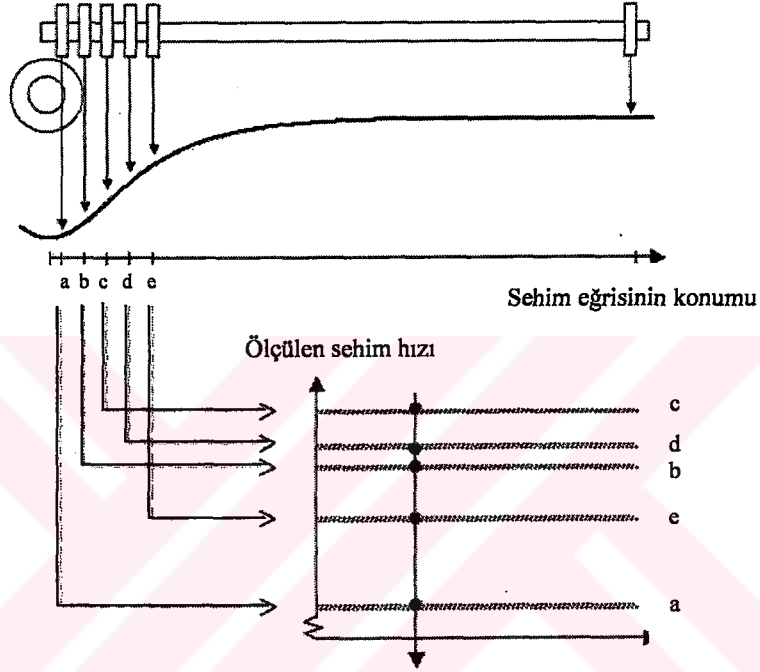
3.3.3 Hattın rijitliğinin ölçülmesi

Belirli altyapı problemlerinin sebeplerinin saptanmasında çok faydalı olan düşey tekerlek yüklemesi altında hattın sehimi veya rijitliği tespit edilebilir. Ancak pek çok demiryollarında bu tip bir ölçüm için doğru donanım kullanılmadığından elde edilen ölçümlerin faydası yoktur. Bu tekniğin temel ilkesi, düşey yükün hidrolik silindirler kullanılarak her iki raya aynı zamanda uygulanmasıdır. Bu sırada bir yükleme hücresi düşey yükü ölçmek için kullanılır. Yükün etkisi dışında kalan görsel bir düzey, raylara eklenen hedefleri kullanarak raylarda oluşan sehimleri ölçmede kullanılır. Şayet hattın rijitliği ile ilgili veri zaman içindeki değişimleriyle birlikte belirlenirse ve tabakaların kalınlıklarının değişimleriyle ilgili zemin penetrasyon radar verileriyle bütünleştirilirse, hat yöneticisi hattın altyapısının gerçek durumu ve davranışı hakkında daha iyi fikir sahibi olacaktır.

Yüksek hızlı sehim ölçer lazer esaslı bir alettir. Bu alet şebeke düzeyinde demiryolu hattının yapısal durumunu kesintisiz bir şekilde değerlendiren hızlı, güvenilir bir sistem olarak tasarlanmıştır. Bu alet temassız lazer dopler sensörleriyle, yükleme sonucu oluşan çökmeyi mutlak değeri ile değil sehim hızı olarak ölçmektedir. Çünkü sehim hızı yolculuk hızlarının artmasıyla artma eğilimi göstermektedir. Yüksek hızlı sehim ölçer yaklaşık 130 km/sa gibi yüksek hızlarda ölçüm yapabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Bir dizi lazer dopler algılayıcısı, ağır bir aracın tekerleklerinden birinin önünde yer alan bir kiriş üzerine yerleştirilirler ve bunlar ray yüzeyini tarayan lazer ışınlar

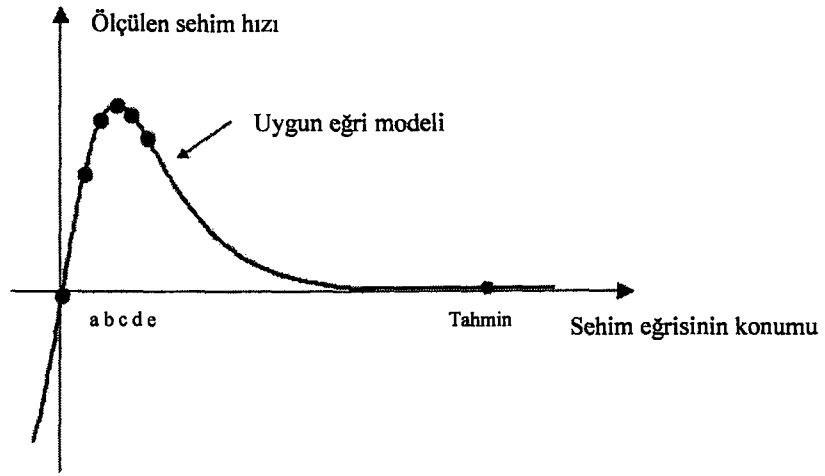
yayarlar. Taşıt yüklemesi sonucu ray yüzeyinde bir sehim meydana gelir ve bu sehimin hızı algılayıcılar tarafından kaydedilir. Sistemde kullanılacak algılayıcı sayısı en az ikidir. Algılayıcılardan birisi sehim verisinin elde edileceği yükten belli bir mesafeye yerleştirilir. Diğer algılayıcı referans algılayıcısı olup sehimin olmadığı uzak bir noktaya yerleştirilir. Sehim hızındaki ani değişiklikler hat içindeki süreksizlikleri gösterir. Bu süreksizliklerin görüldüğü yerler sonradan daha detaylı incelenebilir. Şekil 3.6 beş lazer dopler algılayıcısına sahip bir sistemin şeklini ve tekerlek yükü altında gerçekleşen sehim eğrisini göstermektedir.



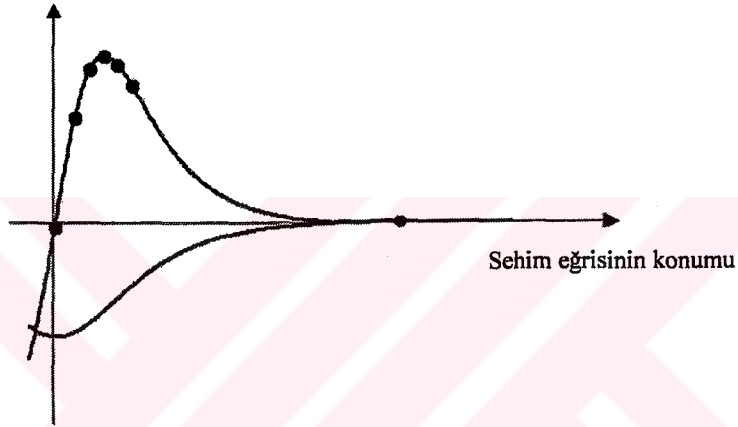
Şekil 3.6 Yüksek hızlı sehim ölçerin şematik gösterimi

Şekil 3.7 ölçüm süresince her bir algılayıcıdan elde edilen verileri göstermektedir. Elde edilen veriler koordinat sistemine yerleştirilerek uygun bir eğri modeli tespit edilebilir (Rasmussen ve diğ., 2002).

Şekil 3.8’de sehim hızı eğrisi ile sehim eğrisi aynı koordinat sisteminde gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Sehim hızları ve uygun eğri modelinin tespiti



Şekil 3.8 Sehim hızı eğrisi ve sehim eğrisi

3.3.4 Kızıl ötesi termografik ölçüm yöntemi

Kızıl ötesi termografik ölçüm yöntemi hat yatağının durumunu gösteren bir yöntemdir. Bu teknik çok ucuz olup büyük uzunluklar oldukça hızlı bir şekilde ölçülebilir. Hasar vermeyen bir yöntem olup çevresel bir zarara sebep olmaz.

Kızıl ötesi termografik ölçüm yöntemde, tozlar ve küçük parçalarla tüm hava boşlukları dolmuş yani kirlenmiş balast tabakası homojen olarak kabul edilir. Tersine temiz balast tabakası boşluklu bir yapıda kabul edilir. Bu kabulle farklı özellikteki balast tabakalarının içindeki ısı değişimi belirlenebilir. Bu yöntemde ısı değişim eşitlikleri balast yüzeyinin sıcaklığını içermezler. Tüm düzlem içindeki ısı değişimi her bir bölüm için aynı olacak şekilde kabul edilir. Bunun anlamı, tüm balast içindeki ısı değişimi yüzeyden havaya kadar aynıdır. Zeminin ve atmosferin sıcaklığının bilinmesiyle, kirli ve temiz balastın yüzey sıcaklığının teorik olarak tahmin edileceği

düşünülür. Bu sıcaklıkların her ikisi de ölçülebilir. Kızıl ötesi termografik ölçümün yapılacağı en iyi durum temiz ve kirli balast arasındaki sıcaklık farkının olduğunu zamandır (Esveld, 2001).

3.3.5 Penetrasyon yapmadan su muhtevası kontrolü

Mühendislik yapılarındaki dolgularda değişen su muhtevasının belirlenmesi için elektrik özdirençli aletler uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Zemin içeren dolguların dengesi inceleneceği zaman, yoğunluk ve mukavemeti belirleyen su muhtevasının bilinmesi çok önemlidir. Karayolu ve demiryolu dolgularında toprak işleri çalışmaları yapılmaktadır. Penetrasyonsuz jeofizik yöntemlerle su muhtevasının kontrolü çok faydalıdır. Elektrik özdirençleri zemin içindeki suya duyarlıdır. Arazide özdirenç tomografisi için elektrotlar şeklinde basit metal çubuklardan yararlanılır. Bunlar iki ve üç boyutta elektrik direnç ölçümlerini alt yüzeyin elektrik özdirençlerine dönüştürmeye imkan verirler. Zeminlerin ve gözenekli kayaların elektrik özdirençleri aşağıdaki parametrelerle kontrol edilir (Esveld, 2001):

- Yoğunluk/porozite,
- Doygunluk,
- Boşluk suyu özdirenç,
- Matris özdirençleri,
- Boşluk morfolojisi.

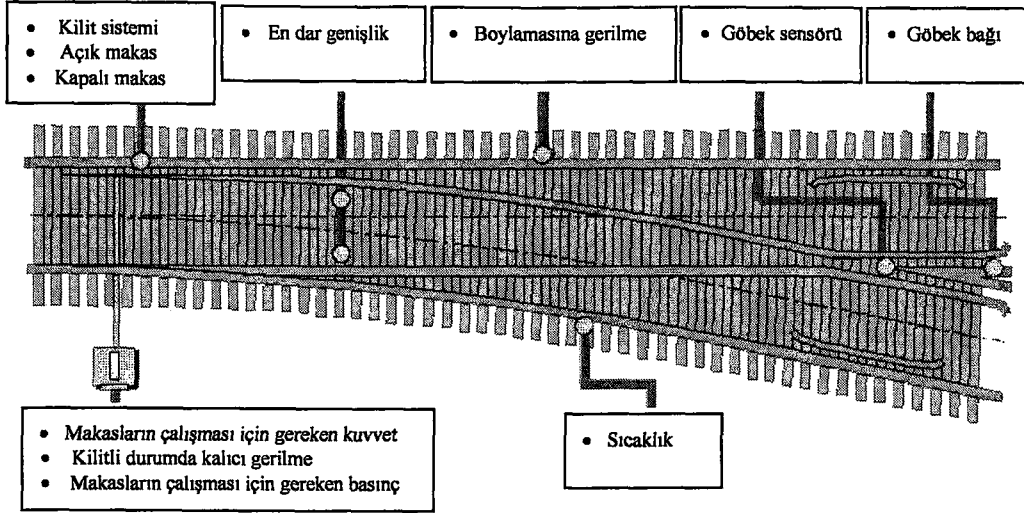
3.4 Makas ve Kesişimlerin Kontrolü

Makas ve kesişimler her yıl toplam BY bütçesinin yaklaşık %25'ni oluşturdukları ve büyük problemlere sebep oldukları tespit edilmiştir. Organizasyon yapısı ve teknolojik düzeyi ne olursa olsun demiryolları bu yüksek maliyetlerle karşı karşıyadırlar. Bu problemi çözmek için demiryolu organizasyonları az ya da çok, makas ve kesişimler için çeşitli bakım yönetim sistemleri uygulamaktadırlar. Bu yöntemlerin bazıları bilgisayar destekli bazıları ise kağıt bazlı çalışmalardır. Bu yöntemler bu problemleri bir dereceye kadar hafifletmelerine rağmen, asla tam olarak çözemezler. Bu sebeple makas ve kesişimlerin yönetimi için genel bir yöntem tam olarak geliştirilememiş ve tanımlanamamıştır. Diğer taraftan, makas ve kesişimlerin teknik çözümlerinde ki çeşitlilik hattın düz giden kısımlarından daha

fazladır. Çözümlerdeki bu çeşitlilik tutarlı bir metodolojinin ve açık bir makas-kesişim yönetiminin gelişiminde zorluk çıkarmaktadır. Duruma dayalı bakım yönetim sistemleri izlenirse, en iyi makas-kesişim yönetimini sağlayan adımlar şu şekilde sıralanır:

- Makas ve kesişimlerde karşılaşılan en çok bozulma türünün ve bakım masraflarının dikkate alınması, trafik güvenliğini tehlikeye sokacak en büyük tehlikenin belirlenmesi gibi kritik makas kesişim elemanlarının belirlenmesi,
- Farklı tipteki makas-kesişimlerin teknik çözümleri için makasların durumlarını veya onların elemanlarını mümkün olduğunca bilinen standartlarda tanımlayan anahtar parametrelerin belirlenmesi,
- Önceden belirlenen parametrelerin kontrolü ve verilerinin toplanması için en iyi yöntemlerin araştırılması,
- Makas ve kesişimlere uygulanan mevcut bakım faaliyetlerini değerlendirmek ve araştırmak. Önceden planlanmış sabit zaman aralıklarında bakım yapmak yerine duruma dayalı yöntemlerle iyileştirme olasılıklarının araştırılması,
- Toplanan verilere ve belirlenen bozulma modellerine dayalı olan, güvenliği, güvenilirliği ve ekonomiyi sağlayacak şekilde alınacak karar verme süreçlerini oluşturan kuralların ve eşiklerin belirlenebilme olasılıklarının araştırılması.

Gelecekte muhtemelen makas ve kesişimlerin yönetimi sadece “otomatik makas-kesişim durum kontrolü” sistemleri kullanılarak yapılacaktır. Günümüzde otomatik makas-kesişim durum kontrolünün kalitesi ve güvenilirliği hızla artmasına rağmen, toplamda makas-kesişim yönetimi bu sistemlere bırakılmamaktadır. Günümüzde demiryolu organizasyonları makas-kesişimlerle ilgili standart geometri kayıtlarını ve görsel gözlemleri düzenli olarak yapmaktadırlar ve en uygun makas kesişim yönetim sistemini elde etmeye çalışmaktadırlar. Aşağıdaki Şekil 3.9’da makasların ölçüm yapılan ve düzenli olarak yapılması gereken kritik noktalarının yerleri görülmektedir (Herkes, 2004; Esveld, 2001).



Şekil 3.9 Makaslarda ölçüm noktaları

3.5 Ultrasonik Ray Kontrolleri

Ultrasonik ray kontrolü ray iç kusurlarının tespit edilmesinde kullanılan yaygın bir ölçüm yöntemidir. Bu tipte bir kontrol başta güvenlik olmak üzere, dışarıdan görülemeyen iç kusurların saptanması için kullanılmaktadır. Güvenlik dışında diğer önemli faydası ise erken dönemlerde kusurların tespit edilmesidir. Böylece tamiratlar işletme faaliyetlerini etkilemeden düzenli aralıklarda programlanabilir. Bakım faaliyetlerinin planlanması ancak kontrol mekanizmasına ve bu yöntemle veri elde edilebilmesine bağlıdır.

Ultrasonik kontrol, elle kumanda edilen aletlerle ve özel trenlerle yapılabilmektedir. Büyük şebekelerin kontrolü için ultrasonik trenlerin kullanılması kaçınılmazdır. Ölçüm hızı sistemin tipine ve hat kalitesine bağlı olup genellikle 75 km/sa dolaylarındadır.

Makaslar, dever rampaları, hareketli köprüler gibi özel yapılar normal olarak elle kumanda edilen ultrasonik aletlerle kontrol edilirler. Genellikle ultrasonik trenlerden elde edilen bulgularla kusurların giderilmesine geçmeden önce elle kumanda edilen aletlerle yeniden bir inceleme yapılır (Edwards ve diğ., 2004.)

Hollanda'da kullanılan UST96 ultrasonik treninde her bir ray için iki sondaj (probe) bloğu vardır. Ray mantarının iç kısımlarını kontrol etmek için kullanılan her bir sondaj bloğu; iki tane 0°, iki tane 70°, iki tane 35° iletme sistemine ve iki tane de ekstra 70° iletme sistemi sahiptir. En iyi "sinyal-gürültü" oranı elde etmek için,

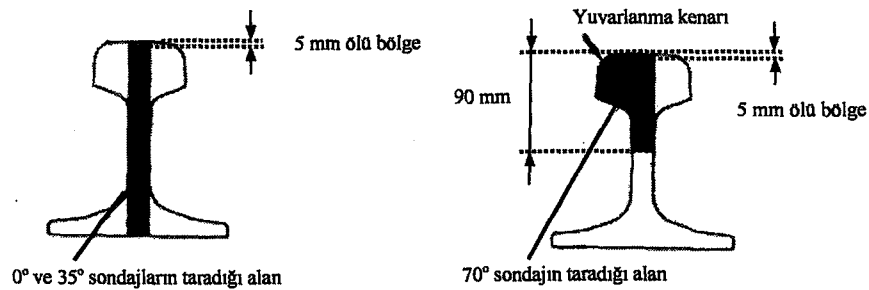
iletme sisteminin elektronik donanımı iletim sistemine komşu boji bölümüne yerleştirilir.

Hollanda'da geliştirilen bu ultrasonik sistem, yüksek hızlarda rayla teması en iyi şekilde sağlamaktadır ve ray üzerinde iletim sisteminin doğru yerleştirilmesine imkan vermektedir. Taşıyıcı pnömatik sistemi ray merkezinde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ölçüm süresince, kılavuz tekerlekler ray mantarının yuvarlanma kenarlarına değecek şekilde itilir ve bu şekilde sondajların konumlarını sabitler. Sondaj sistemi bojilerden birisi üzerine sabitlenen küçük tekerlekli bir araba içine yerleştirilir.

Su temas sıvısı olarak kullanılır. Bu sebeple sondaj treni 6,000 litre su kapasitesine sahiptir. Sondaj sisteminin içindeki odalarda su basınç altında taşınır ve plastik bir halka ile çevrelenmiştir.

0° sondaj; mantar kısmını, tüm gövdeyi ve taban kısmının ortasını Şekil 3.10'da görüldüğü gibi rayı dik şekilde taramak için kullanılır. Su filmi içindeki iletim dalgalarının dağılımına ve kullanılan sondajların özelliklerine bağlı olarak, ray mantarının üst kısmındaki kusurlu bölgelerin tespit edilebilme derinlikleri değişmektedir. Çünkü iletim dalga alanı ve su ara yüzeyi alanından oluşan bu bölge ölü bölge olarak isimlendirilir ve bazı özel tekniklerle bu ölü bölge 5-8 mm ye kadar azaltılabilir.

70° sondajları, plastik cam sondaj bloğunun içinde orta tabakaya yerleştirilmişlerdir. Bu sondajın test alanı, ray mantarının merkez ve gövde kısmıdır. Düşey yönde en fazla derinliği 90 mm'dir.



Şekil 3.10 Rayda ultrasonik ölçüm bölgeleri

Ultrasonik ray kontrolünde sinyal-gürültü oranı sürekli olarak kontrol edilir ve donanımlar en uygun ayarında korunur. Ölçüm aralıkları iletim tipine göre otomatik olarak ayarlanır. Ölçüm hızına bağlı olarak ölçüm aralığı 2 veya 3 mm olarak seçilir.

İnceleme alanı her bir iletim tipi için ayarlanabilir. Kusur tespit detektörleri bir ray profilinden diğerine giderken ölçüm aralıklarını ve inceleme alanını otomatik olarak değiştirirler (Esveld, 2001).

3.6 Demiryolu Kontrol Araçları

Son yıllarda demiryolu organizasyonları yüksek hızlarda gidebilen ve istenilen aralıklarda ölçüm yapan demiryolu kontrol araçları kullanmaktadırlar. Bu araçlar kontrol aletleriyle donatılmış olup istenilen aralıklarda demiryolu hattındaki bozulmaları tespit edebilmektedirler. Günümüzde CD yazıcıları ve büyük kapasiteli sabit diskleri kullanarak, çok ayrıntılı veriyi kullanmak ve depolamak mümkündür. Demiryolu kontrol araçları ray geometrisindeki bozulmaları (kaynak kusurları ve ray kusurları) tespit ettiği gibi hat geometrisindeki bozulmaları da (her bir ray için) tespit edebilmektedir (Guler ve Jovanovic, 2003b). Demiryolu kontrol araçlarını üreten firma sayısı çok azdır. Demiryolu kontrol araçları farklı türlerde olabilirler. Aşağıda çeşitli demiryolu kontrol araçlarının özellikleri belirtilmiştir:

- Kendinden tahrikli olanlar veya diğer demiryolu araçlarıyla çekilenler
- Temaslı ölçüm veya temassız ölçüm sistemlerine sahip olanlar
- Ataletsel (Inertial (absolute)) veya kiriş (chord) ölçüm sistemleri kullananlar
- Tek bir ölçüm yapanlar veya hat geometrisi, ray ve kataner sistemlerin ölçümlerinin de beraber yapıldığı bir kombinasyona sahip olanlar
- Belli bir ölçüm hızına sahip olanlar (0 ile 250 km/sa arasında)

Modern demiryolu kontrol araçları hatla ilgili öncelikli ve ayrıntılı veriyi yüksek hızlarda tespit edebilmektedirler. Kontrol sistemlerinin montajı hattın üstyapısı dikkate alınarak kontrol aracı üzerine yapılır. Bu modern kontrol araçlarının en büyük avantajı, hat geometrisi, elektrifikasyon ve sürüş kalitesi gibi üstyapıyla ilgili parametreleri aynı anda belirleyip, ilişkilendirerek analizler yapabilmeleridir. Aşağıdaki Tablo 3.1 modern demiryolu kontrol araçlarıyla tespit edilen kusurları göstermektedir:

Tablo 3.1 Modern demiryolu kontrol araçlarıyla tespit edilen kusurlar

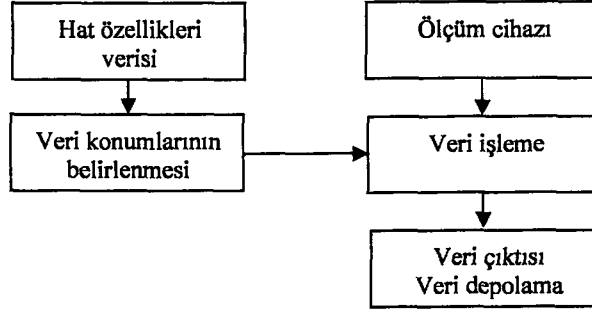
	Hattan elde edilen parametreler
Hat geometrisi	Sağ/Sol ray düşey geometrisi Sağ/Sol ray yatay geometrisi Eğrilik yarıçapı Hat genişliği Dever Burulma (2 m, 9 m veya seçime bağlı)
Ray profili	Düşey aşınma Yatay aşınma 45° aşınma
Ray kusurları	Ray kusurları (20, 3000) mm aralığında çeşitli bandlarda
Yüzey kusurları	Ray kırılmaları Kızaklanmayla aşınma Kabuklanma Kusurlar Bozulmalar Kaynak bozuklukları Moloz izleri Bağlantı malzemesi eksikliği Traverslerdeki kırıklar Traverslerin ve bağlantıların bütünlüğü

Hat geometrisi kalitesi, demiryolu kontrol sistemleri ve demiryolu kontrol araçlarıyla ilgili standartlar CEN (Comite Europeen De Normalisation- European Committee For Standardization) tarafından belirlenmiştir. Bu komisyona pek çok Avrupa demiryolu organizasyonu ve demiryolu kontrol sistemleri üreten firmalar üyedir. Demiryolunda yapılan ölçümlerin ölçüm koşullarıyla ilgili standartlar şu şekilde sıralanabilir:

- İşletme araçlarının etkisinin tespit edilebilmesi için, tüm geometrik parametreler yüklenmiş bir hat üzerinden ölçülmelidir. Rayın ölçüm noktasındaki yükleme, 180 kN/mm orta hat rijitliğine sahip ve UIC 60 (60E1) rayı göz önüne alındığında en az düşey tekerlek yükü 2.5 tona eşdeğer olmalıdır.
- Farklı hızlarda ve her bir yönde yapılan ölçümlerin doğruluğu belli sınırlar içinde olmalıdır. Böyle bir durum yoksa, ölçümlerin geçerli olacağı koşullar ve/veya ölçüm yönü belirlenmelidir.
- Tüm parametreler belirlenen örnek uzunluğunda aynı noktadan ölçülmelidir.
- Tüm parametreler aynı örnek aralığında ölçülmelidir.

- Tüm farklı ölçümlerin yer belirtme hassasiyeti ± 10 m içinde olmalıdır.
- Örnek uzunluğun hassasiyeti $\% 1$ içinde olmalıdır.

Demiryolu kontrol araçlarında bir standart sağlamak için, aracın hat geometrisi ölçüm sistemi aşağıdaki Şekil 3.11’de görüldüğü gibi bir kaç alt birime ayrılabilir:



Şekil 3.11 Hat geometrisi ölçüm sistemi birimleri

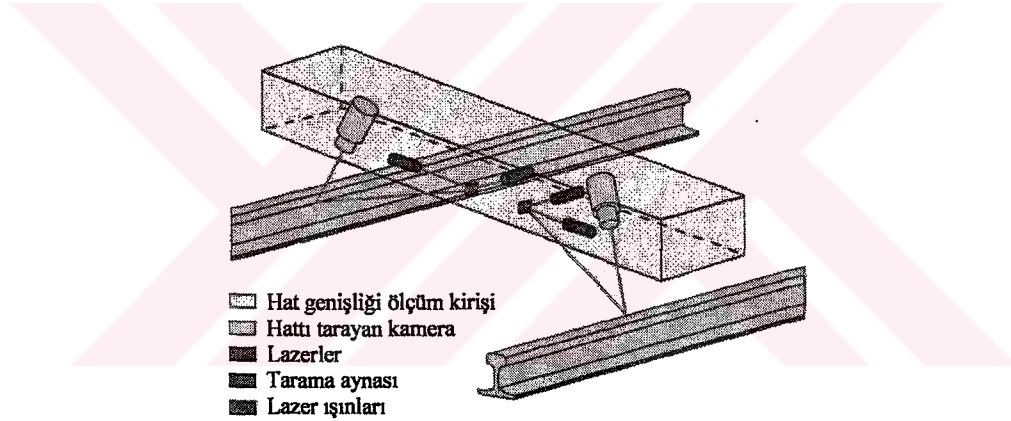
Demiryolu kontrol araçlarının, ölçüm hızına ve ölçüm yönüne bağlı olmadan yaptıkları ölçümlerin tutarlı olması gerekmektedir. Çünkü bu ölçümler hattın kalite kontrolü, bakım planlaması ve güvenliğin bir göstergesi olarak kullanılırlar. Hat geometri ölçüm sistemi, demiryolu kontrol aracı üzerine devamlı olarak yerleştirilmiş olan donanımların tamamını içerir. Bu sistemlerden amaçlanan şunlardır:

- Geometri parametrelerin ölçümü,
- Ölçüm işlemi süresince araç tarafından alınan mesafenin ölçümü,
- Belirtilen eşikleri aşan değerleri ve hattı karakterize eden diğer elemanların hat üzerinde ki yerlerinin tam olarak belirlenmesi için bu iki ölçümün ilişkilendirilmesi,
- Kaydedilen bu parametrelerin kağıt veya bilgisayar gibi okunabilir ortamlara aktarılması,
- Ölçülmüş değerlerden yararlanılarak hat geometrisinin ve diğer parametrelerinin hesaplanması (burulma, eğrilik yarıçapı gibi),
- Hat geometrisi parametrelerini analiz etmek için ölçülmüş değerlerin işlenmesi,
- Kolaylıkla aktarılabilir bir veri tabanı sahip olması ve sonuç analizlerinin kaydedilmesi.

Demiryolu kontrol araçları, temaslı tipte veya temassız tipte olabilirler. Şayet kiriş tipi ölçüm sistemi kullanılıyorsa; ölçüm hızı aralığı, çok düşük hızlarda ve aracın izin verilen en fazla hız sınırına kadar olabilir. Şayet ataletsel tipli ölçüm sistemi kullanılıyorsa, bazı parametreleri ölçme de ölçüm için en az bir hız gerekebilir (5 km/sa tavsiye edilen) (CEN prn13848-1, 2003 ve CEN prEN 13848-2.13, 2003)

3.6.1 Optik ölçüm sistemleri

Bunlar ray kenarlarına ve ray mantarına sabitlenmiş temassız optik sistemlerdir. Optik ölçüm sistemleri, hareketli dingillerin önünde veya arasında bir bojiye yerleştirilmiş olan ölçüm kirişi üzerinde bulunurlar. Şekil 3.12’de iki optik ölçüm sisteminin bir ölçüm kirişi üzerinde konumları görülmektedir. Her iki sistem de bir lazer, ölçüm kirişinin gerçek konumunu belirleyen lazer çubuklar boyunca sıralanmış sapırtıcı bir ayna, ray kenarlarında lazer çubukların oluşturduğu ışık kümesi ile ölçüm kirişi arasındaki yatay mesafeyi ölçen bir tarama kamerasını içerirler (Plasser & Theurer, 2004).



Şekil 3.12 Hat genişliği ve yatay durumu ölçen optik ölçüm sistemi

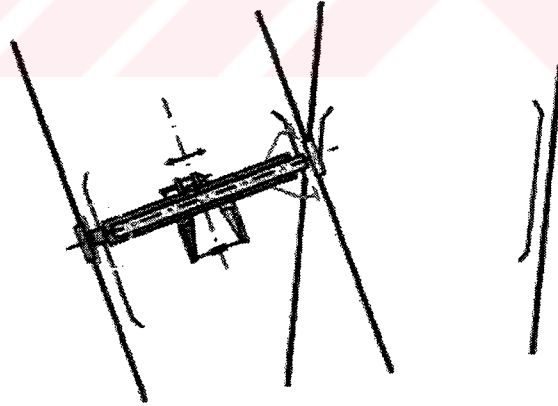
3.6.2 Teleskobik ölçüm aksları

Hat ölçümünde kullanılan klasik bir sistem olup hala kullanılmakta olan teleskobik ölçüm aksları hat genişliği, yatay ve düşeydeki sapmaları tespit ederler. Ana dingillerin arkasında ve önünde bulunurlar, ölçüm dingilleri sırasıyla taşıt şasisine ve hareketli dingillere bağlıdır. Ölçüme hazırlanacağı zaman, ölçüm dingilleri hat üzerine teker teker indirilir. Boji donanımlı araçlarda, teleskobik ölçüm dingilleri her bir bojinin iki dingili arasına yerleştirilirler. Ölçüm sırasında pnömomatik silindirler rayların kenarlarına doğru tekerlekleri yatay ve düşey yönde sıkıştırırlar. Bu durum

120 km/sa hıza kadar izin verilen tüm hız aralıklarında doğru bir tarama yapmayı sağlar.

Kılavuz kızaklar makas veya kesişimler üzerinden geçerken ölçüm tekerleklerini yatay basınca bağlı raydan çıkmaya karşı korur (Şekil 3.13). Bir ölçüm tekerleğinin raya tırmanması durumunda, bir güvenlik mekanizması otomatik olarak ölçüm esnasında ölçüm aksını kaldırır. Doğrusal dönüştürücüler, her bir teleskobik ölçüm dingilinin yarısının birbirlerine ve araç şasisine doğru olan hareketlerini ölçmede bir sinyal ileticisi olarak kullanılırlar (Esveld, 2001). Temaslı ölçüm sisteminin dezavantajları şu şekilde sıralanabilir (Mer Mec, 2004):

- Ölçüm yapan tekerleğin aşınmasından ve titreşimlerden dolayı ölçüm hassasiyeti düşüktür.
- Temas halindeki parçaların aşınmasından dolayı ölçüm sistemleri sürekli olarak ayar gerektirirler.
- Düşük hızlı ölçüm yaparlar, makaslarda ölçüm yaparken ölçüm algılayıcılarının yukarı kaldırılması gerekir.
- Hat geometrisi verisi ile ray profili verisi arasında yer olarak iyi uyum sağlamazlar.
- Ölçümler yüklenmemiş koşullarda yapılır.



Şekil 3.13 Teleskobik ölçüm akslarının ilkesi

Değer ölçüleceği zaman cirokoplara makinenin şasisine veya doğrudan dingillere veya boji çerçevesine yerleştirilir. Şayet makine şasisine yerleştirilirse, tekerlekler ve şasi arasındaki bağıl hareket ölçülmeli ve ayarlanmalıdır. 30 – 40 km/sa'lık düşük ölçüm hızlarında düşey metreler kullanılabilir (Esveld, 2001).

3.6.3 Ataletsel ölçüm yöntemi

Ataletsel sistemler karada, denizde, havada ve uzayda hareket eden bir nesnenin dinamik özelliklerini ve izlediği yörüngeyi belirlemek için kullanılırlar. Aynı zamanda denizcilikte, bir nesnenin dengesinin sağlanmasında ve kontrollünde de kullanılırlar. Çevirme, dönme hareketleri ve hızlar ivme ölçerler ve cirooskoplarla belirlenir. Dünyanın dönme vektörü ve yerçekimi ivmesini karşılayan düzlem (strapdown) teknolojisinde sinyal işleme algoritmaları esaslı kalman filtreleme kullanılarak, konum, yönlendirme, hız, ivme gibi kinematik özellikler üç boyutta ve gerçek zamanda saptanabilir (Şekil 3.14). Ataletsel ölçüm (inertial measurement), ivme ölçümlerinin ikili entegrasyonu veya analitik (strapdown) bir ölçüm platformuyla belirlenen bir ölçüm algılayıcısının konumunun belirlenmesine dayanan geleneksel bir ölçüm tekniğidir. Ataletsel ölçümün avantajları şu şekilde sıralanabilir (Esvel, 2001):

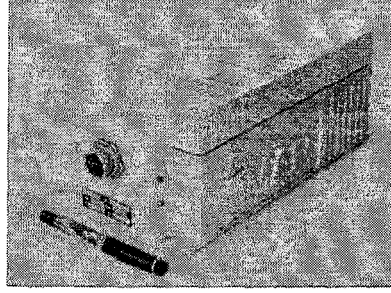
- Hat geometrisi ve kusurlarını hemen hemen saptırmadan gösterebilirler.
- Büyük önem taşıyan (özellikle yüksek hızlı hatlarda) 100 m'den büyük uzun dalga kusurlarını gösterebilirler.
- Hat kusurlarının hesaplanması için veriler doğrudan kullanılabilir ve hat bakım makinelerine bu veriler aktarılabilir.

Ataletsel ölçüm sistemlerinin dezavantajları şu şekilde sıralanabilir (Mer Mec, 2004):

- Ataletsel ölçüm sistemleri düşük hızlarda hassas bir ölçüm yapamazlar (genellikle hız 10 km/sa den düşükse).
- Ölçüm aracının olası durmalarında ölçüm yapılamaz.
- Doğrudan bojiye bağlanmaları ve bunun sonucu olarak ağır tahrikler/titreşimler ölçüm algılayıcılarının ömrünü azaltır.
- Hat geometri verisi ile ray profili verisi arasında yer olarak iyi uyum sağlanamaz.

Ataletsel ölçümün ilkesi, ivme ölçüm ve analitik ataletsel platform denen iki yöntemle dayanmaktadır. İvme ölçüm yönteminin tersine, analitik ataletsel ölçüm platformu çok düşük hızlarda daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu sistemin ölçüm dönüştürücüleri doğrudan boji içine yerleştirilebilirler. Bu sistem üç boyutlu lazer

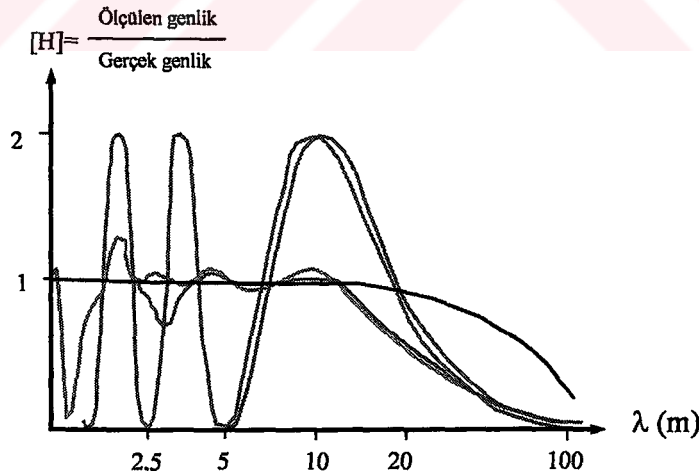
ciroskobundan ve üç boyutlu uzayda boji akslarının konumsal pozisyonunu doğrudan kaydedilmesine imkan veren ivme ölçüm sisteminden oluşmaktadır (iMAR, 2004).



Şekil 3.14 Ataletsel ölçüm cihazı

3.6.4 Kiriş ölçüm yöntemi

Demiryolu hattının düşeyde ve yatayda referans düzleminin oluşturulmasındaki diğer yöntem, ölçümün üç noktalı kiriş ölçümüyle (chord measurement) yapılmasıdır. Bu durumda aracın gövdesi referans kirişi olarak kullanılır. Bu üç ölçüm noktası, optik ölçüm sistemleri veya teleskobik ölçüm aksları ile oluşturulabilir. Kiriş ölçümleri göreceli ölçümlerdir ve bir transfer fonksiyonları vardır. Ölçüm sistemlerinin transfer fonksiyonlarını dikkate alarak, araç üstündeki bilgisayarda yapılan analizlerle, 100 metre ve daha fazla dalga boylarını gösteren kayıt sonuçları elde edilebilir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Farklı ölçüm araçlarına ait transfer fonksiyonları

Demiryolu kontrol araçlarının ölçüm bant genişlikleri genellikle bir kaç metreden 20 veya 30 metreye kadar sınırlıdır. Hattan elde edilen bilgi transfer fonksiyonlarıyla

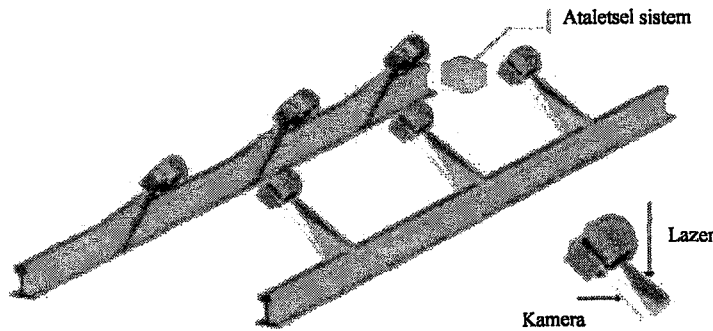
gösterilir. Şekil 3.15'te Avrupa'da kullanılan kontrol sistemlerinin transfer fonksiyonlarına ait örnekler görülmektedir. Bu fonksiyonlar ölçülen ve gerçek genliğin oranını göstermektedir. Mekanik bir iletim esasına dayalı kontrol sistemleriyle elde edilen ölçümlerin sonuçlarında önemli sapmalar görülür. Temassız bir kontrol sistemi olan ataletsel sistemlerde böyle sorunlar görülmez (Mer Mec, 2004; Esveld, 2001).

3.6.5 Demiryolu geometrisinin kontrolü

Demiryolu hat geometrisi, kontrol araçlarına takılan ölçüm sistemleriyle kontrol edilebilirler. Bu sistemler temaslı ya da temassız esasta olabilirler. Ölçüm tekniği de ataletsel ya da kiriş ölçüm yöntemi olabilir. Kontrol araçlarına yerleştirilen GPS (Küresel konum belirleme sistemleri) ile ölçülen değerlerin konumları belirlenerek bakım yenileme kesimleri çok kolay bir şekilde belirlenebilir. Hat geometrisi ölçüm sistemi aracın ön kısmında akslar arasına yerleştirilir ve aşağıda sıralanan parametreleri ölçebilir:

- Hat genişliği,
- Nivelman,
- Eksenden sapma,
- Dever,
- Burulma.

Bu hat parametreleri 25 cm aralıklarla ölçülebilir ve kontrol aracı üzerindeki bilgisayara kaydedilir. Ölçülen tüm parametrelerin grafik kağıda çıktısı alınabilir ve diğer bilgisayarlara aktarılabilir. Şekil 3.16'da temassız bir kontrol sistemi görülmektedir.

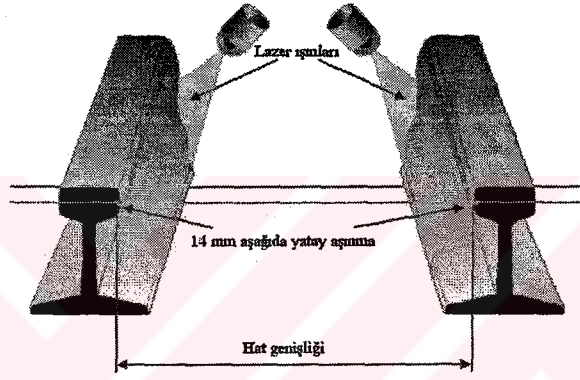


Şekil 3.16 Demiryolu geometrisinin ölçülmesi

Temassız bir kontrol sisteminde hat geometrisi lazerlerle tespit edilerek kaydedilir. Bu sistemde kiriş ölçüm sistemiyle birlikte aynı zamanda ataletsel ölçüm sistemi de kullanılabilir (Mer Mec, 2004).

3.6.6 Ray profil kontrolü

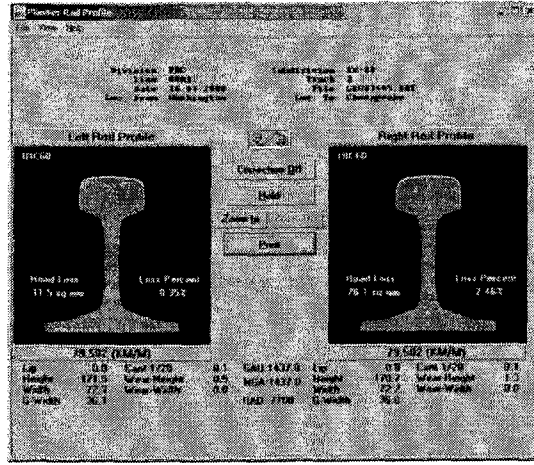
Ray profilleri ışık kümeleri yöntemiyle ölçülür. Ray enkesitine çarpan ışıklar ray enkesitinin şeklini oluştururlar. Bu ışıklar kaydedilir ve bir kamera sistemiyle analiz edilirler. Şekil 3.17’de bir ray profili ölçüm sistemi görülmektedir. Bir lazer ölçüm sistemi operatörün belirlediği düzenli aralıklarla rayı tarar. Analog-dijital dönüşümden sonra, ölçülen değerler bilgisayar sistemine aktarılırlar. Bilgisayar ray profili ölçümlerini kilometre verisiyle ilişkilendirerek kaydeder.



Şekil 3.17 Ray profilinin kontrolü

Şekil 3.17’de görüldüğü gibi ray profili yüksek hızlı dijital kameralar ve lazer alıcılar kullanarak lazer optikli temassız esasla ölçülmektedir. Bu ölçüm sistemiyle ray üst yüzeyinden 14 mm aşağıda yatay aşınma ölçülebilmektedir. Ölçüm hızı 0-250 km/sa olup her 0.5 m’de bir yatay, düşey ve 45° ray aşınmaları ± 1 mm hassasiyette tespit edilebilir.

Raylardan ölçülen değerler bilgisayar tarafından sağlanan hedef profil ölçüleriyle karşılaştırılabilir. Ray tipi otomatik olarak sistem tarafından belirlenir. Hedef profilden sapmalar yani belirlenen toleransların dışındaki yerler işaretlenir. Mesafe ölçüm verisinin desteğiyle kusurların yeri tam olarak saptanabilir (Şekil 3.18) (Mer Mec, 2004).

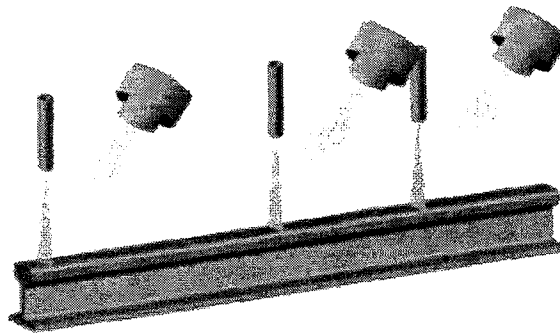


Şekil 3.18 Ray enkesitinin ölçüm anındaki diyagramı

3.6.7 Ray yüzeyi kontrolü

Ray taşıma çalışmalarının planlamasının yapılabilmesi için ray yüzeyinde oluşan ondülasyonların derecesi hakkında verilere ihtiyaç duyulur. Bu sebeple ondülasyon ölçen araçlardan yararlanılır. Demiryolu kontrol araçlarına takılan dingil kutusu ivme ölçer aletlerle ondülasyon kusurları tespit edilebilir. Bazı durumlarda demiryolu kontrol araçları hassas ondülasyon ölçen aletlerle de donatılabilir.

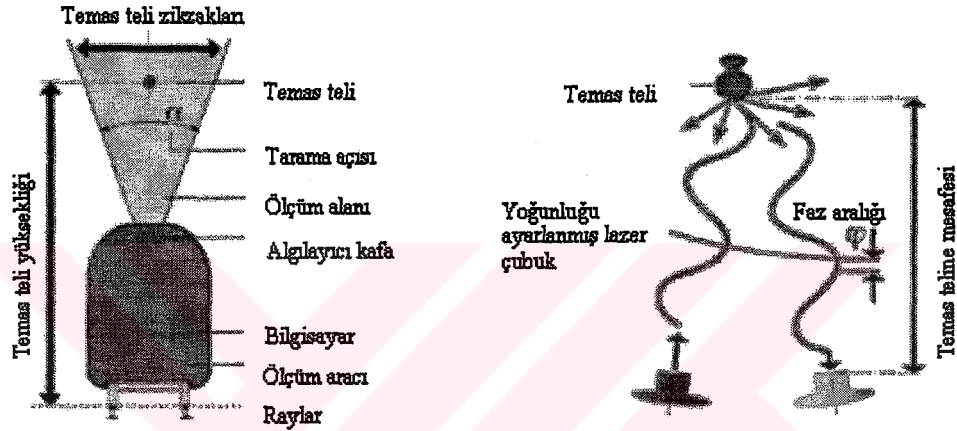
Şekil 3.19’da görüldüğü gibi raylar üzerindeki ondülasyonlar giriş ölçüm yöntemi esasında, hızı yüksek dijital kameralar ve lazer alıcılar kullanarak, lazer optikli temassız sistemlerle ölçülmektedir. Ölçüm hızı 0-250 km/sa olup her 5 mm’de bir; kısa dalga ondülasyonlar ± 20 mm, orta dalga ondülasyonlar ± 50 mm, uzun dalga ondülasyonlar ± 200 mm hassasiyetlerinde tespit edilebilir (Mer Mec, 2004).



Şekil 3.19 Ray yüzeyi üzerindeki ondülasyonların tespiti

3.6.8 Kataner sistem kablolarının kontrolü

Temas kablosunun geometrisinin değerlendirilebilmesi için, temas kablosunun yüksekliği, yatay pozisyonunu ölçülmeli, hat geometrisi ve temas kabloları arasındaki ilişkinin belirlenmesi gereklidir. Bu sebeple demiryolu kontrol aracının üzerine bir kataner ölçüm birimi yerleştirilir. Şekil 3.20’de görüldüğü gibi temassız kataner ölçüm cihazı ünitesi demiryolu kontrol aracının üzerine eklenen hassasiyeti yüksek bir cihazdır. Bu sistem demiryolu kontrol aracına kolaylıkla eklenebilir. Bu sistemle birlikte kabloların dinamik reaksiyon kuvvetlerini ölçmek için bir ölçüm pantografi da kullanılabilir.



Şekil 3.20 Temas teli ölçüm sistemi

Modern demiryolu teknolojisinde kataner sistem ölçüm ünitesine sahip demiryolu kontrol araçlarıyla 0-250 km/sa hız ve 50 mm aralıklarla; kataner sistem kablolarındaki zikzakları ± 5 mm, temas teli yüksekliğini ± 5 mm ve temas teli aşınmasını ± 0.2 mm hassasiyetlerde ölçmek mümkündür. Makas bölgelerinde aynı anda sekiz kataner sistem kablosuna ait yukarıda sıralanan özellikleri ölçülebilir (Plasser & Theurer, 2004).

3.6.9 Demiryolunun video ile kontrolü

Demiryolu kontrol araçlarına eklenen kamera sistemiyle; hat yüzeyi, platformlar, görüş alanları, raylar ve kataner sistem incelenerek demiryolu hattının görüntülü bir veri tabanı oluşturulabilir.

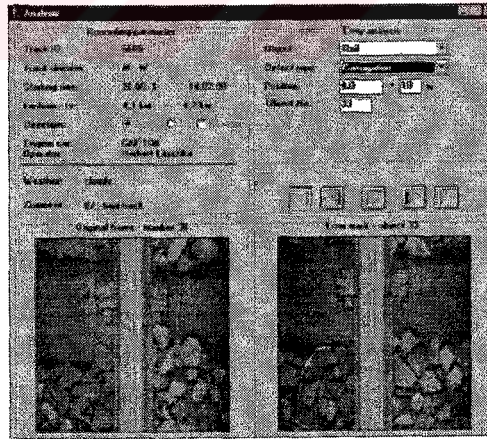
Demiryolu video kontrol sistemleri kontrol sırasında ve/veya daha sonra görsel olarak hattın incelemesine imkan verirler. Kameralar kontrol aracının her bir yönüne

yerleştirilir. Yüksek çözünürlüklü sistemler kusurların otomatik olarak tespit edilmesine imkan vermektedir. Bir demiryolu video kontrol sistemi yüksek maliyetli, zaman alıcı ve kontrolün tehlikeli olduğu durumlarda kullanılabilir. Video kontrol sistemleri aynı zamanda görsel bir veri tabanı oluşturmasına imkan vererek ilgili mühendisin hat verilerini çevre verileriyle ilişkilendirmesine imkan verir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Demiryolunun video kontrolü

Ray çevresini kontrol eden video sistemler, demiryolu kontrol aracına veya herhangi bir demiryolu aracına yerleştirilebilir. Sistem bir dizi kamera içerir ve bu kameralar bojiye veya aracın altına yerleştirilirler. Bu sistem kullanılarak ray ve çevresiyle ilgili video görüntüler elde edilir (Şekil 3.22).

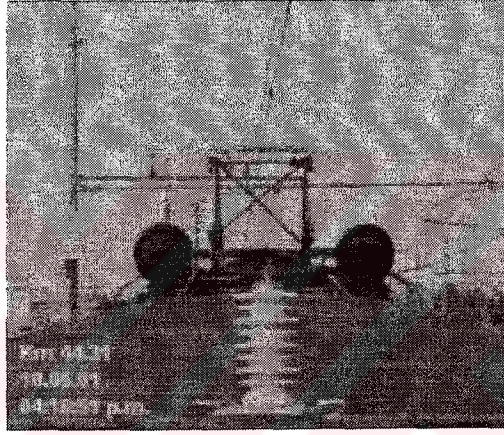


Şekil 3.22 Ray yüzeyinin video ile kontrolü

Bu görüntülerin özel yazılımlarla değerlendirilmesi sonucu aşağıda sıralanan kusurlar tespit edilebilir;

- Ray kusurları,
- Kısa dalga kusurları,
- Harap olmuş kaynaklar,
- Ray üzerinde oluşmuş yuvarlak veya oval balast izleri,
- Eksik bağlantı malzemeleri,
- Kısa dalga ondülasyonlar.

Kataner sistemi kontrol eden video sistemi yol kontrol aracının veya diğer demiryolu araçlarının üzerlerine yerleştirilebilirler. Bu sistemler bir dizi kameralardan oluşmaktadır. Bu kameralar sayesinde kataner sistemle ilgili görüntüler elde edilir. Elde edilen görüntülerle diğer kataner sistem verileri karşılaştırılarak analizler yapılabilir (Şekil 3.23) (Mer Mec, 2004).

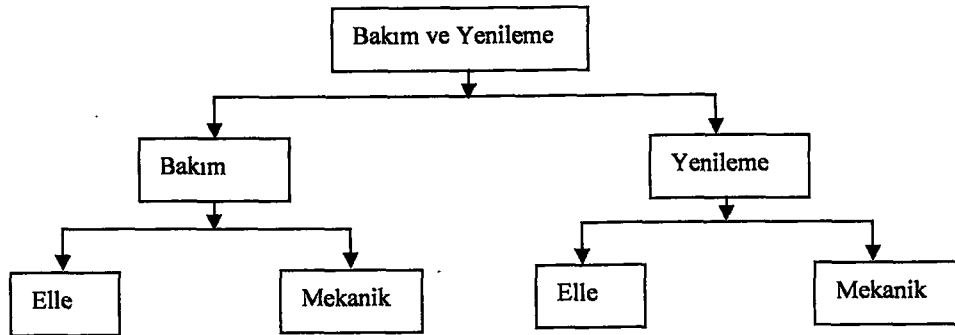


Şekil 3.23 Kataner sistemin video kontrolü

4. DEMİRYOLU HATTINA YAPILAN BAKIM VE YENİLEME ÇALIŞMALARI

Balast tabakası üzerinde bulunan demiryolu hattının; binalar, köprüler, barajlar ve viyadükler gibi diğer inşaat mühendisliği yapılarıyla karşılaştırıldığında aşırı dinamik yüklere maruz kaldığı görülür. Yukarıda sıralanan temelli yapılar kuvvetli olup bunlara etki eden hareketli yükler ise çok küçüktür. Demiryolu üzerinden geçen ağır ve yüksek hızlı araçların etkisi dikkate alındığında demiryolu hattının çok narin bir yapıda olduğu görülür. Bu durum demiryolu hattına yapılacak bakımın ve yenilemenin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Geleneksel demiryolu hattında, hareket halindeki trenlerin sebep olduğu dinamik kuvvetler balast tabakası ve diğer birleşenler arasındaki bir çeşit etkileşimle emilir. Bileşenler arasındaki bu etkileşim doğal olarak zamanla gittikçe artar. Hareket halindeki ağır yükler balastın bozulmasına, kaybına, hat bileşenlerinin aşınmasına ve parçalanmasına sebep olurlar. Yağmur, sel ve rüzgar gibi doğa olayları, hattın yapısı ve bileşenleri üzerinde olumsuz etkilere sebep olduğundan sürekli bir bakımı gerektirirler (Murthy ve diğ.,1987).

Demiryolu hattına yapılan bakım ve yenileme (BY) çalışmaları, en az maliyetlerde güvenlik ve kalite standartlarını sağlayan tüm bakım ve yenileme faaliyetlerini içerir. Şekil 4.1’de demiryolu hattına yapılan bakım ve yenileme çalışmalarının şematik bir özeti görülmektedir.



Şekil 4.1 Demiryolu hattına yapılan bakım ve yenileme çalışmaları

Bakım ve yenileme çalışmalarının temel ilkesi; ölçüm sistemlerinden elde edilen kontrol verileri, görsel gözlemler ve finansal-ekonomik verilerle birlikte hattın bölgesel koşullarını da dikkate alarak hazırlanacak programlara dayanır (Esveld, 2001; Schramm, 1961).

4.1 Demiryolu Hattına Yapılan Bakım Çalışmaları

Demiryolu hattının bakım öncesi gözle kontrolü çok önemlidir. Görsel denetlemelerde amaç, demiryolu trafiğinin güvenliğini tehlikeye sokabilecek durumların ortaya çıkma olasılığını kontrol etmektir. Görsel denetlemelerin sıklığı, hız limitlerine ve günlük tonaj miktarına bağlı olarak, çok önemli hatlarda haftada birkaç kez, az önemli yollarda ise ayda bir olmak üzere değişmektedir. Bunun dışında hava sıcaklığının artması gibi özel durumlar gerçekleştiğinde ek denetlemeler yapılmalıdır.

Demiryolu hattına BY çalışmalarının yapılması için çok sıkı güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir. Trenlerin durma mesafeleri, otomobil veya tramvayların durma mesafelerinden daha büyüktür. Hat üzerinde beklenmedik bir şekilde insan veya araç görülürse, trenler zamanında duramayabilirler. Benzer olarak, hat üzerinde bir çalışma gereksinimi olduğunda, her zaman trafiği geçici olarak kapatmak mümkün değildir. Bu sebeple, demiryolu hattında ki çalışmalar için çok sıkı güvenlik önlemleri alınır. Öncelikli olarak, hat üzerinde seyreden araçların güvenliği, daha sonra hat bakım ekibinin güvenliği sağlanmalıdır. Genel olarak demiryolu hattına yapılan bakım çalışmaları şu gruplara ayrılır:

- Ray geometrisi,
- Hat geometrisi,
- Sanat yapıları,
- Balast yatağı,
- Değerler,
- Diğer bakım çalışmaları.

Hat geometrisinin bakımı küçük bakımlar ve sistematik bakımlar olmak üzere ikiye ayrılır. Küçük bakımlar bölgesel kusurların tamiriyle ilgilidir. Sistematik bakımlar ise bir programa dayanır ve ağır bakım makineleri ile gerçekleştirilir. İkinci bakım

türü makineli bakım olarak ifade edilmektedir. Makineli bakım aşağıda sıralanan araçlarla gerçekleştirilmektedir:

- Buraj makineleri: Travers altındaki balastın düzeltilmesi.
- Direnç arttırıcılar: Balastın sıkıştırılması.
- Ray taşlama makineleri: Ondülasyonların giderilmesi, kaynakların taşlanması.
- Otomatik tekrarlı teknikle (STRAIT) ray kaynaklarının düzeltilmesi: Kaynakların düzeltilmesi.
- Balast temizleyicileri: Balast tabakasını temizlemek.

Ölçüm sonuçlarına veya gözlemlere bakarak yani ihtiyaca göre ne tür bakım yapılacağı belirlenmeli ve etkin bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Bakım kesimleri genellikle 5 ile 10 km arasında olmaktadır ve bu kesimlerin bakımı mümkün olduğunca bir bütün halinde yapılmalıdır (Wilfert ve diğ., 2001; Hanowa 1999; Esveld, 2001).

4.1.1 Demiryolu hattına elle yapılan bakım çalışmaları

Bölgesel kusurları düzeltmek için yapılan küçük bakımlar, elle kumanda edilen küçük makineler veya aletler kullanılarak yapılır. Sistematik bakımlar ise mümkün olduğunca büyük makinelerle yapılır. Elle yapılan bakımlara karar verilmesinde hattın işletme durumu çok önemli rol oynar. Elle yapılan başlıca önemli bakımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Vibratörlü kompaktörler veya çatal dişli buraj makineleri ile nivelman ve buraj çalışmaları,
- Ölçekli kürekle yapılan çalışmalar (measured packing shovel),
- Hat genişliğinin düzeltilmesi.

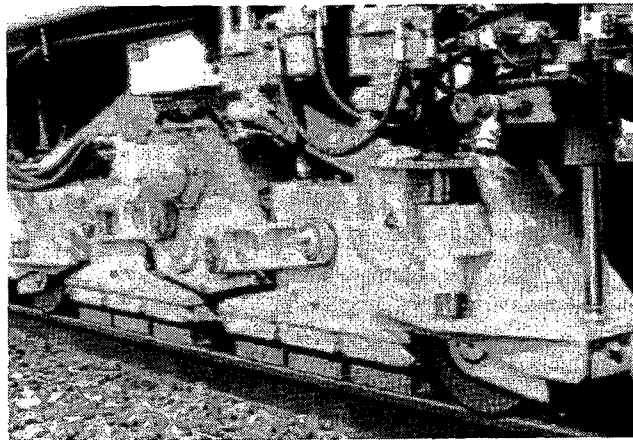
Demiryolunda nivelman hatalarının düzeltilmesi için hat krikolarla kaldırılır ve boşluklar balast malzeme ile doldurulur. Bu çalışmalar küçük tokmaklama makineleri, titreşimli tokmaklama makineleri veya darbeli buraj makineleri ile yapılabilir. Buraj makinelerinin kullanımının mümkün olmadığı veya istenmediği durumlarda, özellikle hemzemin geçitlerde veya diğer kısa kesimlerde sıklıkla bakıma ihtiyaç duyulur ve bu bakımlar elle yapılır. Elle yapılan en önemli bakım çalışması burulmanın düzeltilmesine yöneliktir.

Ölçekli kürekle yapılan çalışmalar ilk olarak Fransa da uygulanmıştır. Bu çalışmanın en büyük avantajı, buraj sonrası traversler altına iyi dağılmamış balastın traversler altına dağıtılmasını sağlamasıdır. İnsan gücüne dayandığı için çok sınırlı bir kullanım alanı vardır. Bunun yanında küçük taşları balast takasının içine tam olarak yerleştirmek bu yöntemle mümkün olmaz. Balast tabakası içindeki boşlukları doldurmak için kullanılan seçeneklerden birisi, iyi şekilde derecelendirilmiş balastın traversler altına balast püskürtücülerle serilmesidir (Esveld, 1997; Esveld, 2001).

4.1.2 Ray taşlama trenleri

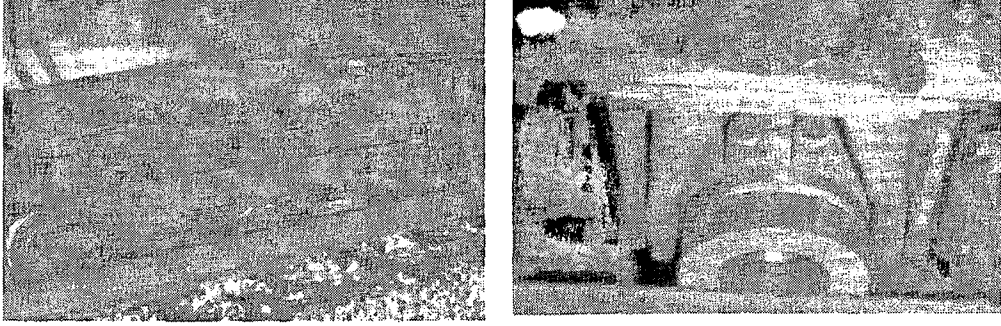
Ray geometrisindeki bozuklar çok büyük dinamik yüklere sebep olurlar. Rayların üretilmesi sırasında meydana gelen ray kusurları yuvarlanma kusurları olarak adlandırılır. İşletme sürecinde meydana gelen ray kusurları ise ondülasyonlar şeklinde kendini gösterir. Bu tür kusurların giderilmesindeki en önemli bakım tekniği rayların taşlanmasıdır. Yuvarlanma kusurları şeklindeki uzun dalga kusurlarının giderilmesi çok zordur. Çünkü raylardan çok büyük miktarlarda malzemenin temizlenmesi gerekmektedir. Avrupa’da her ray yenilemesinden sonra taşlama işlemi gerçekleştirilir. Bu koruyucu bakım sayesinde ray üzerindeki ondülasyonların büyümesi durdurulur veya yavaşlatılır.

Rayların taşlanmasında titreşen taşlı sistem ve dönen taşlı sistem olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Şekil 4.2’de titreşen taşlı sistem görülmektedir. Bu sistemde taşlar ray başına oturarak, boyuna doğrultuda titreşim hareketiyle rayı aşındırır ve düzgün bir yüzey oluştururlar.



Şekil 4.2 Ray taşlamasında kullanılan titreşen taşlı sistem

Ray taşlamasında kullanılan diğer yöntem dönen taşlı sistemdir. Bu taşlama tekniği oldukça etkindir. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi taşlar bir ünite üzerine yerleştirilmiştir. Ray başındaki belli bölgelere taşlama imkanı sağlayacak şekilde taşlar bir düzenek üzerine oturtulmuştur. Bu düzenekle özellikle yassılaştırmış veya akma yapmış ray mantarına etkin bir şekil verilir.



Şekil 4.3 Döner taşlı sistemde taşlama ünitesi

Taşlar ray mantarı ile bir poligon formu oluşturacak şekilde bir açı yaparlar. Bu şekilde ray mantarı yeniden şekillendirilir ve plastik deformasyonların ve ondülasyonların önlenmesinde avantajlar sağlanır. Şekil 4.4'te taşlanmış bir rayın şekli görülmektedir. Bu taşlanmış bölgeler çok kısa bir süre sonra sürekli formda bir profile dönüşecektir.

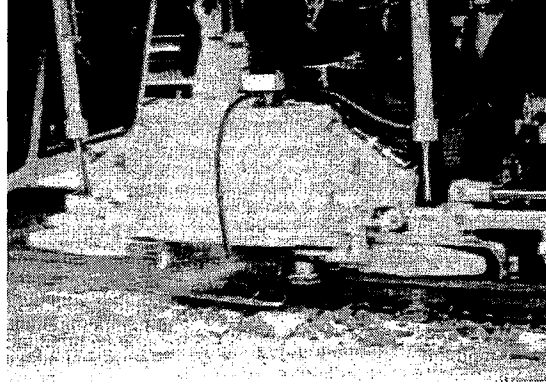


Şekil 4.4 Taşlama yapılmış ray yüzeyi

Ağır demiryollarında kullanılan diğer yöntem asimetrik taşlama tekniğidir. Bu yöntemde ray/tekerlek temas noktası dış rayın içine doğru ve iç rayın dışına doğru ötelenir. Bu sayede tekerlek setinin seyri daha iyi olur, flanş önlenir ya da azaltılır. Böylece kenar aşınma, ciddi ondülasyonlar ve soyulma problemleri azaltılır (Sawley, 2001; Girardi ve diğ., 2001; Lau ve diğ., 2000; Report D148, No. 5, 1987; Esveld, 2001).

4.1.3 Ray mantarının yeniden şekillendirilmesi

Ray çok ciddi profil problemlerine sahipse, ray mantarını yeniden şekillendiren makinelerle bu problemler giderilebilir. Bu yöntemin zararı, ray mantarından büyük miktarlarda parçalar alınabilmesidir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Ray mantarını yeniden şekillendiren makine

Ray mantarını yeniden şekillendiren makine bir kaç geçişten sonra rayı istenen şekle getirir (Şekil 4.6) (Sawley, 2001; Girardi ve diğ., 2001; Lau ve diğ., 2000; Report D148, No. 5, 1987; Esveld, 2001).



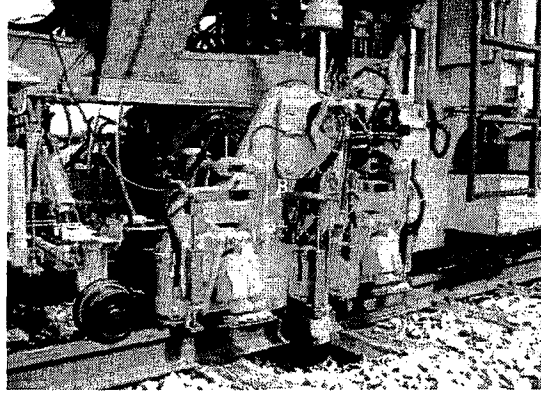
Şekil 4.6 Bir kaç geçiş işlemiyle ray profilinin istenen şekle getirilmesi

4.1.4 Kaynak geometrisinin düzeltilmesi

Rayların kaynaklanması sırasında ısıya maruz kalan bölgede görülen yapısal değişiklikler malzeme karakteristiğini değiştirir ve sonuç olarak kuvvet ve yerdeğiştirme arasındaki ilişkiyi etkiler. Kuvvet ve yerdeğiştirme arasındaki bu ilişki doğrusal değildir. Bu sebeple ray profilinden ve malzeme karakteristiklerinden tamamen bağımsız ve tekrarlı düzeltme ilkesine dayalı “Otomatik tekrarlı teknikle ray kaynaklarının düzeltilmesi” denen bir yöntem geliştirilmiştir.

Şekil 4.7’de hareketli bir sistemde tekrarlı tekniğin ilkesi görülmektedir. Hat üzerinde hareket eden bu sistemde, kaynakların düzeltilmesi işlemi 1.2 m

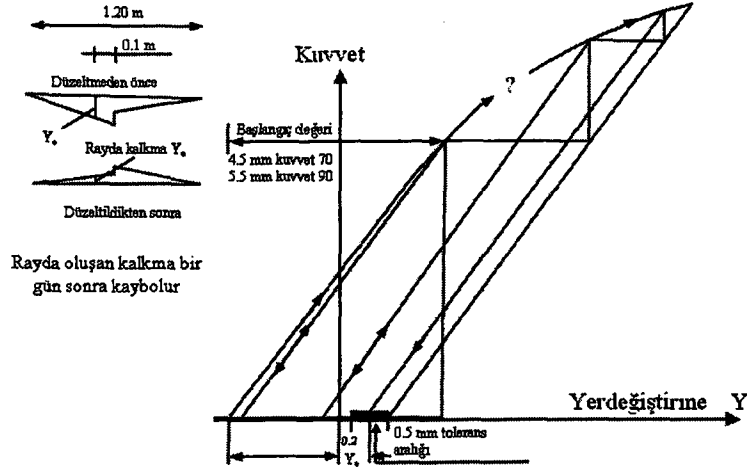
uzunluğunda bir çerçeve üzerinde bulunan, 0.2 m aralıklı iki adet hareket edebilen elektrikli donanımlar ile gerçekleştirilir. Bu iki donanım arasındaki fark daha sonra yapılacak taşlama işlemi için gerekli bilgiyi sağlar.



Şekil 4.7 Ray kaynaklarını düzelten makine

Donanımlar en yüksek yerdeğiştirmeyi başlangıçta gösterirler ve bunlar yükleme tekrarının sayısında kullanılırlar. İlk tekrarda kaynak hemen hemen akma sınırına kadar yüklenir. Başlangıçta 4.5 mm yerdeğiştirme sağlamak için 700 N/mm^2 bir kuvvet uygulanır. Daha yüksek bir gerilme değeri için başlangıç değeri 5.5 mm alınabilir.

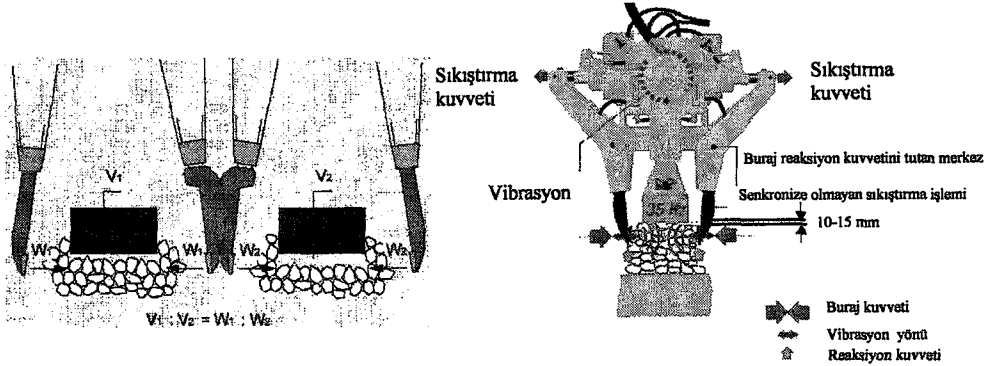
Başlangıç değerine ulaşıldığı zaman, yük sıfırlanır. Yüklenmemiş durumda bulunan sistem, tolerans aralığının (0.5 mm) üst limitine göre yerdeğiştirmenin farkını ölçer. Bu ilk düzeltme işleminden sonra rayda bir kalkma görülebilir. Yerdeğiştirmede ki bu fark başlangıç değere eklenerek, ikinci tekrar için yeni bir başlangıç değerinin ne olacağı belirlenir. Daha sonra istenen yerdeğiştirme sağlanıncaya kadar yük yeniden artırılır ve akma ile sonuçlanır. Yük ortadan kalktıktan sonra; eski başlangıç değeri, üst sınıra bağlı yerdeğiştirmede ki farklılıkla yeniden artar ve üçüncü tekrar başlar. Bu süreç yüklenmemiş durumdaki kaynağın yerdeğiştirmesinin tolerans aralığının en düşük sınırını aşıncaya kadar devam eder. Kural olarak işlem 3 ile 4 tekrardan sonra hedef değere ulaşır (Şekil 4.8) (Sawley, 2001; Girardi ve diğ., 2001; Lau ve diğ., 2000; Report D148, No. 5, 1987; Esveld, 2001).



Şekil 4.8 Otomatik tekrarlı teknikle ray kaynaklarının düzeltilmesi

4.1.5 Buraj makineleri

Demiryolu hattında sürekliliği sağlamak için kullanılan buraj makineleri, nivelman, dever gibi bozulmaları düzeltir. Buraj makinesi, ölçüm sistemi ile yatay da ve düşeyde, hattı konumuna getirdikten sonra, traversler altındaki balast sıkıştırmaya başlar. Şekil 4.9 (a)'da iki traversin eş zamanlı burajlandığı ikili bir buraj makinesi görülmektedir. Şekil 4.9 (b)'de ise bir buraj makinesinin buraj ünitesi görülmektedir. Buraj makinesinin en önemli özelliği, burajın kalitesi ve verimliliğidir. Buraj işleminde çatallar arasında karşılıklı gerçekleşen vibrasyon senkronize değildir. Senkronize olmamasının anlamı, buraj çatallının aynı kuvvetle hareket etmesidir yani yörüngesinden bağımsızdır. Böylece düzenli bir oturma sağlar. Her bir traversin altındaki balast, yatağı eşit oranda oturma yapar. Sıkıştırma basıncı, balast yatağının mevcut konumunu koruyacak şekilde uygulanabilir. Makas ve geçiş noktalarının bakımı için de özel buraj makineleri kullanılmaktadır.

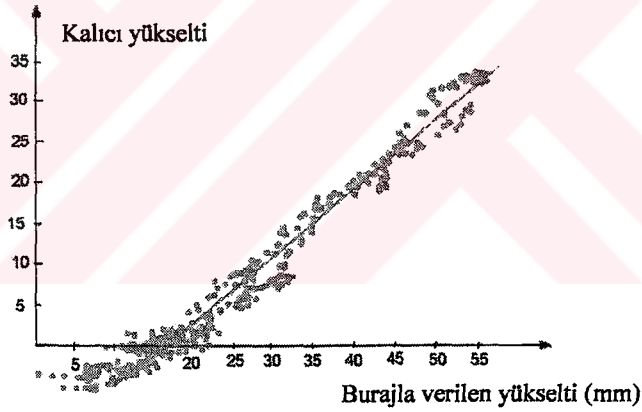


Şekil 4.9 a) İkili ve senkronize olmayan buraj prensibi b) Buraj ünitesi

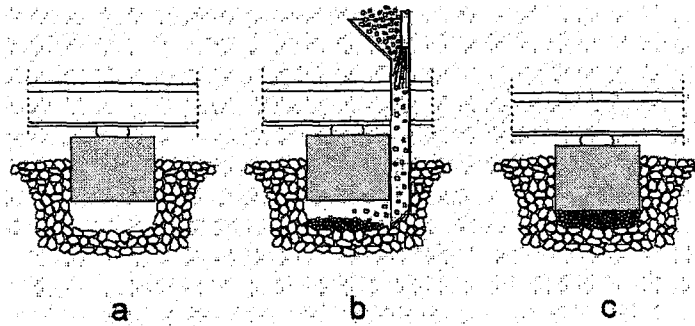
Buraj makinelerinin üzerinde hattı düşeyde ve yatayda eksenine getiren bir düzenek vardır. Bu düzeneklerle hat düşeyde ve yatayda eksenine getirilir ve buraj işlemi gerçekleştirilir (Markine ve Esveld, 2000; Esveld, 2001).

4.1.6 Balast püskürtücüler

Her bir buraj çalışmasından sonra balastın bozulma sürecinde bir şekil hafızasına sahip olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple balast püskürtme yöntemi geliştirilmiştir. Çeşitli demiryollarında bakım öncesi ve sonrası yapılan kaldırma/oturma ölçümlerinin sonuçları Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Bu değerlerden açıkça görüldüğü gibi kaldırma işleminin durabilitesi, 20-25 mm dolaylarında iyi olmaktadır. Bu sebeple sıkışmış ve denge durumuna gelmiş balastı bozmadan, mevcut balast yatağının yüzeyine balast püskürtücülerle taş ilavesi yapılır. Bu işlem Şekil 4.11'de gösterilmektedir. Balast püskürtme çalışmasında traversler bir boşluk yapacak şekilde kaldırılır. Balast püskürtme tüpü travers boyunca daldırılır ve derecesi belirlenmiş taşlar boşluk içine püskürtülür. Daha sonra tüp geri çekilir ve traversler eklenen balast üzerine oturtulur.



Şekil 4.10 Buraj işleminin ardından balastta oluşan kaldırma/oturma grafiği



Şekil 4.11 Balast püskürtme işleminin aşamaları

Yapılan çalışmalara göre balast püskürtme işleminin durabilitesi ile buraj karşılaştırıldığında, balast püskürtme işleminin burajın yerini tutması düşünülemez. Bu çalışma buraja sadece bir katkıdır. Bir hat tam olarak oturduğu zaman, nivelman düzeltme işleminin son adımı taş püskürtme ile gerçekleştirilir. Bu işlem kaynak düzeltmede son adım olan taşlamaya benzer (Esveld, 2001).

4.1.7 Balast enkesitinin düzenlenmesi

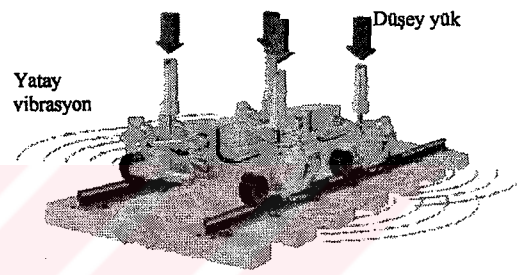
Demiryolu hattında meydana gelebilecek burkulma olaylarının önlenmesi açısından balast enkesitinin düzenlenmesi çok önemlidir. Bunun yanında balastın hat boyunca düzensiz olarak dağılması ekonomik açıdan da sakıncalı olmaktadır. Bu sebeple hat bakım çalışmalarında ve özellikle balastın yeni serilmesi durumlarında balastın istenen enkesitinin sağlanması gerekmektedir. Bu işlem düzenli bir şekilde yapılmazsa büyük miktarlarda balast şebeke boyunca düzensiz dağılacaktır. Balast düzenleyicisi balast enkesitini düzenler ve her buraj işleminden sonra kullanılabilir. Balast düzenleyicisi hat üzerinde bir kaç geçişle balast enkesitini istenen şekle getirir (Şekil 4.12) (Esveld, 2001).



Şekil 4.12 Balast enkesitini düzenleyen makine

4.1.8 Balast direncini artıran makineler

Balast enkesitinin düzenlenmesinden sonra demiryolu hattının direncinin artırılması işlemine geçilir. Hattın direnç artırımında dinamik direnç artırıcı makineler kullanılır. Dinamik direnç artırmadaki amaç ray ve traverslerden oluşan çerçeve sistemin balast yatağı ile olan bağının kuvvetlendirilmesidir. Dinamik direnç artırma işleminden sonra, daha güvenli bir işletme sağlanır ve özellikle yeni yapılan bir demiryolunda



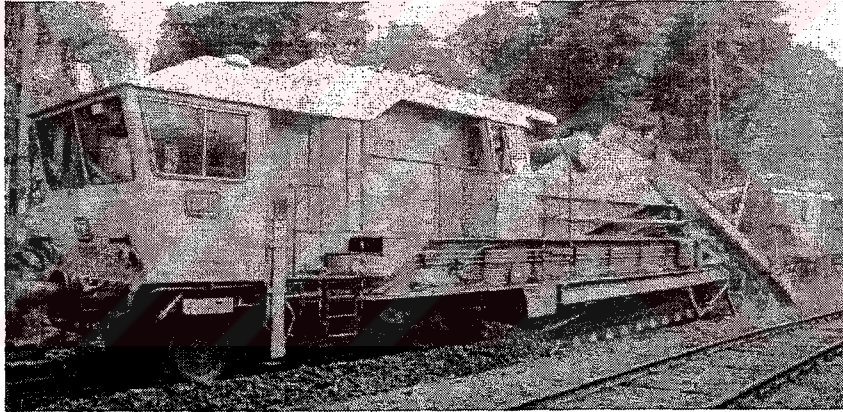
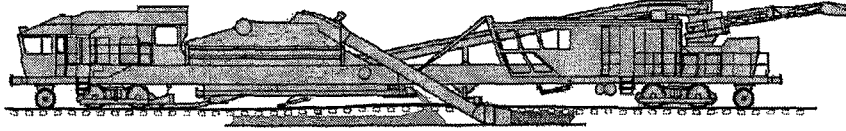
Şekil 4.13 (a) Dinamik direnç artırıcı makine (b) Direnç artırıcı ünite

4.1.9 Balast temizleyicileri

- Tekerlek sisteminden gelen kuvvetleri düzenli bir şekilde alt yapıya iletmek,
- Dinamik dingil yüklerinden kaynaklanan dinamik gerilmeyi azaltmak,

- Bakım döneminde sağlanan hattın düşey konumunu korumak ve devamlılığını sağlamak,
- Yatay dengeyi sağlamak (yataydaki harekete karşılık direnç gösterme).

Zamanla altyapıdan yükselen zemin taneleri sebebiyle ve balastın parçalanması sonucu balast tabakası yukarıda sıralanan özelliklerini kaybeder. Şayet balastın %30'unun veya daha fazla miktarının boyutu 22 mm'den daha küçük olmuşsa ve balast içinde %40 kirlilik varsa balast temizleme işleminin yapılması gerekmektedir. Balast temizleyicileri Şekil 4.14'te görüldüğü gibi traverslerin altında en az 25 cm derinlikte balastı kazmak için kullanılırlar. Bu makine üzerine bir bant ve kazıcı dişler yerleştirilmiştir. Bu bant balastı titreşimli eleklerle taşır ve 35 mm'den küçük boyutlu malzemeler elenir. Elek üzerinde kalan malzeme yeniden hat üzerine serilir.



Şekil 4.14 Balast temizleme makinesi

Temizleme süresince metrede 1.5 ton toz balast uzaklaştırılır. Bu miktar temizleme makinesinin kapasitesine bağlı olarak değişir. Eleme yapıldıktan sonra toz balast konteynır sistemlere taşınır ve daha sonra hattın uzaklaştırılır. Konteynırlar balast temizleyicilerle beraber bir set halindedir (Esveld, 2001).

4.1.10 Altyapıyı düzenleyen makineler

Demiryolu hattının altyapısı ile ilgili problemler çok önemlidir. Yetersiz taşıma gücüne sahip bir altyapı, demiryolu hattının dengesini bozduğundan önemli bir

teknik problemdir. Bu problem demiryolu hattının bakım maliyetlerini arttırarak malzemelerin ekonomik ömürlerini azaltmaktadır.

Demiryollarında seksenli yıllardan itibaren kullanılmaya başlayan ve etkinliği ispatlanmış koruyucu tabaka, altyapıya serilerek altyapının taşıma gücünü arttırmaktadır. Yapılan çalışmalar bu yöntemin, hat bakımıyla ilgili maliyetleri önemli derece azalttığını göstermiştir. Kullanılan koruyucu tabakanın malzemesi özel bir kum-çakıl karışımından oluşmaktadır. Şayet zemin problemleri çok ciddiye koruyucu tabaka en alta serilen jeosentetiklerle güçlendirilebilir. Zemin iyileştirmesi sırasında yapılan kazı çalışmaları ile elde edilen malzemeler hattın iyileştirilmesinde kullanılabilir. Bu malzemenin yeniden kullanılmasıyla ihtiyaç duyulan yeni malzeme miktarı azaltılır, taşıma maliyeti düşürülür ve koruyucu tabaka maliyeti en aza indirilir (Şekil 4.15) (Schilder ve Piereder, 2000; Esveld, 2001).



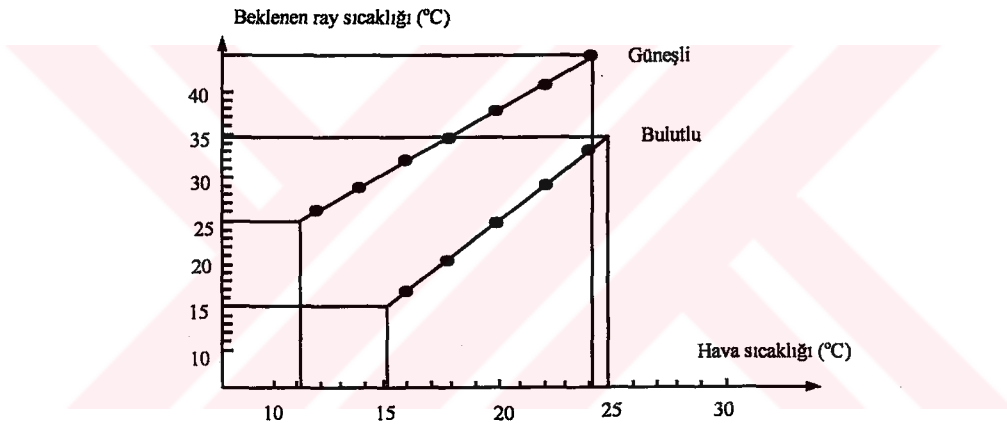
Şekil 4.15 Altyapıyı düzenleyen makine

4.1.11 Yüksek Sıcaklıklar

Uzun kaynaklı raylarda (UKR) sıcaklığın sebep olduğu gerilmelerle uzunluk değişimleri meydana gelmez. Bakım dönemlerinde yüksek sıcaklık ve buna bağlı oluşan gerilmeler çok önemlidir. Balastın yatay direncinin önemli derecede azaldığı bu dönemler bakım çalışmalarını etkilemektedir. Trenler hat üzerinden geçerken

bakım çalışmaları yavaş bir şekilde yapılır. Buraj işleminin arkasından uygulanan direnç artırma işlemi ve balast temizleme çalışmalarının hattı iyileştirmelerine rağmen, ray sıcaklığı yüksek derecede veya yüksek olma ihtimali varsa, güvenlik koşulları bu iyileştirme çalışmalarını olumsuz etkiler.

Özellikle yaz şartlarında ray sıcaklığı hava sıcaklığından çok farklılık gösterir ve tahmin edilmesi çok zordur. Kapsamlı bir ölçüm programında, hava sıcaklığı ve ray sıcaklığı arasındaki ilişki bulutlu ve güneşli hava koşullarında tespit edilmiştir (Şekil 4.16). Şayet UKR’de ray sıcaklığı 35 °C den büyükse, 2.5 m’den fazla bir uzunlukta balastla ilgili bir çalışmaya izin verilmez. Bu koşullarda izin verilmeyen çalışmalar şunlardır; balast yenilemesi, balast temizliği, nivelman-buraj ve travers yenilemesi. Şayet bu işlemler geceleri düşük sıcaklıklarda yapılırsa burajdan sonra dinamik direnç artırma işleminin yapılması ve bir hız limiti uygulaması engelleriyle karşılaşmaz (Esveld, 2001).



Şekil 4.16 Hava sıcaklığı ile ray sıcaklığı arasındaki ilişki

4.2 Demiryolu Hattına Yapılan Yenileme Çalışmaları

Demiryolu hattında yenileme çalışması ile ilgili kararları pek çok faktör etkilediğinden bu konuda kesin kriterler bulunmamaktadır. Bu sebeple bu kararları almadan önce tüm verilerin en iyi şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Yenilemeyle ilgili karar alınırken aşağıda sıralanan faktörlerin göz önünde tutulması gerekmektedir:

- Ray kırılması ve trafik yükü arasındaki ilişkiler,
- Ray aşınması,
- Bağlantı malzemesinin kalitesi,

- Traverslerin kalitesi ve destek yüzeylerinde meydana gelen kırılma ve bozulmalar,
- Kontrol araçlarından elde edilen hat geometrisi ile ilgili veriler ve geometrinin zamanla değişimi,
- Bakım maliyetlerindeki artışlar,
- Hat yenilemesi sırasında çıkan malzemenin faydası ve kullanımı.

Demiryolu hattının yenilenmesiyle ilgili kurallar geliştirilebilir. Kısmi hat yenilemesinde aşınmış parçalar değiştirilir. Bu kaçınılmaz yenileme çalışması yolcu ve yük taşımacılığı olan tüm demiryollarında yapılmak zorundadır.

Bugün Avrupa’da genel eğilim belli bir uzunluktaki hat kesiminin tamamen değiştirilmesine yöneliktir. Hattı oluşturan bileşenlerin en uygun maliyetlerde etkin kullanımını sağlamak için her bir parçanın servis ömürleri birbirlerine oranlanmak zorundadır (örneğin 1:1 veya 1:2). Bölgesel koşullar (altyapı özelliği), balast yatağı ve kurp durumuna bağlı olarak bu oransal ifadeler değişebilir. Yenileme yapılacak kesimlerinin belirlenmesi bu oranlar dikkate alınarak belirlenir. Demiryolu hattında homojenliği sağlamak için bu kesimlerin uzunlukları 5-10 km arasında olması tavsiye edilir. Bu kesimler bakım kesimleri olarak adlandırılırlar. Aynı kesimde aynı zamanda yenileme çalışması yapılması gerekir (Schramm, 1961; Esveld, 2001).

Hattın tamamının veya bir kısmının yenilenmesi ve yenileme tarihi, net şimdiki değer yöntemi kullanılarak servis ömürlerinin hesaplanmasıyla belirlenir. Yapılan hesaplamalarda aşağıda sıralanan maliyetler dikkate alınır:

- Servis ömrü süresince hatta yapılan yatırımlar ve hattın ilk yatırımı,
- İşletme maliyetleri: bakım-yenileme ve ufak tamiratların maliyetleri,
- Hattın işletmeye kapalı olduğu dönemlerdeki kayıpların maliyeti.

4.2.1 Demiryolu hattına elle yapılan yenileme çalışmaları

Elle yapılan yenileme çalışmaları demiryolu hattında yapılan işletmeyi önemli derecede etkilemez. Sadece travers yenilemesi yapılacak kesimlerde demiryollarında %75 oranında bir hız kısıtlamasına gidilir. Bu sebeple demiryollarında elle yapılan yenileme çalışmaları hala tercih edilmektedir. Bunun yanında çakıllı olan balast yatağında elle yapılan çalışmalar daha kolay olmaktadır. Hattın serilme şeklinin

kararı aşamasında travers tipi çok önemlidir. Çünkü betonarme traversler ağırlıkları sebebiyle ancak makinelerle serilebilirler.

UKR kullanılması çalışma koşullarının durumunu etkilemektedir. UKR' ye geçiş aşamasında balast direnci yeterince iyi olmalıdır ve balast yenilendikten sonra herhangi bir müdahale yapılmamalıdır. Tüm bunların yanında demiryolu hattının yatay yönde bozukluğunun olmaması gerekmektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı traversler her zaman raylardan önce değiştirilir (Esveld, 2001).

Traverslerin yenilenmesi: Şayet balast yatağı çakıllı olacaksa, balast parçaları ve kırma taşlar travers yenilemesinden önce boşaltılırlar. Traversler değiştirilmeye başlanırken bu parçalar çakıllarla karıştırılır. Böylece balast yatağı iyileştirilir ve balast direnci artırılır. Yeni traversler ve bağlantı malzemeleri bakım sırasında hat boyunca boşaltılırlar.

Traversler her gün birer birer değiştirilirler. Balast, traverslerin çevresinden uzaklaştırıldıktan sonra traversler hattın kenarına çıkarılır ve yeni traverslerin montajı yapılır.

Rayların yenilenmesi: 180 m uzunluktaki yeni raylar traverslerin yanına boşaltılır. Tüm gün tek bir işlemle yerleştirilecek şekilde raylar belli bir uzunlukta kaynak yapılmaya başlar. Ray uzunlukları sahip olunan hattın uzunluğuna bağlıdır ve 540 m ile 1080 m arasında değişebilir. Ray değişimi sırasında izlenen süreç aşağıda özetlenmiştir:

- Bağlantı malzemeleri çözülür ve eski raylar hat içine taşınır,
- Yeni raylar traverslerin üzerindeki destek noktalarına oturtulur ve termit kaynakları yapılır. Yenilenecek rayların altına her 6 m'de bir makara yerleştirilir. Hidrolik germe aletiyle raylar 25 °C sıcaklıkta ki uzunluğa kadar gerdirilir,
- Raylar istenilen uzunluğa getirildikten sonra makaralar uzaklaştırılır ve raylar traverslere bağlanır,
- Gün boyunca eski raylar 180 m uzunluğunda kesilir ve geceleyin özel trenlerle uzaklaştırılır,
- Geceleyin yine eski traversler ve bağlantı malzemeleri yüklenmeye başlar.
- Balast yatağına yapılacak en son iyileştirme ya makinelerle ya da elle yapılır.

4.2.2 Demiryolu hattında makineli yenileme çalışmaları

Endüstrinin diğer kollarında insan işgücünün yerini makinelerin aldığı dönemlerde demiryollarında hala elle çalışmalar yapıyordu. Çok yoğun demiryolu hatlarında yenileme çalışmaları için hattı işletmeye kapatmak neredeyse mümkün değildi. Bu sebeple demiryollarında ağır iş makinelerinin kullanılması zaman kazancı açısından faydalıdır. Betonarme traverslerin kullanılması, yenileme ve temizleme çalışmalarıyla balast yatağının iyileştirilmesi makineli bakımı gerektirmektedir. Demiryolu hattının yenilenmesini etkilen pek çok faktör vardır. Bunlar; yeteri yatırım, istenilen verim, hattın kapalı kalabilme süresi ve depolama imkanlarıdır. Demiryollarında yenileme çalışmaları özellikle işletmesi yoğun olan kesimlerde çok zordur. Hattın yenilemeye uygun olduğu saatler genelde gece, tatil ve hafta sonlarıdır. Hattın kapatılması sadece teknik ve organizasyonla ilgili bir sorun olmayıp aynı zamanda sosyal bir problemdir. Yapılan çalışmalarda hattın 5.5 saat kapalı kaldığı sürede 480 m, 7 saat kapalı kaldığı sürede ise 700 m yenileme çalışması yapılabildiği tespit edilmiştir (Esveld, 2001).

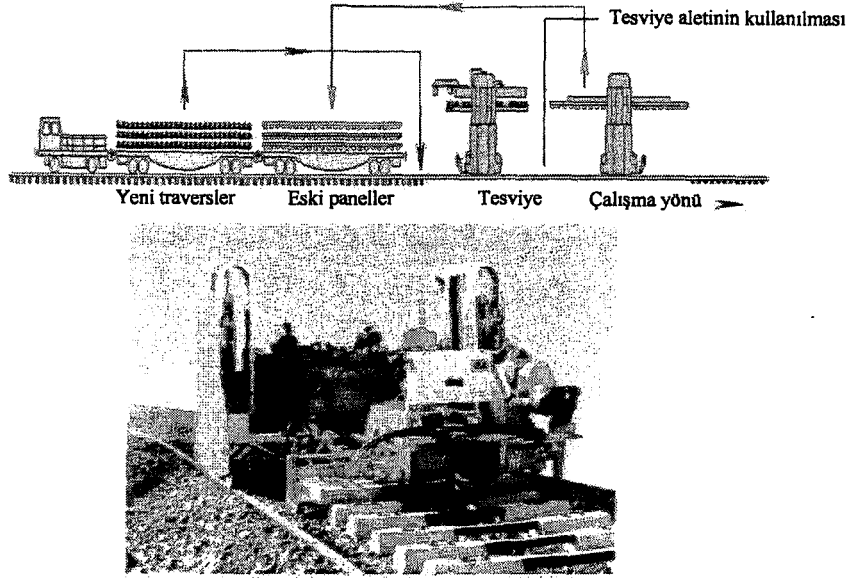
4.2.2.1 Ayaklı köprülü vinçlerle hattın yenilenmesi

Bilinen en eski yenileme yöntemi olup, yeni hat önceden inşaat alanına getirilir. Hattın işletmeye kapalı olduğu sürede, ayaklı köprülü vinçler eski hat kesimlerini kaldırmada ve yenilerinin konulmasında kullanılır. Bu vinçler hattın her bir yanına serilen geçici raylar üzerinde hareket ederler.

Ayaklı köprülü vinçlerle yapılan yenilemeler iki farklı şekilde olmaktadır. İlkinde hazır çerçeve sistemler hatta serilir. İkinci uygulama şeklinde ise önce traversler daha sonra ise raylar serilir (Şekil 4.17).

Hazır çerçeve sistemlerinin serilmesi yönteminde demiryolu hattının işletmeye kapalı olduğu süre daha kısadır. Ancak uzun kaynaklı raylar kullanılacaksa çok fazla sayıda termit kaynak işi gerektirir. Bu yöntemde raylar döşeli olduğundan daha sonra istenilen uzunluktaki raylara dönüştürülür.

Önce traverslerin daha sonra uzun kaynaklı rayların serildiği yöntem daha çok tercih edilmektedir ve sürekli yöntem olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem açıkçası daha iyi ve az maliyetlidir (Esveld, 2001).



Şekil 4.17 Ayaklı köprülÜ vinçler kullanılarak sürekli hat yenileme yönteminin uygulanması

4.2.2.2 Hat kesimleri yöntemiyle hattın yenilenmesi

Bir montaj alanında önce traversler serilir ve ardından 30 m uzunluğunda raylar traversler üzerine yerleştirilerek hat kesimleri yani çerçeve sistemler oluşturulur. Bu hazır hat kesimleri ayaklı köprülÜ vinçlerle her birinin kapasitesi 900 m olan trenlere yüklenir. Bu yöntemin aşamaları şu şekilde sıralanabilir: hazırlama, hat kesimlerinin yenilenmesi, rayların yenilenmesi ve işlerin tamamlanması. Hat kesimleri yöntemiyle yapılan yenileme çalışmalarında karşılaşılan en önemli problem geçici olarak traversler üzerine serilen conta hatlarda görülür. Geçici rayların conta kalitesi oldukça kötüdür. Bu kısımdaki traversler kırılırlar ve en son ray döşeme çalışması sırasında değiştirilmek zorunluluğu ortaya çıkar (Esveld, 2001).

4.2.2.3 Sürekli yöntemle hattın yenilenmesi

Sürekli yöntemde bir montaj alanına ihtiyaç duyulmaz. Ancak mevcut hatlar yeni traverslerin depolanması ve eski hattın sökülmesi için kullanılırlar. Geceleyin hattın işletmeye kapalı olduğu zamanlarda bu yöntemle demiryolu hattı yenilenebilir. Sürekli yöntemle hattın yenilenmesinde izlenen adımlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Eski kesimlerin sökülmesi ve yüklenmesi,
2. Balastın kazılması,
3. Traverslerin yerleştirilmesi,

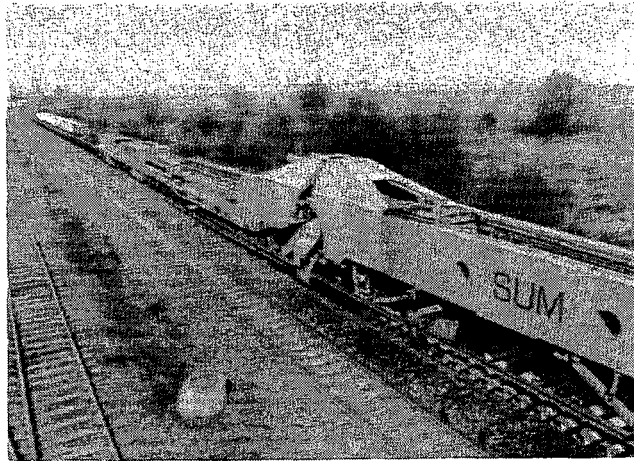
4. Traverslerin ayarlanması ve rayların yerleştirilmesi,
5. Makaraların rayların altına yerleştirilmesi,
6. Ray uzunluğunun belirlemesi için rayların ayarlanması (germe/ısıtma) ve bağlantı malzemeleri ile sabitlenmesi,
7. Balastın boşaltılması, buraj ve direnç artırma çalışmaları.

Hattın yenileme çalışması bittikten sonra kalitesinin en yüksek düzeye çıkarılması gerekir. Bu sebeple ray kaynakları düzeltilir, taşlanır ve tüm hat koruyucu bakım olarak üç geçişle taşlanır. Bu kalite artırma çalışmaları yenileme çalışmasının hemen ardından bir seneyi geçmeden yapılmalıdır. Kaynak geometrisinin düzeltilmesi ve taşlanma işlemlerinden sonra demiryolu hattında bir kez daha buraj çalışması yapılır (Esveld, 2001).

4.2.2.4 Hat yenileme trenleri

Günümüz teknolojisinde demiryolu hattını yenileyen ileri teknoloji ürünleri olan hat yenileme trenleri vardır. Bu trenler hareketli santraller olup eski hattı söküp yerine yenisini koyabilirler. Bu trenler üzerinde hareket ettikleri eski hattı söker aynı zamanda yenisini sererler (Şekil 4.18). Bu trenlerin üç önemli avantajı vardır (Esveld, 2001; Plasser & Theurer, 2004):

- Bu araçlar travers taşıyan vagonları dahil çok yüksek bir çekiş kuvvetine sahiptirler,
- Yeni raylar en az gerilme ile serilirler,
- Çekici kısım her iki yönde de kullanılabilir ve serme işlemini yapan makineler balastın üzerinde hareket edebilir.

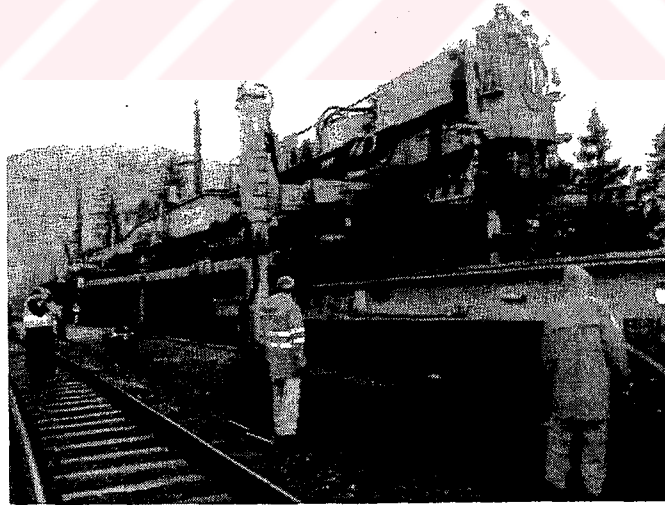


Şekil 4.18 Hat yenileme treni

4.2.3 Makasların yenilenmesi

Makaslar ve kesişimler genellikle bir montaj alanında yapılırlar. Makas traversleri serildikten sonra makas çiftleri yerine konur ve daha sonra diğer parçaların, rayların montajı yapılır. Geometri düzeni belirlendikten sonra önce düz kısımların sonra eğri rayların montajı yapılır. Makaslarda doğru hat açıklığının ve makas açılışlarının montajı çok önemlidir. Makas ve kesişimler, konulacakları bölgenin yakınında geçici bir montaj alanında da yapılabilir. Makas ve kesişimler yüksek teknoloji üniteleri olup yüksek derecede kesinlik gerektirir. Bunların fabrikalarda üretilip serilecekleri bölgelere taşınması daha çok tercih edilen bir yöntemdir.

Makasların yerlerine konulmasında daha çok vinçlerden yararlanılır. Özellikle kısa makaslar için çok hızlı yöntemdir. Makasların serilecekleri yüzeyin kotunda olması çok önemli bir durumdur. Doğruluk ve kesinlik için lazer sistemlerden faydalanılır. Büyük ve ağır makas-kesişimlerin serilmesi için özel makineler geliştirilmiştir. Bu makineler hızlı ve hassas bir şekilde makasları-kesişimleri yerlerine sererler. Uzun kaynaklı raylarda kullanılacak makasların hatla birleşen kesimlerinde gerilme dağılımına önem gösterilmelidir. Makaslar asla ısıtılmamalı veya germe işlemi uygulanmamalıdır. Makasların her iki ucunda en az 100 uzunluğunda uzun kaynaklı ray olmalıdır. Makaslar içinde oluşabilecek istenmeyen gerilme ve yerdeğiştirmelerin önlenmesi gerekir (Şekil 4.19) (Van Ginkel ve Van Veen, 2004; Esveld, 2001).



Şekil 4.19 Makas serme makinesi

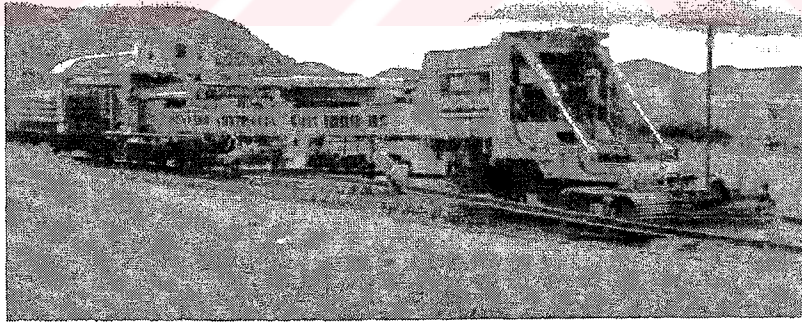
4.2.4 Demiryolu Hattının Döşenmesi

Demiryolu hattının döşenmesi yeni hat döşemesi ve mevcut hattın yenilemesi diye iki şekilde yapılmaktadır.

Yeni hat döşemesinde başlangıçta mevcut bir hat yoktur. Tüm malzemeler inşa halindeki hat üzerinden taşınır. 30 metreden uzun rayların taşınması oldukça zor bir iştir. Bu sebeple raylar hat içinde ya anında ya da daha sonra uzun kaynaklı raylara dönüştürülürler. Günümüzde başlangıçta uzun kaynaklı ray döşeyen yöntemler de geliştirilmiştir.

Mevcut hattın yenilenmesi adından da anlaşılacağı gibi mevcut bir hat olduğunda uygulanır. Malzemeler mevcut eski hat üzerinden taşınır ve hattın sağ tarafına boşaltılır. 200 metre uzunluğunda raylar kullanılması durumunda poz işleminde bir sorun yaşanmaz.

Demiryolu hattının döşenmesiyle ilgili hat inşaat trenleri geliştirilmiştir. Bu trenlerle yeni hat döşemesi veya mevcut hattın yenilenmesi yüksek hızlarda yapılabilmektedir. Makineler UKR rayları döşeyebilecek donanımlara sahiptirler. Traverslerin her biri taşıyıcı sistemlerle yerlerine taşınırlar. Raylar köprü ayaklı vinçlerle ve tekerlekli paletlerle vagonlar üzerine konurlar. Bu makineler saatte 600 m ray yenileme verimine sahiptirler (Şekil 4.20) (Plasser & Theurer, 2004; Esveld, 2001).



Şekil 4.20 Hat döşeme trenleri

5. DEMİRYOLU HATTININ BAKIM VE YENİLENMESİYLE İLGİLİ PLANLAMA SİSTEMLERİ

Demiryolu hattı bozulmasının belirlenmesi ve etkin bakım yenileme (BY) programların hazırlanmasıyla ilgili dünya üzerinde çeşitli üniversiteler, araştırma enstitüleri ve demiryolu organizasyonları tarafından pek çok araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan planlama çalışmaları birbirlerinden farklı niteliklerde olup, bozulma ve BY planlarıyla ilgili stratejik, işletme ve kurumsal özellikleri kapsamaktadır. Bu bölümde dünya üzerinde çeşitli demiryolu organizasyonları ve araştırma kurumları tarafından hazırlanmış planlama sistemleri açıklanmıştır (Report ERRI D 187/RP 1, 1993).

5.1 Sistem Dinamikleri

Alman demiryolları tarafından kullanılan bu sistem, Hannover Üniversitesi, Verkehrswesen enstitüsü, Stuttgart Üniversitesi ve bazı araştırma kurumları tarafından hazırlanmıştır. Sistem dinamikleri modeli esasına dayanmakta ve farklı hatlardaki BY stratejilerinin sebep-sonuç etkileşimlerini kapsamaktadır. Bakım ve yenileme stratejileriyle ilgili bir sistemdir.

Hat bakım ve yenilemesinin etkin stratejik planlaması için, ekonomik ve teknik faktörleri içeren yüksek performanslı stratejik planlama destek sistemlerine ihtiyaç vardır. BY sisteminin karmaşıklığı ve bu gibi karmaşık sistemlerin uzun dönemlerde davranışının belirlenmesinin çok zor olması sebebiyle, bilgisayar ortamında bir strateji gelişimine ve durum değerlendirme araçlarına ihtiyaç vardır. Karmaşık sistemlerin stratejik planlaması için, sisteme karışan tüm birimlerin birbirleriyle olan etkileşimleri hakkında bir fikir sahibi olmak çok önemlidir. Geleneksel modeller olayın sadece bir yönüyle ilgilendiklerinden, karmaşık problemlerdeki sebep-sonuç ilişkisini tam olarak çözemezler.

Sistem dinamikleri yöntemi, araştırma ve teknoloji bakanlığının desteğinde Alman demiryollarında BY yönetimi projesinin bir parçası olarak, karmaşık sistemlerin

analizini ve tahminini yapmak için bir yönetim destek sistemi olarak geliştirilmiştir. Sistem dinamikleri modüller bir tasarıma dayanmaktadır. Bir kısım modüller personel ve makine gereksinimleriyle, pazardaki değişimlerle, bütçe ve gelir-gider değişimleriyle ilgilidir. Bu modüller daha sonra bir araya getirilerek, hattın mevcut BY durumunu gösteren genel model haline getirilirler. Yüzlerce parametrenin değiştirilmesiyle, model farklı stratejiler geliştirerek bunların uzun dönem etkilerini hesaplayabilmektedir. Bu model oldukça kapsamlı bir stratejik gelişim destek modeli olup sadece hat özellikleriyle sınırlı kalmayıp pazardaki değişimleri de kapsamaktadır (Report ERRI D 187/RP 1, 1993).

Bu model aşağıdaki hipotezlere ve durumlara dayanmaktadır:

- Şehirlerarası demiryolu şebekesi için geliştirilmiştir,
- Bakım ve yenileme servisleri ulaştırma pazarını etkiler,
- Hattın kalitesi bileşenlerin durumlarının toplamıyla hesaplanır,
- Kapasitedeki her bir farklılık (donanım) tam olarak ve mümkün olduğunca erken dönemlerde dengelenir,
- Makineler ve personelin tahsisinde öncelikli olan kesim dikkate alınır ve ilgili bakım ve yenileme yapılır,
- Modelin başlangıç değerleri 1987 yılı esaslıdır,
- Simülasyonun başlangıcında kapasite ve mali kaynaklar sınırlandırılmaz,
- Fiyattaki ve verimdeki artışlar dikkate alınmaz.

5.2 Bakım ve Yenileme Planlaması Destek Sistemleri (MINI-MARPHAS ve MARPHAS)

İngiltere demiryolları tarafından kullanılan bu sistem, İngiltere demiryolları yol grubu tarafından hazırlanmıştır. Bu sistemde belirli bir hat kesimi için hat bakım ve yenilemesiyle ilgili tahminler yapılır ve maliyetler hesaplanır. Bunun yanında bakım gereksinimleri ve maliyetler değişen hat ve trafik koşullarında belirlenir.

Hat bozulma mekanizması analitik ve istatistik modellerle hesaplanır. Trafikten kaynaklanan dinamikler hesaplanarak hat geometrisi ve bileşenlerinin (raylar, traversler gibi) bozulması hesaplanır. Elde edilen bilgilerle bakım yenileme gereksinimleri ve maliyetler hesaplanır (Report ERRI D 187/RP 1, 1993). Bu sistemin özellikleri şu şekildedir:

- Belirli bir hat kesiminde mevcut trafikten kaynaklanan bakım ve yenileme maliyetleri belirlenir,
- Hat geometrisini, bakım aralıklarını veya konforu istenilen düzeyde tutmak için farklı trafik yüklerinin bulunduğu hat kesimlerine ait maliyetlerinin bir karşılaştırılması yapılır,
- Farklı bakım miktarlarının etkinliğini belirlemek için bu bakım aralıklarının etkisinin otomatik analizi yapılır. Yolcu gelirleri hesaba katılarak en az sistem maliyetleri hesaplanabilir,
- Hattı kullanan her bir tren işletmecisine hat maliyetleri paylaştırılır,
- Hattı tanımlayan veriler sisteme girilir. Bu veriler şunlardır: Araç sayıları, tipleri ve hızları gibi trafik verileri; inşaat durumu, ortalama yaş gibi hat verileri; yolcu gelirleri, elastikiyet gibi gelir verileri. Bunların yanında araç tipleri, dingil yükleri, dinamik özellikleri gibi araç verileri.

Bakım Ve Yenileme Planlaması Destek Sistemleri (MARPHAS): İngiltere demiryolları tarafından kullanılan bu sistem, İngiltere demiryolları araştırma merkezi tarafından hazırlanmıştır. Bu sistem bakım ve yenileme ihtiyacının olduğu yerin ve miktarının belirlenmesinde ayrıntılı karar verme yöntemlerini içermektedir. Aynı zamanda hat bakım ve yenileme maliyetlerinin ve değişen hat, trafik durumlarının etkisinin tahmininde de kullanılır. Dinamik yükler, geometri bozulması, ray kusurları, ray aşınması gibi hat bozulma mekanizması analitik ve istatistik modellerle belirlenir. Bu modeller kullanılarak bozulmalar ve hattın gelecekteki durumu tahmin edilir. Bu sayede bakım ve yenileme gereksinimleri ve maliyetler hesaplanabilir. Bu analizleri yapmak için demiryolu hattı, veri tabanında bulunan hat ve trafik verisi esasında analiz kesimlerine bölünür (Report ERRI D 187/RP 1, 1993). Bu sistemin özellikleri şu şekildedir:

- Hat kalitesinin gelecekteki davranışı geçmiş veriler kullanılarak belirlenir ve buraj çalışmasının yeri, öncelikli kesimler ve zamanı tespit edilir,
- Hat kesimlerinde ray ömürleri tahmin edilir ve ray yenilemesinde ekonomik öncelikler belirlenir,
- Belirli bir hat kesiminde mevcut trafikten kaynaklanan bakım ve yenileme maliyetleri belirlenir,

- Hat geometrisini, bakım aralıklarını veya konforu istenilen düzeyde tutmak için farklı trafik yüklerinin bulunduğu hat kesimlerinin maliyetlerinin bir karşılaştırılması yapılır,
- Farklı bakım miktarlarının etkinliğini belirlemek için farklı bakım aralıklarının etkisinin otomatik analizi yapılır. Yolcu gelirleri hesaba katılarak en az sistem maliyetleri hesaplanabilir,
- Hattı kullanan her bir tren işletmecisine hat maliyetleri paylaşılır,
- Planlama ve maliyet modüllerinden hesaplanan verilerle birlikte veri tabanındaki tüm veriler mil bazında coğrafik bir formda gösterilebilir. Kullanıcı ihtiyaçlarına göre farklı grafikler sisteme eklenebilir,
- MARPAS sistemi sürekli güncellenen bir veri tabanı ile ilişkilendirilir. Bu veriler şunlardır: Araç sayıları, tipleri ve hızlar gibi trafik verileri; inşaat durumu, ortalama yaş gibi hat verileri; geometri, ray kusurları gibi hat durum verileri; Makaslar, kesişimler ve kurplar gibi sistem altyapısı verileri; buraj, taşıma, ray yenileme, elle yapılan çalışmalar gibi geçmişteki çalışmalar; bakım yenileme miktarları, gelirler gibi maliyetler.

5.3 Hat Bakım Sistemleri (TMS)

Kuzey Burlington demiryolları (ABD) tarafından kullanılan bu sistem, Kanada kökenli Cole Sherman firması tarafından hazırlanmıştır. Bu sistem geçmiş verileri esas alarak hattın mevcut ve gelecekteki durumunu belirler. Hattın istenilen performans düzeyinde kalması için gerekli bakımları ve hattın tamirinde öncelik sırasını belirler. TMS üç alt sistemiyle (geometri, raylar ve traversler) yıllık veya beş yıllık dönemlerde hat bakımı için kaynak tahsisi planlaması yapar.

TMS yazılımı; SMS, RMS ve TiMS denen üç ayrı paket içermektedir. Bu paketler sırasıyla geometrinin, rayların ve traverslerin analizleri için kullanılır. Bu sistemler analizlerini analiz kesimleri için gerçekleştirirler. Daha sonra hat kesimi, alt bölge, bölge ve ağ düzeyinde sonuçlar verirler. Her bir sistem aşağıdaki özellikleri içermektedir:

- Demiryolu kontrol aracından elde edilen veriler, iş programlarının hazırlanmasında, faaliyetlerin ve maliyetlerin belirlenmesinde kullanılır,

- Yük, hız ve dingil yükleri gibi faktörlerden kaynaklanan hat kalitesindeki değişimin tahmin edilmesi için bir bozulma modeli kurulur,
- Hat kalitesi üzerinde bakım programlarının etkisini ve her bir programın maliyet ve ekonomik faydalarını belirleyen bir maliyet-ekonomik değerlendirme modeli oluşturulur.

Model ncelikli bakım yapılacak kesimleri ve en ekonomik bakım tekniğini belirler. TMS sistemi SMS, RMS ve TiMS için maliyet modelleri arasında bir bağlantı oluşturur ve bu üç alt sistemin karşılaştırılması için bakım önceliklerine imkan verir. Sistem üç alt sistem için maliyet bilgisini hesaba katar ve en uygun bakım planını belirler. Yüzey yönetim sistemi, ray yönetim sistemi ve bağlantı malzemesi yönetim sistemi olmak üzere üç alt sistemi vardır. Bu sistemler kullanılarak en iyi bakım planı oluşturulur.

TMS sisteminin analizlerinde kullandığı veriler şunlardır: Geometri, ray aşınması ve ktt haldeki travers sayısı gibi hat durum bilgileri; Makaslar, köprüler gibi fiziksel sistem altyapısı verileri; Yük, dingil yükü ve hız gibi tren verileri; Geçmiş hat bakım alışmaları; Bakım maliyetleri verisi (Report ERRI D 187/RP 1, 1993).

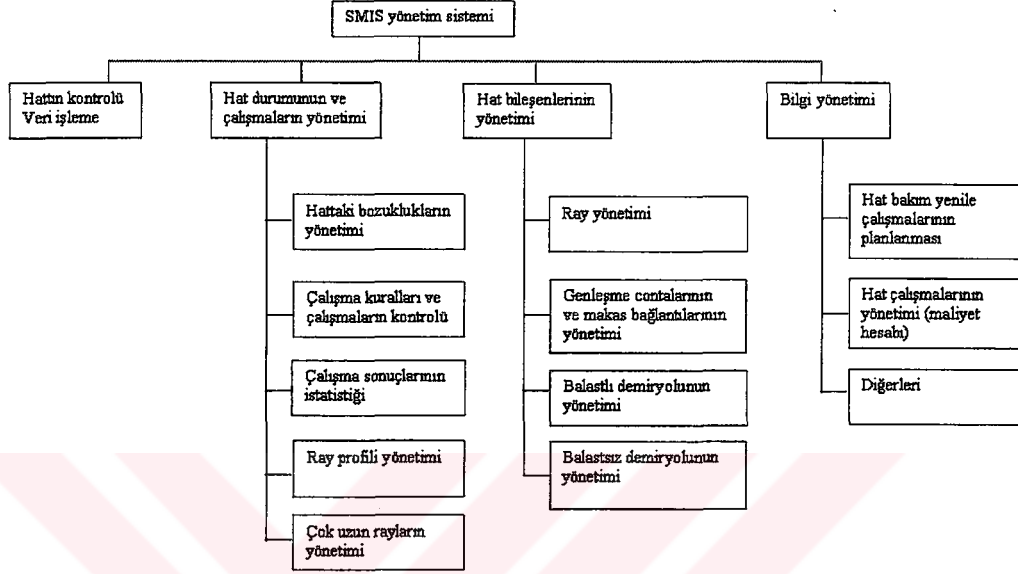
5.4 Shinkansen Yönetim Bilgi Sistemi (SMIS)

Japonya demiryolları tarafından kullanılan bu sistem, Japonya demiryolları tarafından hazırlanmıştır. Bu sistemle sabit yapıların ve katarların kontrolü yapılır, veri işlemesi gerçekleştirilir ve sonunda bakım yenileme organizasyonu gerçekleştirilir.

Doktor Yellow adında özel bir tren Shinkansen demiryolu ağını ve elektrik sistemlerini kontrol etmek için tasarlanmış özel bir trendir. Bu tren yedi vagon içermektedir ve ticari hızda hareket etmektedir. Hattın herhangi bir yerinden her 10 günde bir geçiş yapmaktadır. Hat geometrisiyle ilgili olarak eksenden sapma, dever, hat genişliği ve nivelman gibi kusurları tespit etmektedir. Tüm lmler kaydedilerek değerlendirilmesi için Shinkansen Demiryolları Genel Kontrol Merkezi'ne gönderilir.

SMIS sistemi Doktor Yellow'un belirlediği kusurların ölçülerek işlenmesi esasına dayanmaktadır. SMIS bilgisayar destekli bir sistemdir. COMTRAC (Bilgisayar destekli trafik kontrolü) bilgisayarı ve hat bakım yenileme kesimlerinde bulunan

terminal bilgisayarı bulunmaktadır. Kontrol aracının seyri süresince yapılan ölçümler araç üzerindeki bilgisayara kaydedilir. Herhangi bir kusur tespit edildiği zaman derhal kontrol merkezine bildirilir. Kontrol merkezi ilgili yere bakım yenileme yapmaları için uyarı gönderir. Şekil 5.1’de SMIS yönetim sisteminin fonksiyonları görülmektedir (Report ERRI D 187/RP 1, 1993).



Şekil 5.1 SMIS yönetim sistemini

5.5 Hat Bakım Yönetimi (GEV)

İsviçre demiryolları tarafından kullanılan bu sistem, Ecole Politeknik tarafından hazırlanmıştır. Bu sistemde hat ve geometrik durumla ilgili verinin depolanması, yönetimi ve gösterimi yapılır. Bakım tipinin ve acil olma durumu hat geometrisinin otomatik olarak analiziyle belirlenir. Teknik ve ekonomik durumları değerlendirmek için planlamacılara gerekli verileri sunar ve alınan kararlar kaydedilir.

Etkileşimli ve kullanıcı dostu kolaylıklarının sağlanması için karar verme süreçlerinde uzmanların tecrübeleri ve bilgileri de sisteme katılır. Bu şekilde planlamanın kalitesi ve verimi artırılarak planlamada zaman kayıpları önlenir, hat bakım kaynakları en iyi şekilde dağıtılır.

Her bir hat kesimin geometrik kalitesi ve karakteristikleri, uzmanların bilgileri kullanılarak; yapılan ölçümlerin otomatik olarak formülünü ve yapılacak bakım çalışmalarını belirleyecek bir uzman sistem elde edilir.

Geliştirilen kurallar, hattın durumunu ve gelecekteki davranışını tolerans eşikleri ve en fazla bozulma oranlarıyla birlikte karşılaştırma imkanı verir. Demiryolu hattına yapılan kontroller beş farklı şekilde değerlendirilir; a) Bakım gerekli ve acil, b) Bakım yok, c) Bakım gerekli, d) Bakım gereksiz ve e) Sıralanan durumlara olan ihtiyaçlar planlama toplantılarında değerlendirilir (Report ERRI D 187/RP 1, 1993).

Planlama toplantısına yol bölümünden konuyla ilgili olan sorumlu yöneticiler katılır. GEV yazılımının yapısı şu şekildedir:

- Ağın istasyon isimlerine ve kesimlerinin kilometrelerine kolay ulaşılır,
- Program sonuçlar üretir ve bölgesel kusurların olduğu kesimler gösterilir,
- Sistem çalışma önerileri verir ve her bir durumun aciliyeti gösterilir,
- Planlamacılar hatla ilgili genel bilgilere çok kolay ulaşabilirler ve her kesimle ilgili detaylı bilgiler bulunur,
- Bilgisayar ekranından her bir kesimle ilgili kararlar alabilirler,
- Sistem istenilen hat kesimiyle ilgili yapılacak bakımın maliyetini belirler,
- Kesimin ayrıntılı özellikleri görülebilir (en yüksek hızlar, günlük yük, hat sınıfı, profil, hat bileşenlerin yaşları, altyapının dengesi, geçmiş bakım yenileme çalışmaları ve önceki yıllarda yapılan geometri değişiklikleri),
- Hat kesiminin genel özellikleri (hattın sınıfı, üstyapı bileşenlerinin tipleri ve yaşları, altyapının dengesi, kayıtlı bakım yenileme çalışmaları),
- Önerilen bir bakım çalışmasının yapılması veya yapılmaması durumunda olabilecek durumlara ilişkin senaryolar yapılabilir.

Sistem verisi şunlardan oluşmaktadır;

- Yolların yapısı (istasyon adları, kilometreler),
- Hattın yapısı (rayların tipi ve yaşı, traversler ve bağlantı malzemeleri, balast, altyapının dengesi),
- Kesimlerin özellikleri (profil, yük, hız, iş kayıtları, yenileme tahminleri),
- Beş yılın üzerinde belirlenmiş geometrik durum,
- Her bir yol sınıfı için toleranslar ve karar kuralları,
- İşlerin birim maliyetleri.

5.6 Bakım Kesimlerinin Üstyapı Bilgisi ve Kontrolü (BINCO)

Hollanda demiryolları tarafından kullanılan bu sistem, Hollanda demiryolları Hat ve Yapı Bölümü tarafından hazırlanmıştır. Bu sistemde belirli bir hat kesimine ait tüm ölçümler ve yapı verisi depolanır. Farklı karar düzeyleri için veriler belirlenerek veri azaltılmasına gidilir. Planlamacılara ve karar vericilere bir destek sistemi olarak yardım eder.

Bu sistemin ana amacı kullanıcı dostu bir şekilde planlamacılara gereken veriyi sağlamaktır. Karar vericiler bu sistemle ne az ne de çok veriye sahip olurlar. BINCO sistemi Hollanda demiryolu kontrol aracından elde edilen verileri içermektedir. Demiryolu kontrol araçlarından edilen veriler 0-0.3 m, 0.3-3 m (ondülasyonlar ve kaynaklar), 0.5-25 m ve 0.5-70 m (hat geometrisi) dalga boylarından elde edilen verilerdir. Bunların yanında sistem tüm ray kusurlarını, hattın yapısal bilgisiyle ilgili tüm verileri de içerir. Hattın mevcut ve geçmiş kalite indeksleri de sisteme dahil edilir. Sistem yedi yıllık hat geometrisi verilerini içerir. Bu veriler geometri kalitesinin zaman içinde değişimini gösterir. BINCO on yıllık bir ray kusurları veri tabanına da sahiptir. Veriler her bir kesim için depolanır. Kesim uzunlukları ortalama 5,000 m uzunluğundadır. Genelde kesimlerde makaslar bulunur. Bu gibi kesimlerin analizinde kesim bir bütün olarak değerlendirilir. BINCO sistemi sürekli olarak yapılandırılmaktadır. 5,000 m olan kesim uzunlukları yerine 200 m uzunluğunda analiz kesimleri alınmaya başlanmıştır. 5,000 m uzunluk genelde makineli bakım uzunlukları olarak planlanır. Taşıma ve yenileme çalışmaları için genellikle kısa uzunluklar dikkate alınır. Bu sebeple demiryolu kontrol aracının ölçüm uzunlukları 200 m alınır (Report ERRI D 187/RP 1, 1993; Esveld, 1989).

5.7 Demiryolunun Uzman Sistemlerle Planlaması, Organizasyonu ve Bakımı (REPOMAN)

Kuzey Burlington demiryolları (ABD) tarafından kullanılan bu sistem, Massachusetts Teknolojisi Enstitüsü ve Kuzey Burlington Demiryolları tarafından hazırlanmıştır. Bu sistem mutlak, rasyonel ve tutarlı kriterlerin formülleştirilerek ray değişimiyle ilgili doğru kararların alınmasına imkan verir.

Rayların değiştirilmesinde teknik ve ekonomik kriterler kullanılmaktadır. Yaş, ray tipi, metalürji özellikleri, düşey ve yatay aşınma, taşıma çalışmaları ve yıl içinde bir

mil uzunlukta rayda görülen çatlakların sayısıyla ifade edilen yorulma limiti teknik özelliklerdir. Mevcut koşullarda rayların değerleri, ray yenilemesinin maliyeti, kusurların tamir masrafları, taşlama maliyetleri ve herhangi bir sebepten dolayı hız sınırlamalarının sebep olduğu maliyetler ise ekonomik kriterlerdir. Teknik olarak ray değiştirilmesi gerekmediği durumlarda, yapılan kabullerle raylar ekonomik sebeplerden dolayı değiştirilebilir. Ray değiştirme planları bir veya iki yıllık süreçlerde yapılır. REPOMAN sistemi dört değerlendirme kriterine sahiptir:

- Tamam (rayların durumu kabul edilen düzeylerde iyi koşuldaysa),
- Raylar değiştirilebilir: “Değiştirilebilir”,
- Rayların değiştirilmesi gerekir: “Gerekli”,
- Raylar değiştirilmeli: “Yapılmalı”.

Raylarla, hat geometrisiyle ve tren seferleriyle ilgili olarak yapılacak uygulamalarda; analiz edilen her bir homojen hat kesimi yukarıda sıralanan karakteristik terimlerle ifade edilir. Hattın geometrik nitelikleri şunlardır: Kurp yarıçapı, eğim, hattın sınırı (geleneksel, kaynaklı) ve dever. Katarlarla ilgili nitelikler: Rayların taşımış olduğu yığışımli yük, dingil yükü dağılımları ve tüm tren çeşitlerinin yüzdesi (Report ERRI D 187/RP 1, 1993).

5.8 Genel Bakım Kararları (DONG)

Polonya demiryolları tarafından kullanılan bu sistem, Demiryolu Araştırma Enstitüsü tarafından hazırlanmıştır. Bu sistem aşağıda sıralanan ihtiyaçlarda karar destek sistemi olarak kullanılmaktadır:

- Genel bakımlar ve bunların kapsamı (uzun kaynakların ve rayların değiştirilmesi, balastın değiştirilmesi, sadece rayların değiştirilmesi, traverslerin yer değiştirilmesiyle birlikte balast temizliği),
- Hattın belirli kesimlerinde geçici hız sınırlamaları veya dingil yüklerinin sınırlandırılması,
- Bakım çalışmaları devam ederken herhangi bir hız azaltması veya dingil yüklerinde bir azaltma yapmaksızın hatta işletme yapabilme olasılıkları.

Sistem iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm algoritma kısmıdır. Bu bölümde üstyapının bilinen yöntemlerle mukavemeti belirlenir. Atalet momenti, aşınmış bir rayın mukavemeti, rayların, traverslerin ve diğer üstyapı elemanlarının gerilmeleri.

İkinci bölüm uzman sistemler kısmıdır. Görsel olarak elde edilmiş özellikler ve mantık kuralları temelinde bir sezgisel (heuristic) yaklaşımla hesaplamalarda kullanılacak değerler belirlenir. Örneğin dört seçenektan birinin kullanıcı tarafından seçilmesi durumunda, çamur sızıntıları, yabancı otların oluşması gibi durumlarda dikkate alınarak, balast üzerinde izin verilecek yükün, balast kalitesinin ve durumunun belirlenmesi mümkündür.

Tasarım kalitesinden ayrı olarak, sistem hattın geometrik bozukluk ölçümlerini değerlendirebilir. Trafikte hız azaltılmasının tek çözüm olduğu hat bozulma durumlarında, arka arkaya yapılan tamiratlarla bu problemi çözmek mümkündür.

Sistem; raylar, traversler, balast, yol üstyapısı, yük, araçların dingil açıklığı, geometrik bozukluklar ve yol karakteristikleri gibi pek çok veriyi içerir. Veri girişinde kullanıcıların normal olarak kullandıkları yöntemden başka yöntemleri kullanmasına gerek yoktur. Görsel olarak değerlendirilen veriler altı ayrı kategoride girilir. Bunlar; Genel veriler, raylar, traversler, balast, üstyapı ve geometridir. Bu verilerin girişleri çok az zaman alır. Sistem izin verilen tren hızlarını ve yükleri de belirleyebilmektedir. Genel tamiratların yapılmasıyla ilgili modüller üzerinde çalışılmaktadır. Aynı şekilde genel bakımlara ihtiyaç duyulmadığı zamanlarda hatta yapılacak sürekli (rutin) bakımların kapsamı da geliştirilmektedir (Report ERRI D 187/RP 1, 1993).

5.9 Bilgisayar Destekli İş Planlaması (KOMPLAN)

Polonya demiryolları tarafından kullanılan bu sistem, Gdansk Politeknik tarafından hazırlanmıştır. Bu sistem EM-120 demiryolu kontrol aracından elde edilen ölçüm sonuçlarını kullanmaktadır. Bakım eşiklerinin aşıldığı yerlerde bakım önceliğini belirlemektedir. Burajla ilgili bir çalışma takvimi oluşturmaktadır.

KOMPLAN sistemi EM-120 demiryolu kontrol aracının yapmış olduğu ölçümlere dayanır ve tamiratlar ihtiyaç duyulan teknolojiye bağlı olarak iki bölüme ayrılır:

- Hattın konumunda düşeyde ve yataydaki bozukluklar buraj gibi bir dizi makineyle giderilebilir,
- Hat genişliğindeki bozuklukların sebebi belirlendikten sonra başka teknikler göz önüne alınır.

Bu iki kategoride de sistem kusurların yerlerini belirler. Makas ve kesişimlerin bulunduğu kesimlerdeki kusurların düzeltilmesi için düz kesimlerden farklı olarak başka tekniklerin kullanılması gerekmektedir.

ADA III sistemine göre, sistem her bir kategoride ki kusurların büyüklüğünü kaydeder. Kaydedilen kusurların gerçek değeri ve en fazla izin verilen değer arasındaki oran sınırları aşan kusurları verir.

Acil olarak giderilmesi gereken kusurlar, kilometre noktalarında ki durumları ve diyagramlarıyla birlikte verilir. Bu öncelikli kesimlerin tamiratı daha acil olarak yapılır.

Sistem yolla ilgili tüm bilgileri içerir. Tüm ölçüm sonuçları EM-120 aracıyla otomatik olarak gerçekleştirilir (Report ERRI D 187/RP 1, 1993).

5.10 Büyük Periyodik Faaliyetler (GOP)

Fransa demiryolları tarafından kullanılan bu sistem, Direction de'Equipment tarafından hazırlanmıştır. Bu sistem hattın yatay, düşey, hat bileşenleri ve geçmiş çalışma verilerini içerir. Hattın eksenden sapmasının düzeltilmesi, düşeyde yapılacak yükseltme hesaplarını ve balast temizliğini belirler. Ayrıca gelecekle ilgili bir iş planı oluşturur. Sistemin teknik özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

Üstyapının modernizasyonu: Hat yatağının iyileştirilmesi, hat nivelmanın düzeltilmesi için sıklıkla bakım gerektirecek balast içindeki çamur oluşmasının önlenmesi gerekir. Makineli bakım küçük bakımla beraber değildir. Böylece hat bozulması yavaşlatılacak ve bozulma düzgün olacaktır.

a) Nivelmanın bozulması, hat yatağı bakım sabitleri

Nivelmanın istenilen düzeyde tutulması için ne kadar sıklıkta bakım yapılacağı çeşitli faktörleri bağlıdır:

- Hat bileşenleri (travers tipi gibi),
- Trafik yükler (UIC grubu),
- İklim,
- Drenaj koşulları,
- Hat yatağının kalınlığı (balast+balast altı),
- Karışımın kalitesi.

Özellikle son iki faktör çok önemlidir. Bu faktörlerin hattı istenen nivelman düzeyinde tutmak için yapılacak çalışmaların sıklığını etkilediği görülmüştür. “hat+yatak” sisteminin genel bir kalitesini elde etmek için; hat nivelmanını düzeltmeye yönelik yapılan çalışmaların yıllık sayısı (I), trafik değerleri karşılaştırılabilir olan aynı yaştaki ve bakım yapılmış hatların toplam sayısından elde edilen ortalama çalışma sayısına (I_m) oranından elde edilen bir gösterge kullanılır. Elde edilen bu oran ($k=I/I_m$) hat yatağı bakım katsayısı olarak ifade edilir.

b) Hat yatağının iyileştirilmesi

Hat yatağının kalınlığı ve (k) katsayısı (a)’da sıralanan faktörlere bağlıdır. Gelecekte hattın düşey profilinin ortalama bakım düzeyi bir hat yatağı bakım sabitinin (k_f) belirlenmesiyle sabitlenir. Ekonomik çalışmalar en uygun $k_f=0.7$ olduğunu göstermiştir. Yenilemeler sonunda hat yatağının ortalama kalitesine dayanarak en uygun bu değer olarak belirlenmiştir. Mevcut durumda bu değer Fransa Demiryollarının kırmızı şebekesinden belirlenmiştir. En uygun olan değer şebekenin her bir rengi için belirlenir ve periyodik olarak değişen her durumun bir fonksiyonu olarak düzenlenir.

İstenilen amaçları gerçekleştirilmesi için, traverslerin oturacağı yüzey yüksekliğinin belirlenerek hat nivelmanının ne kadar olacağı belirlenmeli ve k_f katsayısı saptanmalıdır. Hattın mümkün olduğunca homojen kalmasını sağlamak için kabul edilebilir bir düzeyde hat yatağı katsayısının elde edilmesi, demiryoluna verilecek yükseklik sınırlarını etkilemektedir. Sistem boyuna profil, geometri, hat yapısı, engeller, kaynaklar, geçmiş çalışma verilerinin tümünü içerir (Report ERRI D 187/RP 1, 1993).

5.11 Ray Yenilemesi ve Net Şimdiki Değer (RPNPV)

İngiltere demiryolları tarafından kullanılan bu sistem, İngiltere demiryolları araştırma merkezi tarafından hazırlanmıştır. Bu sistem belli bir kesimde ray yenilemesinin ne zaman ekonomik olacağını belirlemektedir.

Bu program her bir rayın değiştirme yıllarını farklı tahminler yaparak, ray yenileme ve bakım maliyetlerini hesaplamaktadır. Analiz ray kusurları temeline dayanmaktadır. Rayda oluşan kusurların sayısı ve ray yaşı bilgileri kullanılarak ray kusurları tahmin edilmeye çalışılır. Program rayların her 20 yılda bir değişeceğini

göz önüne alır. Ray kusurlarının tamiratıyla ilgili inşaat mühendisliği maliyetleri, ray yenileme maliyetleri ve raydan çıkma riskine karşılık gelecek maliyetler toplam maliyeti oluşturmaktadır. Frenlemelerin ve ivmelenmelerin sebep olduğu trafik karışıklıkları maliyeti, gecikmelerden kaynaklanan gelir kayıpları ve potansiyel raydan çıkma maliyetleri de göz önüne alınır.

Program sadece bir tip hesaplama yapar. Fakat hemen hemen parametrelerin tümü elde edilerek değerlendirilir. Program tamiratlar ve değiştirmelerle ilgili inşaat mühendisliği maliyetlerini ve ortalama demiryolu hattı verisini kullanır. Aynı zamanda yolcu gelirleri ve ana yollarda gecikme elastikiyeti verilerini de kullanır (Report ERRI D 187/RP 1, 1993).

5.12 Demiryolu Bakım ve Yenilemesinde Bilgisayar Destekli Sistemler (PATER)

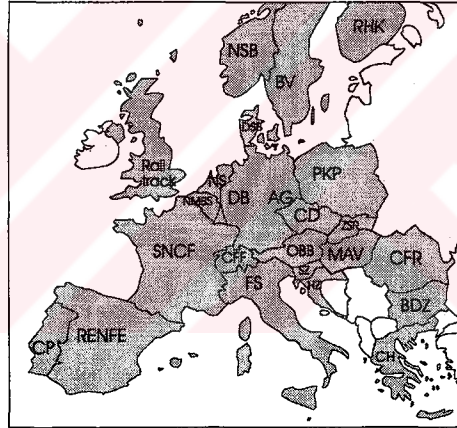
Macaristan demiryolları tarafından kullanılan bu sistem, Macaristan demiryolları, Istvan Szechenyi Teknik Akademisi tarafından hazırlanmıştır. Bu sistemin özellikleri şu şekildedir:

- Hat geometrisi bozulmasını belirler,
- Ölçümlerden ve denetimlerden elde edilen bilgileri kullanarak iş programları oluşturur,
- Hat bakım çalışmalarının etkinliğini sağlar,
- Hat durumunu ve hız limitlerini tahmin eder,
- Temel hat verisi, ölçümlerden ve denetimlerden elde edilen verilerle hattın durumu analiz edilir,
- Bozulma faktörü bilgisini kullanarak analizlerden toplam bir indeks ve faaliyet raporu oluşturulur,
- Analizlerin sonucunda işletme parametrelerinde yapılacak azaltmanın kapsamının ne olacağı ve nerede olacağını belirlemek mümkündür,
- Mevcut analiz sonuçlarıyla önceki analizler karşılaştırır ve bozulma diyagramları belirlenir (veya iyileştirme diyagramları). Diyagramlar temelinde bakım-yenileme çalışmaları değerlendirilebilir ve hat durumundaki değişiklikler tahmin edilebilir.

Sistemin kullandığı veriler şunlardır: Hattın genel teknik verisi, hat geometrisi, yapının kalitesi ve yaşı, hatta yapılan çalışmalar, aşınma karakteri ve derecesi, işletme parametreleri kullanımı (Report ERRI D 187/RP 1, 1993).

5.13 Avrupa Demiryollarında Kullanılan Ecotrack Sistemi

Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC) verimli sistem altyapısı üzerine yaptığı çalışmalar; duruma dayalı, güvenilir BY yönetim sisteminin gerekli olduğunu ortaya koymuştur. Bu şekilde daha büyük yükler, yüksek hızlar daha düşük periyodik maliyetler de gerçekleştirilebilecektir. Bu sebeple UIC Avrupa Demiryolu Araştırma Merkezi'ni (ERRI) hattın verimini artırmaya yönelik olan BY yönetimi için bir karar destek sistemi geliştirmesini istemiştir. Ecotrack sistemi, ERRI D 187 Grubu ve 24 Avrupa demiryolunun katılımıyla 1991-1998 yılları arasında geliştirilmiştir. Şekil 5.2'de Ecotrack sisteminin geliştirilmesinde yer alan ülkeler görülmektedir (Jovanovic ve Korpanec, 2000).

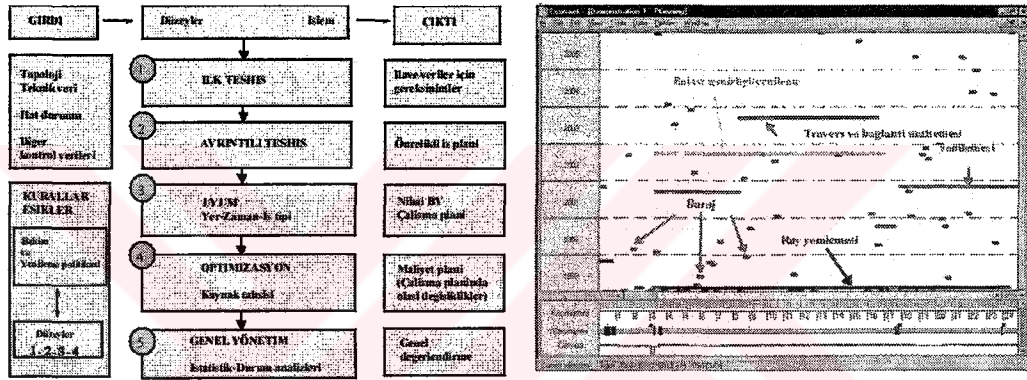


Şekil 5.2 Ecotrack sisteminde yer alan ülkeler

Ecotrack sisteminin hat durum analizleri ve iş planlarının oluşturulmasında iyi kalitede bir karar destek sistemi olabilmesi için büyük miktarlarda veriye ihtiyaç duyulmuştur. Bu veriler farklı veri tabanlarından, varlık yönetim sistemlerinden elde edilerek sisteme aktarılmıştır. Ecotrack sisteminin veri tabanı oluşturulduktan sonra yapılacak BY çalışmaları ile ilgili kurallar geliştirilmiştir. Bu amaçla kullanıcıların bilgileri, standartlar, şartnameler sistemin kural veri tabanına aktarılmıştır (Report ERRI D187/DT 299, 1994).

5.13.1 Ecotrack sisteminin fonksiyonları

Planlamacıların veya yöneticilerin ihtiyaçlarını tam olarak karşılamak için Ecotrack sisteminin beş temel fonksiyonu vardır ve Şekil 5.3 (a)'da gösterilmiştir. Bu fonksiyonlarda yapılan değerlendirmeler sonucu BY çalışma programları elde edilir. Şekil 5.3 (b)'de Ecotrack sistemiyle elde edilen bir BY çalışma programı görülmektedir. Sistemin ilk üç düzeyi hat durumuyla ilgili analizleri gerçekleştirir. Dördüncü düzey insan-makine etkileşimine dayanır ve seçilen hat kesiminin uzun-dönem de BY çalışmalarının en uygun olanını belirler ve maliyet planını tahmin eder. Aynı zamanda bu süreçte sürekli ve ufak BY çalışmalarının maliyeti de kapsanır. Kullanıcılar demiryollarının BY uygulamasına göre en uygun seçeneği seçerler.

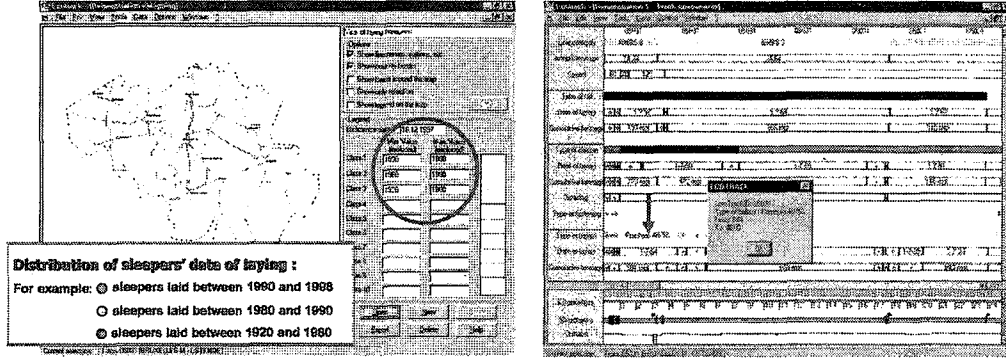


Şekil 5.3 (a) Sistemin çalışma adımları (b) Sistemin çalışma planı

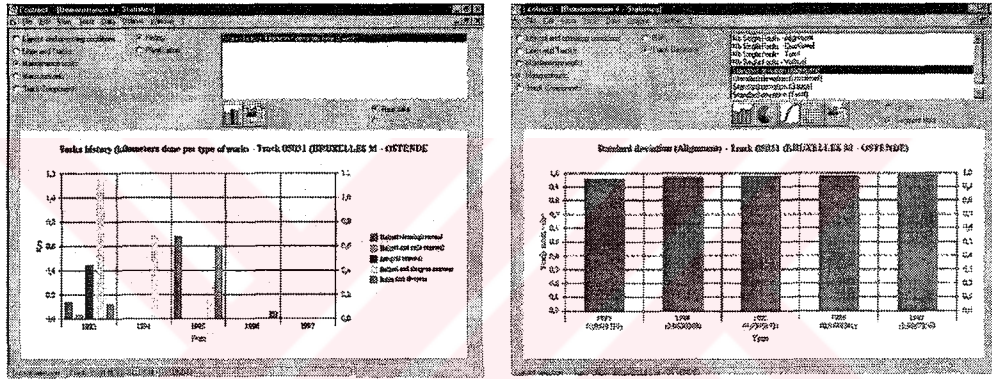
Beşinci düzey tüm şebekenin yönetimiyle ilgilidir. Bu düzey tüm şebekenin BY çalışmalarının en iyi şekilde yönetilmesini sağlamak için planlamacılara bir dizi araçlar sunar. Bu düzey güçlü veri tabanı yönetim sistemlerini sağlayan araçları sunmaktadır. Şekil 5.4 (a) Belçika Demiryolları şebekesinde traverslerin serilme tarihlerini göstermektedir. Bu araç çeşitli bilgilerin üst düzeylerde ve kamusal düzeylerde kullanılmasını sağlamaktadır. Şekil 5.4 (b)'de görüldüğü gibi sistemde hat malzemelerini gösteren bir araç bulunmaktadır. Bu araç oldukça faydalı olup kullanıcıların çok kolay bir şekilde hat malzemelerini ve onlara ait önemli parametreleri görmelerini sağlamaktadır.

Sistemde çeşitli istatistik analizler yaparak geçmişte yapılmış BY çalışmalarının dağılımını görmek mümkündür. Şekil 5.5 (a)'da bir istatistik analizi uygulaması görülmektedir. Ecotrack sistemiyle 26 tane parametre üzerinde istatistik analiz yapmak ve bunları incelemek mümkündür. Şekil 5.5 (b)'de hattın yatay konumuyla

ilgili standart sapma değerlerinin (ya da kalite indekslerinin) istatistik analizi görülmektedir.

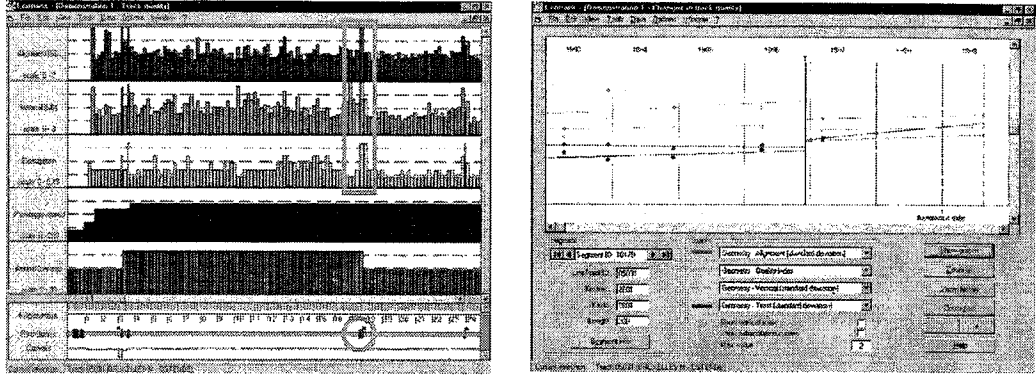


Şekil 5.4 (a) Traverslerin serilme tarihleri (b) Hat malzeme özellikleri



Sistemde her bir analiz kesimine ait hat kalite parametrelerini gösteren bir araç bulunmaktadır (Şekil 5.6 (a)). En önemli araçlardan birisi hat kalitesinin değerlendirildiği araçtır (Şekil 5.6 (b)). Bu araç gelecekteki BY çalışma planlarıyla ilgili temelleri sunmaktadır. Belli zaman aralıklarında gerçekleştirilen ölçümlerle elde edilen verilerle hattın gelecekteki davranışı belirlenmeye çalışılır. Şayet bir parametre için eşik değerler önceden belirlenmişse, bu parametrenin bu eşik değerini ne zaman geçeceği belirlenebilir. Bu şekilde gereken önlemler alınarak BY programları hazırlanabilir. Hattın davranışının belirlenmesi, eşiklerin oluşturulması, hangi çalışmanın yapılacağı gibi durumlar sistemin kurallar bölümünde belirlenir.

Ecotrack sistemi hattın gelecekteki durumunun ne olacağıyla ilgili simülasyonlar yapabilmektedir. Tren hızları, yıllık tonajları ve dingil yükleri değiştirildiğinde, gelecekte bunların BY maliyetlerini nasıl etkileyeceği ve hat kalitesinin ne olacağını hesaplanabilmektedir (Ecotrack, 1998).



Şekil 5.6 (a) Hat kalitesinin gösterilmesi (b) Hat kalitesinin değerlendirilmesi

5.13.2 Ecotrack sisteminin veri tabanı

Ecotrack hatla ilgili mevcut tüm veriyi kullanabilir. Kapsamlı verinin olmadığı durumlarda demiryollarından toplanan tüm standart veriler yeterli olabilmektedir. Sistemin veri tabanı hatla ilgili tipik veriler yanında kullanıcının girmek istediği verileri de kabul edebilmektedir. Bu Ecotrack sistemini daha esnek yaparak kullanıcının gereksinimlerini karşılayabilmektedir. Sistemin içerdiği standart veriler şunlardır (Guler, 2003b):

- Genel veriler-hat planı ve işletme verisi (kurplar, yükler, hızlar, eğimler),
- Üstyapı ve sistem altyapısıyla ilgili genel veriler (altyapı, balast, traversler, raylar, sanat yapıları, makaslar ve çaprazlar),
- Geometri ölçümleri (yatay, düşey, burulma, dever, hat genişliği, kalite indeksleri, kusurların sayısı, diğer kullanıcı parametreleri),
- Kontroller ve diğer ölçümler (genel durum, balast durumu, bağlantı malzemesi durumu, traverslerin durumu, ray kusurları, ray aşınması, ultrasonik ray kontrolleri, ondülasyon ve derecesi, düşey ivmelenmeler),
- Geçmiş çalışmalar (yenilemeler, taşlama ve buraj çalışmaları, hız azaltma bilgileri, küçük bakımlar),
- Harita verisi (demiryolu şebekesini gösteren harita).

Ecotrack sistemi bir uzman sistem olduğundan tüm verilerin olması gerekmemektedir. Ecotrack sisteme girilen tüm veriyi kullanabilmektedir. Ancak veri miktarı çok olursa daha güvenilir sonuçlar elde edilir. Şayet sadece geometri ölçümleri ve geçmiş çalışmalar sağlanırsa etkili sonuçlar elde edebilir (Jovanovic ve Korpanec, 2000).

5.13.3 Ecotrack sisteminde kuralların oluşturulması

Kurallar Ecotrack sisteminin sonuç bölümünün esasını oluşturmaktadır. Bu bölüm aynı zamanda sistemin bilgi tabanıdır. Ecotrack sisteminin geliştirilme sürecinde, sistemin geliştirilmesine katkıda bulunan tüm demiryollarından derlenmiş 173 kural bulunmaktaydı. Ayrıntılı bir çalışmadan sonra 54 önemli kural seçilmiş ve sistemin standart kural tabanını oluşturmuştur. Bu kurallar yılların tecrübesi sonucu elde edilmiş BY politikaları kurallarından ve yıllar süren araştırmalar sonucu bulunmuş istatistik bozulma modellerinden oluşmaktadır. Bu kurallar sistemin önemli hazineleri olup en uygun BY planlamasını belirlemektedirler. Ecotrack'ın analizleri, bir birine bağlı ve eş zamanlı bir dizi kuralın analizine dayanmaktadır. Bir veya birkaç BY ihtiyacı birden fazla kuralın analiziyle bulunur (Tablo 5.1) (Jovanovic ve Korpanec, 2000).

Tablo 5.1 Ecotrack'ın kural tabanı

İş tipi	Düzy 1	Düzy 2	Toplam
Buraj	4	1	5
Taşılama	1	2	3
Ray yenilemesi	7	21	28
Travers yenilemesi	5	4	9
Balast yenilemesi	5	4	9
Toplam	22	32	54
Tutarlılık			8

Bir BY çalışmasına olan ihtiyaca karar verilmeden önce pek çok farklı durum değerlendirmesi yapılır. Bununla birlikte Ecotrack sistemi yeni kuralların eklenmesine imkan verebilmektedir. Bu sayede ilgili demiryolu kendi kurallarını sisteme ekleyebilir ya da değişiklikler yapabilir. Bu şekilde Ecotrack sistemi ilgili demiryollarının BY politikasına uygun hale getirilmiş olur. Bazı demiryolları bazı özel kurallar kullanmaktadırlar. Ecotrack sistemi bu kuralları veri tabanına ekleyerek sistemi kullanan diğer demiryollarına da bu kuralı öneri olarak götürmektedir. Bu şekilde demiryolları arasında bir paylaşım sağlanmaktadır. Tablo 5.2'de Ecotrack sistemine ait genel kural grupları bulunmaktadır. Kural gruplarının anlamı, aynı parametreyi göz önüne alan birkaç kural farklı şekillerde olabilir. Örneğin "Traverslerin ve bağlantı malzemelerinin mevcut servis indeksleri" ile ilgili dört farklı "Travers yenileme kuralları" vardır. "Yaş ve yük sınırı" ile ilgili üç farklı "Balast temizliği veya yenileme kuralları" vardır. Aşağıda çeşitli BY çalışmaları için örnek kurallar gösterilmiştir. Kurplarda sağ ray aşınmasıyla ilgili kural:

Yığışımli yük $\geq$ Yık sınırı VE Kurp yapıçapı $\leq$ Kurp yapıçapı sınırı VE Sağ ray aşınması $\geq$ Sağ ray aşınma limiti OLDUĞUNDA RAY YENİLEMESİ

Buraj kuralı: Burulma değeri $\geq$ Burulma sınırı OLDUĞUNDA BURAJ ÇALIŞMASI

Tablo 5.2 Ecotrack sisteminin genel kural grupları

Buraj Kuralları	Ray Yenileme	Travers Yenileme Kuralları
Hat geometrisinin standart sapması	Yığışımli yük	Hat genişliğinin açılması
Hat geometrisinin standart sapmasının bozulması	Bozulma katsayısı	Traverslerin ve bağlantı malzemelerinin mevcut servis kabiliyeti
Hat geometrisinde görülen her bir kusurun sayısı	Rayların yaşı, yığışımli yük	Traverslerin görsel kontrolü
Kalite indeksinin ortalama iyileştirilmesi	Rayların yaşı	Kusurlu bağlantı malzemeleri
	Ultrasonik olarak tespit edilen kusurların sayısı	Hat genişliğinin standart sapması
Taşlama Kuralları	Ray kusurlarının yüzdesi	Balast temizliği veya yenileme kuralları
Düşey aşınma	Düşey aşınma	Balastın geoteknik analizleri
Kısa dalga ondülasyon	Yatay aşınma	Yaş ve yük sınırı
Gürültü düzeyi	Kurplarda ray aşınması	Düşey hat geometrisinin bozulması
	Toplam ray aşınmasının değerlendirilmesi	Buraj sıklıkları
	Hat genişliğindeki artış	Balast kalite indeksi
	Ray mantarının aşısı	Burajın etkinliği ve balast kalınlığı
	Yığışımli yükteki değişiklik ve kusurların değerlendirilmesi	

6. TCDD'DE HAT KONTROL ÇALIŞMALARI

Demiryolu hattında bozulmaların tespit edilmesinde demiryolu kontrol araçlarından yararlanılır. Çeşitli tip ve markalarda olan bu araçlar yılın belli dönemlerinde yol kontrolüne çıkarak hattın bozulma derecesini belirlerler. TCDD'nin elinde de Matisa firması tarafından üretilmiş M-PV7 adlı demiryolu kontrol araçları bulunmaktadır. M-PV7 demiryolu kontrol aracı 7.7 m uzunluğunda ve 10 ton ağırlığındadır. Hat geometrisi bozulmalarını tespit edebildiği gibi travers altı boşlukları da ağırlığı ile tespit edebilmektedir. Aracın ölçüm sisteminde üç çift 228 mm çaplı temaslı tekerlekler bulunmaktadır. Kayma direncine karşı her bir tekerlek karşıdaki tekerleğe bağlanmıştır. Bu düzenek aracın makas ve çaprazlardan geçerken temaslı tekerleklerin bu bölgedeki aralığa düşmesini önler.

Temaslı tekerleklerin bir çifti taşıyıcı dingiller arasında olup aracın altına yerleştirilmiştir. Diğer iki çift aracın ön ve arka kısmında bulunmaktadır ve araç gövdesine çubuklarla bağlanmıştır. Ön ve arka arabalar her biri aracın merkezinden 5 m uzaklıktadırlar ve 10 metrelik bir ölçüm uzunluğuna imkan verirler. Bağlantı çubukları çok hızlı bir şekilde sökülebilir ve arabalar kaldırılarak araç normal bir demiryolu aracı gibi kullanılabilir.

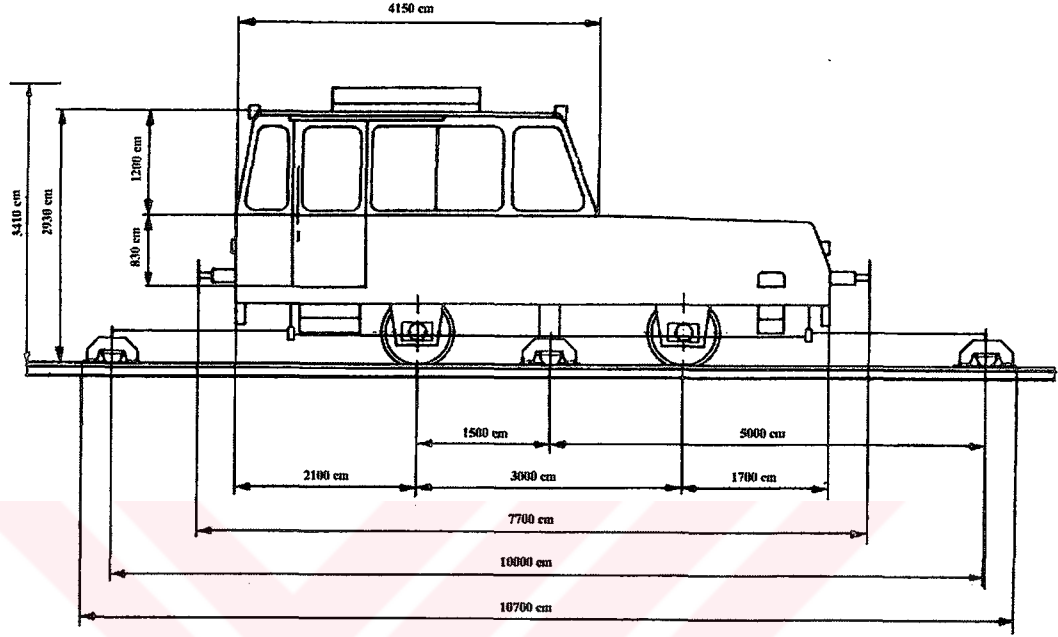
Arabalar tarafından algılanan ölçümlerin iletimi zincir-yay (spring-loaded chains) sistemiyle olmaktadır ve kontrol masasında çizici kalemleri harekete geçirmektedir. Kalemler birbirlerinin geçişine imkan verecek şekilde farklı düşey düzlemlerde yerleştirilmişlerdir (Şekil 6.1).

M-PV7 demiryolu kontrol aracıyla demiryolu hattında aşağıda sıralanan bozulmaları tespit edebilmektedir (M-PV7, 1987; Günoral, 2002 ve Tahtacı, 1997):

1. Burulma,
2. Hat genişliğinde meydana gelen bozulma,
3. Demiryolu hattının ekseninden sapması,
 - a) Sağ ray,
 - b) Sol ray,
4. Dever bozulması,

5. Nivelman bozulması,

- a) Sağ ray,
- b) Sol ray.



Şekil 6.1 M-PV7 demiryolu kontrol aracı

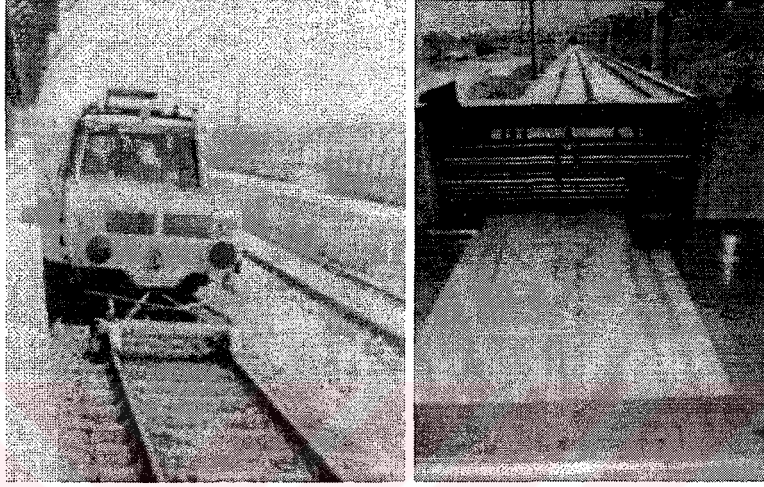
MPV-7 aracının teknik özellikleri Tablo 6.1’de özetlenmiştir.

Tablo 6.1 MPV-7 aracının teknik özellikleri

1.	Toplam ağırlık	10 ton
2.	Ön dingil basıncı	5 ton
3.	Arka dingil basıncı	5 ton
4.	Ölçme hızı	35 km/sa
5.	Seyir hızı	70 km/sa
5.	Makaslardan geçme hızı	8 km/sa
6.	Normal seyir hızı	65 km/sa
7.	Uzunluk	7,700 mm
8.	Genişlik	2,770 mm
9.	Yükseklik	3,375 mm

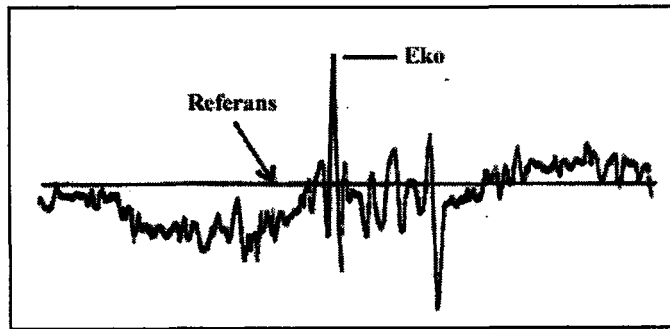
6.1 Hat Geometrisi Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

TCDD’de her bir işletme bölgesinde bulunan bu demiryolu kontrol araçları senede iki defa (ilkbahar ve sonbahar aylarında) yol kontrolüne çıkarak hattın geometrisini tespit etmektedirler. Şekil 6.2’de M-PV7 demiryolu kontrol aracı ölçüm sırasında görülmektedir. Yine aynı şekilde yapılan ölçümlerin grafik kağıda çıktıları görülmektedir.



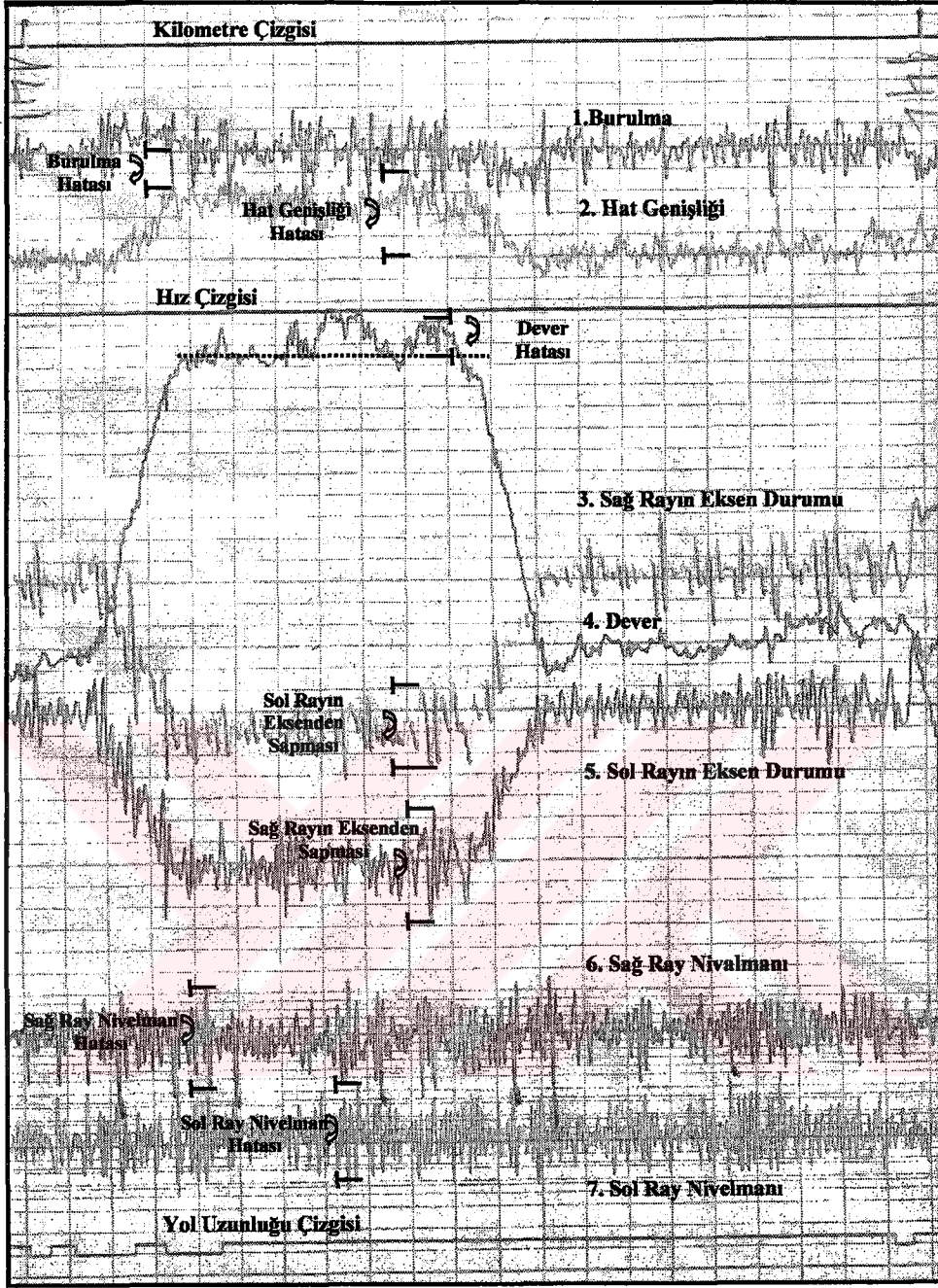
Şekil 6.2 M-PV7 demiryolu kontrol aracı ölçüm sırasında ve ölçüm çıktıları

TCDD’nin elinde bulunan bu yol kontrol araçları demiryolu hattında oluşan bozulmaları özel bir grafik kağıt üzerine kaydederler. Makine aldığı ölçüyü bir referans çizgisini esas alarak grafik halinde işlemektedir. Yoldaki bozukluk miktarını gösteren çizginin dönüş noktasına eko denilmektedir (Şekil 6.3) (Fateh, 2000).



Şekil 6.3 Bozulmanın değerlendirilmesinde kullanılan eko ve referanslar

Demiryolu kontrol aracıyla elde edilen hat geometrisi ile ilgili bozulmaları gösteren özel grafik kağıt Şekil 6.4’te görülmektedir.

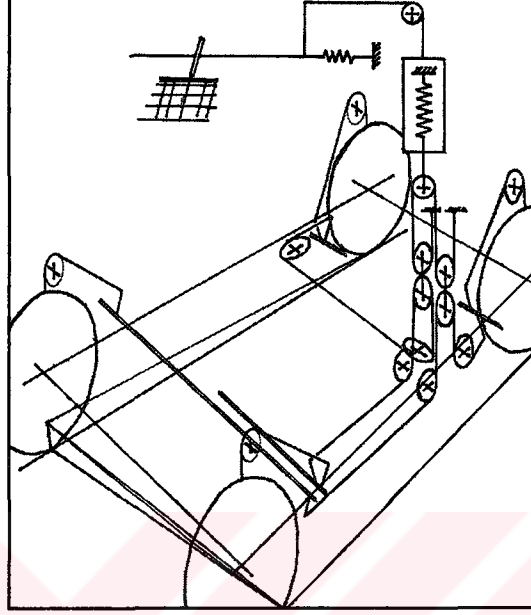


Şekil 6.4 Yol kontrol aracından elde edilen bozulma grafiği

6.1.1 Burulma grafiğinin değerlendirilmesi

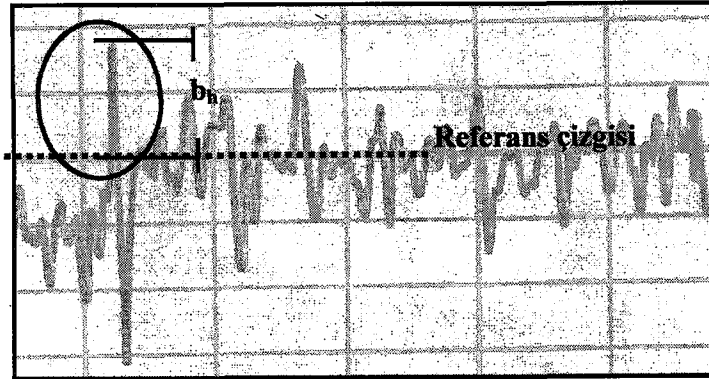
Aracın burulmayı ölçen kaleminin ayarı düz ve dever olmayan bir yolda ölçü alınırken yapılır. Bu koşullarda ortalama kayıt çizgisi referans çizgisiyle çakışacak şekilde ayarlanır. Üç nokta bir düzlemi tanımlar, eğrilik ise dördüncü bir noktanın bu düzleme olan uzaklığını gösterir. Deverin sıfır olduğu düz bir hattan deverin sabit olduğu bir kurba geçmek için hatta eğrilik vererek burmak gereklidir. Sonuç olarak

düz ve normal kurplarda eğrilik yoktur, parabollerde ise teorik olarak sabittir. Burulma miktarı ölçüm sırasında yükleme altında ölçülmelidir. Kayıt arabasının burulma miktarını ölçme uzunluğu 3 metredir. Bu uzunluk kontrol aracının iki dingili arasındaki mesafeye eşittir (Şekil 6.5) (M-PV7, 1987).



Şekil 6.5 M-PV7 ile burulmanın tespit edilmesi

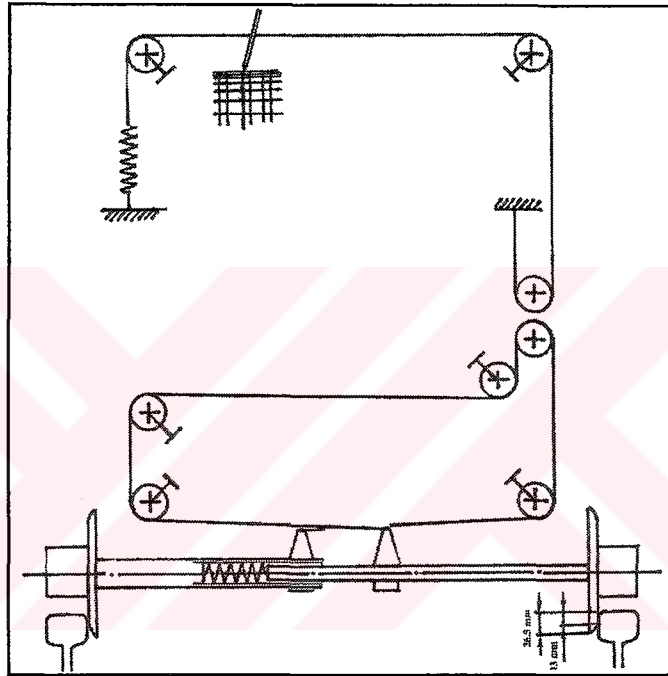
Yol kontrol aracından elde edilen bozulma grafiklerinde, hattaki burulma miktarı referanstan-ekoya yapılan ölçüm değeri ile tespit edilmektedir. Burulmanın ölçüm uzunluğu uluslararası 1.5-3-4-5 m’de kabul edilmiştir. MPV-7 tipi yol kontrol aracında 3 m’dir. MPV 7 aracında ön ve arka dingil açıklığı 3 m olduğundan, burulma miktarı 3 metrede tespit edilmektedir. Burulma diyagramında yatay ölçek (1/500), düşey ölçek ise (1/1)’dir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Yol kontrol aracıyla elde edilen burulma diyagramı

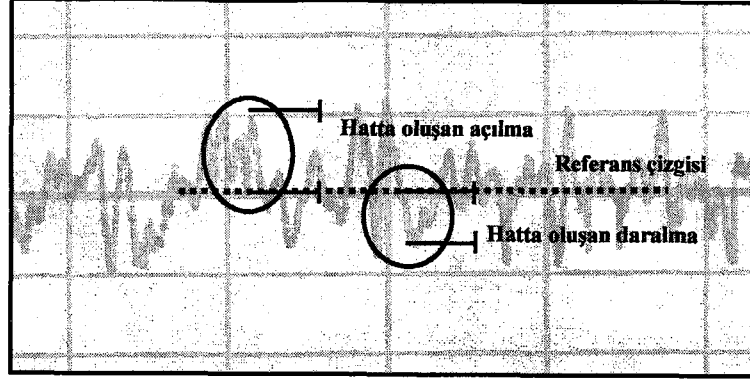
6.1.2 Hat genişliği grafiğinin değerlendirilmesi

Demiryolu kontrol aracıyla hat genişliği ölçülmeden önce, hattın uygun bir kesiminde hat genişliği ölçen aletle ölçüm yapılır. Kontrol aracı ölçüm yapılan nokta üzerine getirilerek hat genişliğini ölçen kaleminin ayarı yapılır. Referans çizgisi normal hat genişliğine karşılık gelir (1,435 mm). Orta arabanın ölçüm yapan 228 mm çaplarında iki hassas tekeri vardır. Tekerleklerin raylara temas eden noktaları asgari teğetsel yüzeye indirilerek tekerlekler üzerindeki aşınma azaltılmış olur ve hattın sürekli kaydı sağlanır (Şekil 6.7) (M-PV7, 1987).



Şekil 6.7 M-PV7 ile hat genişliğinin ölçülmesi

Yol kontrol aracından elde edilen bozulma grafiklerinde, hat genişliğinde oluşan bozulma miktarı referanstan-ekoya yapılan ölçüm (milimetre olarak) değeri ile tespit edilmektedir. Hat genişliği diyagramında yatay ölçek (1/500), düşey ölçek ise (1/1)'dir (Şekil 6.8).

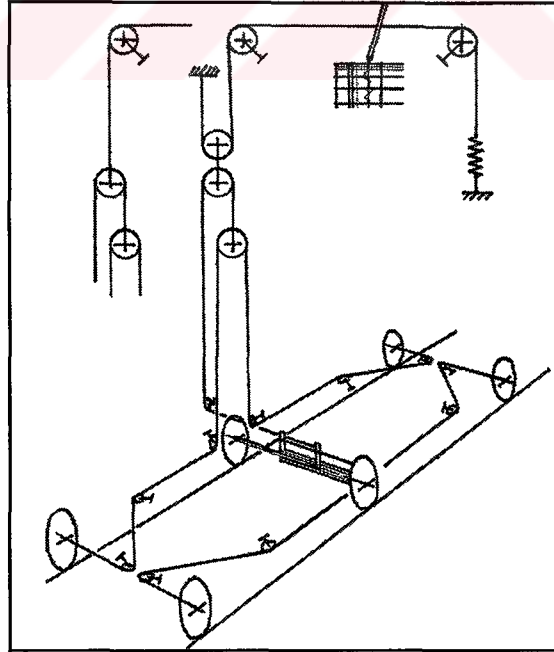


Şekil 6.8 Yol kontrol aracıyla elde edilen hat genişliği diyagramı

6.1.3 Yatay eksen grafiğinin değerlendirilmesi

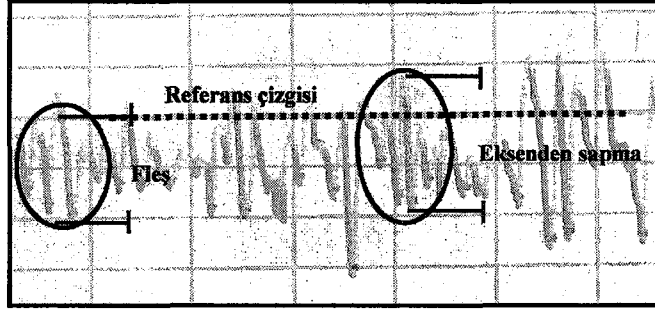
Yatay eksen durumunu ölçen kalemlerin ayarları düz bir hat kesiminde kayıt yapılırken yapılır. Bu koşullarda ortalama kayıt çizgisinin referans çizgisiyle çakışması gerekir. Yatay eksen grafiği (1/1) oranında 10 metre aralık üzerinden hesaplanır (Bu mesafe iki uçta bulunan arabalar arasındaki mesafedir). Ölçüm üç araba üzerinden yapılır (Şekil 6.9) (M-PV7, 1987).

- Ortadaki araba hat genişliğinde anlatılan şekilde hazırlanır.
- Uçlardaki arabalar orta araba gibi olup yatay eksenin ölçümüne göre hassas olarak yapılmışlardır.



Şekil 6.9 M-PV7 ile yatay eksenden sapmanın ölçülmesi

Yol kontrol makinesi fleş miktarını 10 metre boyundaki kirişle ölçmektedir. Yol kontrol aracından elde edilen bozulma grafiklerinde, referanstan ekoya olan mesafe fleş miktarını, ekodan ekoya olan mesafe ise hattın ekseninden sapma (milimetre olarak) miktarını göstermektedir. Hattın eksen durumunu gösteren diyagramlarda yatay ölçek (1/500), düşey ölçek ise (1/1)'dir. Bu diyagramlardan ölçülen fleş miktarı ile kurbun yarıçapını belirlemek mümkündür (Şekil 6.10).



Şekil 6.10 Yol kontrol aracıyla elde edilen eksenden sapma diyagramı

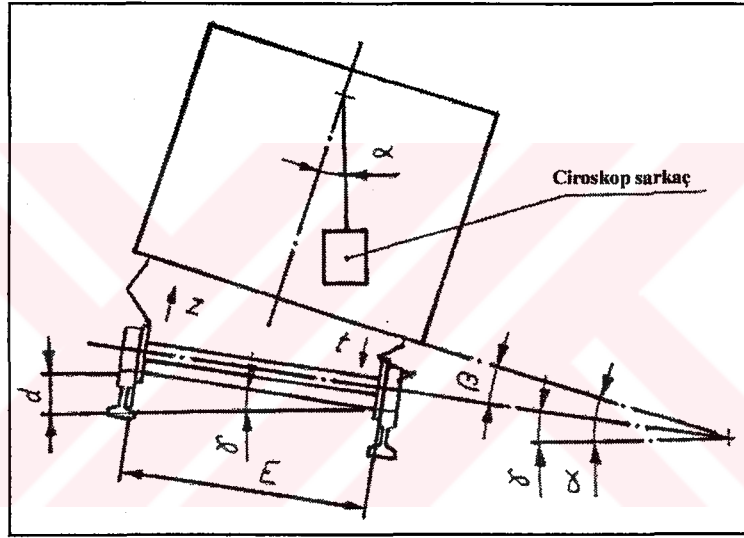
6.1.4 Dever grafiğinin değerlendirilmesi

Dever, iki rayın ray mantarları arasındaki düşey farklılık veya ray mantarlarının ortak teğeti ile yatay arasındaki açı (dever açısı) olarak tanımlanır.

M-PV7 demiryolu kontrol aracının dever metresinin bulunduğu çerçeve araç gövdesi içine yerleştirilmiştir ve x eksenini çevresinde dönebilmektedir. Çerçevede iki tekerlek vardır. Bu tekerlekler y eksenini çevresinde atalet momentine ve açısal hızlara sahiptirler. Araçta bulunan cirooskop sarkaç basit bir sarkaç gibi çalışır ve hattın düz giden kesimlerinde seyahat edilirken dever ölçümü için gereken düşey referans düzlemini sağlar. Kurplar içine girildiği zaman sarkaç merkezkaç kuvvetine maruz kalır ve bir moment üretir. Ciro sarkaç merkezkaç kuvvetinin etkisiyle sallanabilme yeteneğine sahiptir ve yatay şoklar etkisi altında gerçek olmayan sallanmalara maruz kalabilir. Bu gibi titreşimlerin giderilmesi için düşey ekseninde dönen ve sabit hızlı yardımcı cirolardan yararlanılır. Bunlar ana ciroya birleştirilirler ve bu istenmeyen sorunlar giderilir. Yardımcı ciro y eksenini çevresinde ikinci bir dönme alanına sahiptir. Bu eksen çevresinde yardımcı cironun hareketi, yayların ve iki hidrolik damperin etkisi altında aynı zamanda olur. Boyuna eksen çevresinde herhangi bir yerde görülen bir bozucu moment durumunda, yardımcı ciro y eksenini çevresinde bir hareketle bu bozucu momente karşı koyar. Bu dönme hareketi damperler ile bastırılır

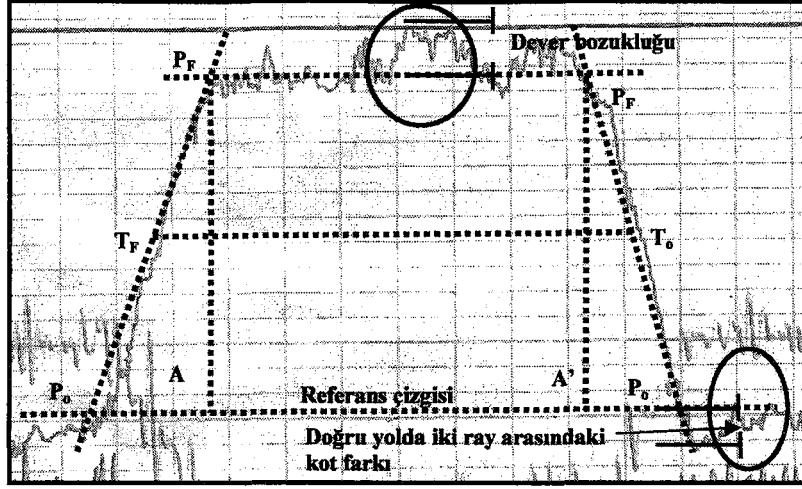
ve bozucu enerjinin soğurulması sağlanır. Bozucu hareketleri soğuran yaylar düşey eksen çevresinde bir cironun sürekli dönmesini sağlar.

Ana ciro hızı ile seyahat hızı arasındaki uyum mekanik bir iletim sistemiyle ayarlanır. Kurplar ve doğru kesimleri arasında bulunan geçiş eğrileri içinde seyahat edilirken, sarkaç ve ciro moment arasındaki uyumun sağlanması için ciro aracın merkezine yerleştirilir. Araç gövdesi ve ciro sarkaç arasındaki açı dever açısıyla tam olarak aynı değildir. Çünkü araç gövdesinin her iki yanındaki istenmeyen yay süspansiyonu hatla bir eğiklik oluşturabilir. Arka dingil ve araç gövdesi arasındaki açı, uygun bir manivela ile düzeltilir ve iki açının çıkarıldığı yerde sarkaç zincirlerle iletilir. Gerçek deverde görülen farklılık bir servo mekanizma üzerinden kalemlere iletilir (Şekil 6.11) (M-PV7, 1987).



Şekil 6.11 M-PV7 ile deverin ölçülmesi

Yol kontrol aracından elde edilen bozulma grafiklerinde, deverde oluşan bozulma miktarı referanstan-ekoya yapılan ölçüm (milimetre olarak) değeri ile tespit edilmektedir. Dever diyagramında yatay ölçek (1/500), düşey ölçek ise (1/2)'dir (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 Yol kontrol aracıyla elde edilen dever diyagramı

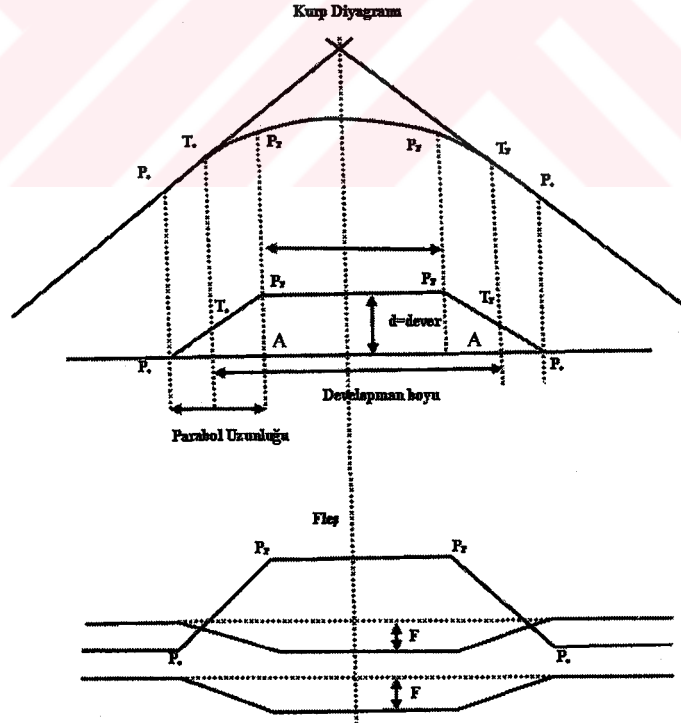
Elde edilen dever diyagramındaki grafik ölçüleri değerlendirilerek kurp elemanları hesaplanabilir (Şekil 6.13):

$T_o - T_F$: Developman boyu

$P_o - A$: Parabol boyu

$P_F - P_F$: Kurp boyu

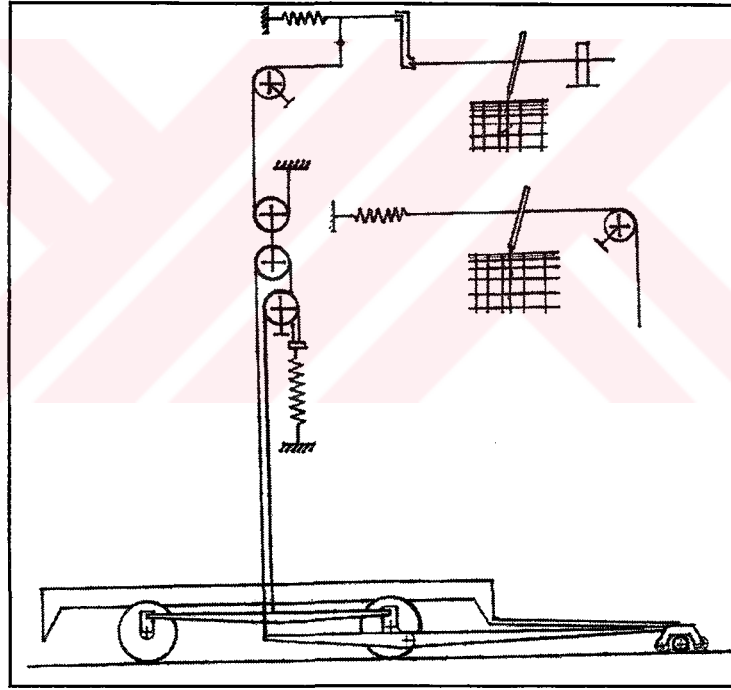
$A - P_F$: Dever miktarı



Şekil 6.13 Kurp ve fleş diyagramları

6.1.5 Nivelman grafiğinin değeriendirilmesi

Nivelman kusurlarını ölçmek için kontrol aracının kalem ayarı deversiz düz bir yolda kayıt yapılırken yapılır. Bu koşullar altında ortalama kayıt çizgisi referans çizgisi ile çakışacak şekilde ayarlanır. Nivelman ölçümü boyuna doğrultuda 6.5 m uzunluktaki bir düzlemdede yapılır. Bu uzunluk ön araba ile arka dingil arasındaki açıklıktır. Genellikle gevşek traversler 6.5 m'den az bir uzunluk içinde bulunurlar. Dolayısıyla 6.5 m'lik ölçüm uzunluğu nivelman kusurlarının belirlenmesi için uygun bir mesafedir. Nivelman ölçümü iki nokta arasında bulunan yüklü dingillerle belirlenir. M-PV7 aracının dingil ağırlığı 5 tondur ve bu dingil yükü 50 kg/m raylar için yeteri düzeyde bir yerdeğıştirme sağlar. Yükün etkisiyle gevşek traversler ölçüm sırasında balastla temas halinde olurlar. 50 kg/m ray profilinin üzerindeki raylar için ölçüm dingillerinin 6 tonun üzerinde dingil yüküne sahip olması gerekir (Şekil 6.15) (M-PV7, 1987).



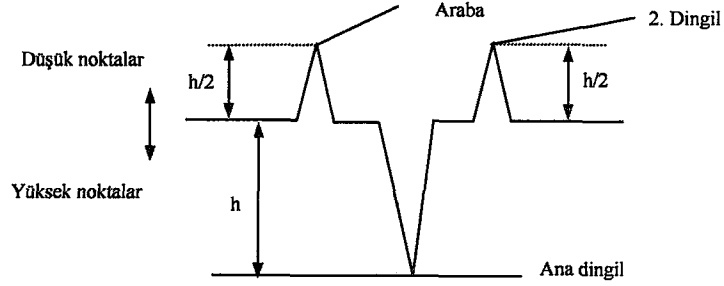
Şekil 6.14 M-PV7 ile nivelmanın ölçülmesi

Nivelmanın kayıt edilmesi şu şekilde yapılır (Şekil 6.15):

- Kontrol aracı düşük noktaların üzerinden geçerken, ön ölçüm arabası yaklaşık (1/2) ölçeğinde ters yönde ölçüm yapar. Kalıcı bir nivelman bozulmasının olmadığı ya da az olduğu kesimlerde, bu ters yöndeki kayıt görülmeyecektir. Boşluklar üzerindeki gevşek traversler ölçüm arabasının rayları ve travers

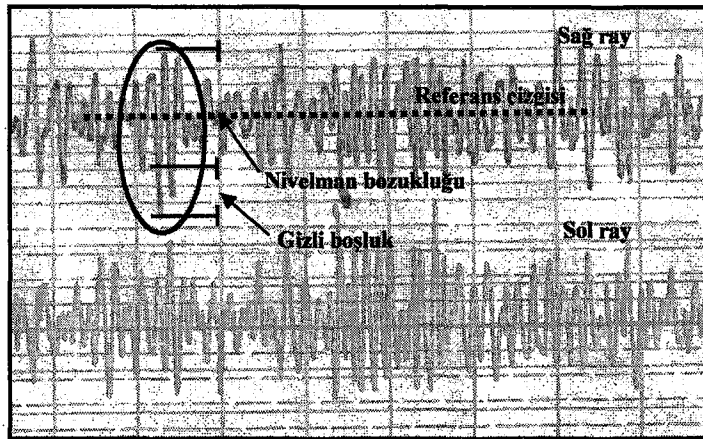
altını bozmayacak kadar hafif olmasından dolayı ön ölçüm arabası yükselti vermeyecektir.

- b) Kontrol aracının ana dingil tekeri, kusuru doğru yönde kayıt eder ve tam ölçeklidir.
- c) Arka dingil tekeri de yüklü dingildir ancak ölçümü ters yönde ve 1/2 ölçeğinde kayıt yapar.



Şekil 6.15 Kontrol aracının nivelman ölçme tekniği

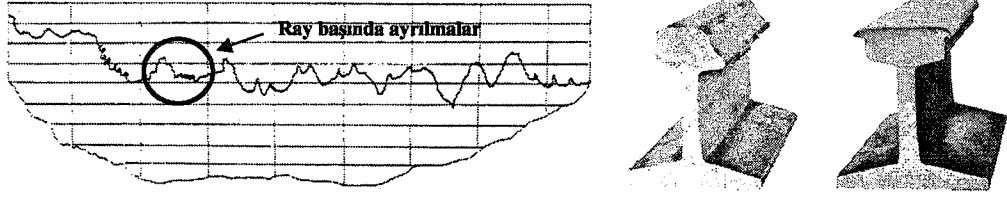
Yol kontrol aracından elde edilen bozulma grafiklerinde, nivelman bozukluğu ekodan-ekoya yapılan ölçüm (milimetre olarak) değeri ile tespit edilmektedir. Nivelman grafiğinin değerlendirilmesinde traversler altındaki gizli boşluklar da tespit edilebilir. Şayet nivelman grafiğinde çizgi birleşerek uzamış ise bu kısım traversler altındaki gizli boşlukları göstermektedir. Nivelman bozukluğu çizginin birleştiği noktaya kadar alınır, diğer uzamış kısım ise gizli boşluk olarak dikkate alınır. Nivelman diyagramında yatay ölçek (1/500), dikey ölçek ise (1/1)'dir (Şekil 6.16).



Şekil 6.16 Yol kontrol aracıyla elde edilen nivelman diyagramı

6.2 Ray Kusurlarının Tespit Edilmesi

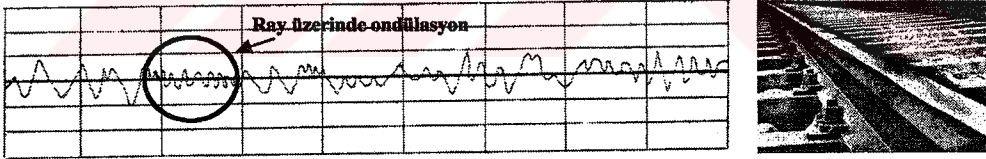
Yol kontrol aracıyla elde edilen hattın ekseninden sapması ve nivelman grafiklerinden raylarla ilgili kusurların tespit edilmesi de mümkündür. Hattın ekseninden sapması grafiklerinden ray başında ki ayrılmalar ve conta kusurları tespit edilebilir (Şekil 6.17-6.19). Nivelman grafiklerinden raylardaki ondülasyonlar tespit edilebilir (Şekil 6.20). Bu okumalardan sadece yukarıda sıralanan kusurlar tespit edilebilir. Ancak tespit edilen bu ray kusurlarıyla ilgili olarak sayısal değerler elde etmek mümkün değildir (M-PV7, 1987).



Şekil 6.17 Eksen sapma grafiklerinden ray başındaki ayrılmaların tespit edilmesi



Şekil 6.18 Eksen sapma grafiklerinden ray conta bozukluklarının tespit edilmesi



Şekil 6.19 Nivelman grafiklerinden ray üzerindeki ondülasyonun tespit edilmesi

6.3 Kontrol Aracının Analiz Programı

M-PV7 demiryolu kontrol aracında MATISA firması tarafından hazırlanmış bir analiz programı kullanılmaktadır. Kullanılan analiz programı hattın geometrik durumunu kontrol sırasında analiz etmekte ve sayısal değerler olarak göstermektedir. Analiz programı demiryolu hattının geometrisiyle ilgili olarak aşağıdaki durumlar belirlemektedir:

- Geometrik parametrelerdeki kusurların dağılımları,

- Bakım veya tolerans düzeylerinin yani eşik değerlerin üzerinde bulunan kusurların sayısı (kilometre bilgisiyle birlikte gösterim),
- Ölçüm yapılan hat kesiminin genel kalite derecesiyle birlikte her bir parametrenin kalite derecesi.

Kontrol aracıyla elde edilen sonuçlardan aşağıda sıralanan analizlerin yapılması mümkündür:

- Ölçüm yapılan hat kesiminden elde edilen parametrelerin ölçüm değerleri dikkate alınarak güvenlik ve konfor üzerine ayrıntılı çalışmalar yapılabilir,
- Acil bakım ve yenileme çalışmaları belirlenebilir,
- Elde edilen bozulma oranları esas alınarak orta dönem BY programları hazırlanabilir,
- Demiryolu hattına yapılan BY çalışmalarının kalite kontrolü yapılabilir.

Kontrol aracıyla yapılan ölçümler sayısal değerlere dönüştürülerek analiz kesimleri düzeyinde değerlendirilir. Analiz kesimlerinin uzunlukları sabit aralıklı olarak belirlenir. Analiz kesimleri düzeyinde yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi incelenen parametreye bağlı olarak değişmekle birlikte şu şekilde yapılmaktadır:

- Referans düzeyinin üstünde ve altında en büyük pozitif ve negatif değerler (referanstan ekoya değerlendirme tekniği),

Veya,

- İki uç arasındaki ölçülen değerlere karşılık gelen titreşimin genişliği. Örneğin en büyük değer ve onu izleyen en küçük değer arası mesafe(ekodan ekoya değerlendirme tekniği).

Ölçüm sonucu elde edilen bu değerler genliklerine göre sınıflandırılırlar. Analizlerde kullanılacak ölçüm değerlerinin kabul edilebilir düzeyleri, değerlendirilen parametreye göre değişir ve daha önce belirtildiği gibi referanstan-ekoya ya da ekodan-ekoya yapılan ölçümlerle belirlenir. Kabul edilebilir bozulma derecelerinin büyüklüğü 0.25 mm artırılabilir. Kullanılan analiz programı özel bir işlem yaparak kanal üzerindeki ölçümün iptal edilmesine imkan vermektedir. Filtreleme işlemi yaparak çok küçük kusurların analiz dışında bırakılması mümkündür. Demiryolu hattıyla ilgili ölçümler yapıldıktan ve kabul edilebilir düzeyler yani eşik değerler belirlendikten sonra analiz süreci başlar. Analiz süreci aşağıdaki adımları kapsamaktadır:

- Her bir i parametresi için, kabul edilebilir düzeyler içinde bulunan her bir j sınıfına ait n_i^j kusurlarının sayısının toplamı belirlenir. Örneğin hat genişliği kusurları dar ve geniş kusurlar şeklinde sınıflandırılır ve her bir sınıfın kusur sayısı belirlenir.
- Ölçülen genlikler 0.25 mm artırırlarak ölçülebilir (programa bağlı olarak değişebilir).
- Bozulmaların en yüksek düzeyde olduğu en son sınıfa ait kusurların en üst düzeyi güvenlik sınırlarıyla sabitlenir.

Kontrol aracıyla ölçülen parametrelerden genlikleri referans çizgisinden kabul edilen parametrelerin referans düzeyleri şu şekilde belirlenir:

- Yatay düzlemde nivelmanın olmadığı kesimde burulma parametresi referans düzleminde sıfır kabul edilir.
- Hat genişliğinin değeri (örneğin 1435 mm) referans düzleminde sıfır kabul edilir.

Her bir analiz uzunluğu (L_a) için ölçülen her bir parametrenin (i) bozulma değerlerinin (a_i^j) toplamı S_i şu şekilde ifade edilir:

$$S_i = (a_i^a + a_i^b + \dots + a_i^j) L_a / I_g \quad (6.1)$$

L_a = Analiz kesim uzunluğu (belirli bir uzunluk)

I_g = Gidilen kesim uzunluğu

Ölçüm yapılan hat kesimi için bir kalite puanının (Q) saptanması için, tüm parametrelerden elde edilen S_i değerlerinin sırasıyla bir ağırlık faktörü (k_i) ile çarpımı yapılır. Daha sonra bu toplam diğer bir ağırlık faktörüyle çarpılır (K_g/i):

$$Q = K_g / 5 \cdot (k_1 S_1 \text{ (yatay eksen)} + k_2 S_2 \text{ (dever)} + k_3 S_3 \text{ (burulma)} + k_4 S_4 \text{ (hat genişliği)} + k_5 S_5 \text{ (nivelman)}) \quad (6.2)$$

Herhangi iki kanalın toplamı veya ortalaması alınacaksa, bu programın kurulum aşamasında belirlenebilir. Program kusurların sayısını tespit edebildiği gibi bunların toplamını da vermektedir. Parametrelerin birbirleriyle olan işlemlerinde yapılan seçimlerin bu parametreler arasındaki korelasyona göre olması gerekmektedir.

Deneyisel çalışmalar sonucu belirlenen referans uzunluğu ya da analiz uzunluğu (L_a) ile hat kalitesini mümkün olduğunca temsil eden (S_i) değeri elde edilir. Programda

kullanılan toplam değerler 0 ile 999 arasında değişirler. Analiz uzunluğu (L_a) bir metre adımlarla değişir ve en fazla 999 m değerini alır. Analiz uzunluğun karşılaştıırma çalışmalarına imkan verebilmesi için tüm hat kesimlerinde aynı kalması gerekmektedir. Ağırlık faktörü (k_i) dikkate alınan hat uzunluğu için parametrelere verilen öneme bağlı olarak seçilmelidir. Örneğin, yüksek hızlı hatlarda güvenlik sınırları hariç konfor açısından bir önem veriliyorsa, yatay eksen parametreleri ve deverde ki değişimler hat genişliği ve nivelman parametrelerinden daha önemlidir. Tersine yolcu trafiğinin olmadığı, güvenliğin istendiği ancak konforun çok önemli olmadığı ikinci derece hatlarda burulma ve hat genişliği çok önemlidir. k_i ağırlık faktörleri 0 ile 99 aralığı içinde bir birimlik artımlarla ayarlanır. şayet $k_i=0$ ise S_i kalite puanı hesaplanmasında sıfıra eşit olacaktır.

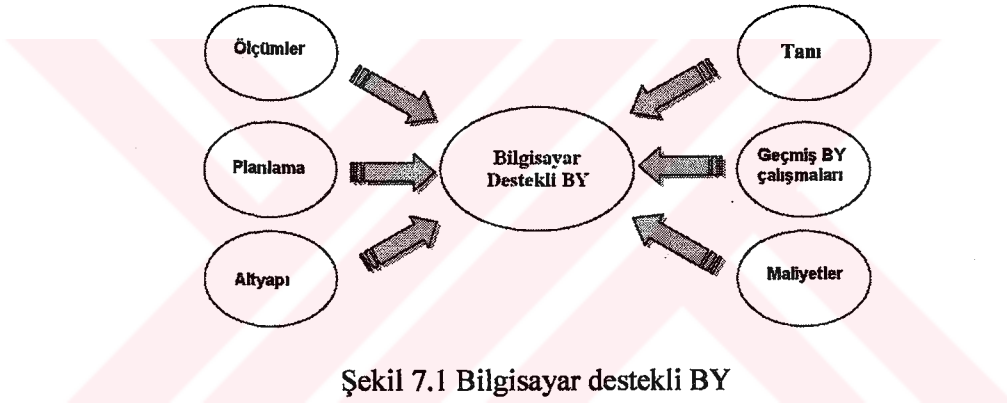
Genel bir çarpan olan K_g faktörü, ölçümlerle ilişkisi olmayan bir dizi durumları, aynı tipte olmayan hat uzunluklarının karşılaştıırılarak değerlendirilmesi gibi hususları içerir. K_g faktörü ampirik olarak belirlenir ve 0-9 arasındadır. Hat kesimlerinin bozulma oranlarıyla ilgili önceki gözlemleri ve istatistikleri hesaba katmak gerekir. Bu zellikler şunlardır: yaş, bağlantı malzemesi, tonaj, hızlar, balast tipi ve derinliği, toprak gövdenin formasyonu ve en son bakımın yapıldığı tarih. Zaman içinde başarılı sayısal analizler, hat kalitesinin ve bozulma oranının tam olarak tespit edilmesini sağlayacak ve ağırlık faktörlerin uygun değerlerle değiştirilmesine imkan verecektir.

Program içinde, uzunlukları ifade etmek için metrik sistem kullanılır. Hat kusurlarının büyüklüğü ve a_i^j genlik değerleri arasındaki oran grafik leği önemsemeksizin 1:1'dir. Maksimum a_i^j genlik 250 mm'dir. Genlik yaklaşık 0.125 mm ölçülür.

Analiz programının çalıştırılması programlama bilgisini gerektirmez. Kullanıcı klavye üzerine basit hatırlatma notları yazarak programın çalışmasını kontrol edebilir. Program elle girilen pek çok hataları otomatik olarak düzeltir (M-PV7, 1987).

7. DEMİRYOLU HATTINDA MEYDANA GELEN BOZULMALARIN MODELLENMESİ

Demiryolu hattına yapılan bakım ve yenileme (BY) çalışmalarının maliyeti oldukça yüksektir. BY çalışmalarına yapılan harcamaların azaltılabilmesi için hat bakımından sorumlu mühendislerin hatla ilgili yeterli veriye sahip olmaları gerekmektedir. Eldeki verilerle yapılacak bilgisayar destekli çalışmalarla etkin BY programları hazırlanabilir. Bilgisayar destekli BY çalışmaları aynı zamanda etkin bir demiryolu varlık yönetim sistemi için de gereklidir. Bilgisayar destekli hat BY çalışmaları için ihtiyaç duyulan veriler Şekil 7.1’de özetlenmiştir.



Şekil 7.1 Bilgisayar destekli BY

Demiryolu hattında otomatik olarak elde edilen veriler, kullanılan teknoloji düzeyine bağlı olup bazı demiryollarında hala sınırlı düzeydedir. Demiryolu hattıyla ilgili yapılacak geleceğe dönük çalışmalarda elde edilmesi gereken veriler şunlardır: görsel kontroller, hat planı, işletme verisi, hız azaltma sebepleriyle ilgili veriler, küçük bakımlar, değişen hat bileşenleri, geçmiş BY çalışmaları ve maliyetleri.

BY modellerinin oluşturulmasında kullanılacak analiz kesimlerinin uzunlukları demiryolu organizasyonuna bağlı olarak değişir. Genellikle demiryolu kontrol araçlarıyla belirlenen kalite indekslerinin ait oldukları uzunluklar analiz kesimleri olarak alınır. Bu uzunluklar yaklaşık 100-200 m arasında veya kilometre düzeyinde olabilirler. Daha sonra bu analiz kesimleri bir araya gelerek BY amaçları için hat kesimlerini oluştururlar (Esveld, 2001).

7.1 Teorik Hat Bozulma Modeli

Demiryolu hattının durumu, hattı oluşturan bileşenler ve bunların konumları ile ifade edilir. Hattı oluşturan bileşenler ve hattın durumu, hattın bozulması ve yenilenmesi gibi karmaşık süreçlerde birbirleriyle yakın ilişki içindedirler. Şayet bu elemanlardan birisi kötü durumdaysa, bu diğerinin bozulmasına da sebep olacaktır. Yani hattı oluşturan bileşenler kötü durumdaysa, hattın konumunu istenen düzeyde tutmak mümkün değildir. BY programları oluşturulurken demiryolu hattının yaşı dikkate alınır. Bu sebeple kurulan modelde demiryolu hattı “Genç”, “Yaşlı” ve “Orta” diye yaş dönemlerine ayrılır. Bu dönemlerin her birinin sürekliliği ve ömrü hattın karakteristiklerine bağlı olarak değişir. Bunun yanında hattın maruz kaldığı yükler, bakım faaliyetlerinin sayısı ve ölçeği bu gruplar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Demiryolu hattına yapılacak BY faaliyetleri ile ilgili temel ilke, demiryolu hattında meydana gelen bozulmaların zaman içinde gözlenmesi ve saptanması esasına dayanır. Şekil 7.2’de gösterilen kalın yeşil eğrisel çizgi, herhangi bir bakım yapılmayan demiryolu hattına ait kuramsal bozulmayı göstermektedir. Aynı zamanda bu eğri üzerinde hattın üç yaş dönemi tespit edilebilir.

“Genç” yaş dönemi olarak ifade edilen ilk kısım, demiryolu hattının ana yenilemesi veya ilk inşaatından hemen sonra aniden görülen ve hattın ilk kurulumunun sebep olduğu hızlı bozulmaları karakterize eder (Şekil 7.2’de a ile işaretli kesim). Bu dönemin tahmin edilmesi zor olduğu gibi bir hat kesiminden diğerine önemli derecede farklılık gösterir. Bu sebeple bu dönemin modellendirilmesi oldukça güçtür. Bu dönemin çok kısa olması, ihmal edilen sonuçların da az olmasını sağlar.

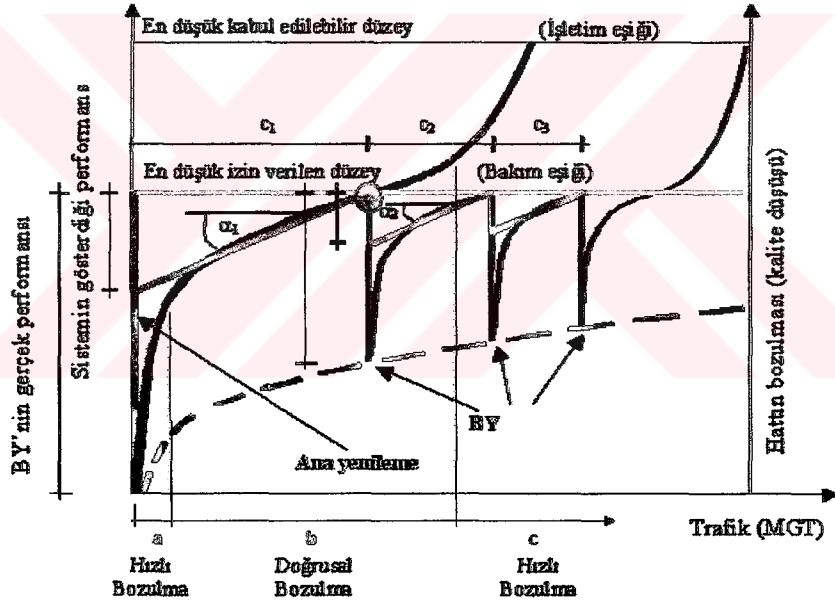
“Orta” yaş döneminde yeterince dengeye ulaşan demiryolu hattı doğrusal bir bozulma gösterir. Demiryolu hatlarının ekonomik ömürleri süresince sıkça görülen bu dönemde modeller kurularak analizler yapılabilir (Şekil 7.2’de b ile işaretli bölge).

“Yaşlı” dönem ise demiryolu hatlarının ömürlerinin en son bölümünde görülür ve çok hızlı bir bozulmayla karakterize edilir. Bu dönemde bozulma üssel bir şekil gösterir (Şekil 7.2’de c ile işaretli bölge). Trafik güvenliğini etkileyebileceğinden üçüncü bölümün gerçekleşmesine izin verilmez. Zamanından önce yapılan BY faaliyetleri, maliyetleri arttırdığından dolayı kaçınılır. Bu sebeple BY faaliyetlerinin başlayacağı bir eşik değeri belirlenir (Şekil 7.2’de yatay turuncu çizgi). Demiryolu

hattında meydana gelen bozulma değeri bu eşik değere ulaştığında BY faaliyetleri başlar.

Demiryolu hattında BY faaliyetleri ile ilgili bir model kurulacağı zaman, demiryolu hattının bozulmasının doğrusal olduğu dönem içindeki ölçülen veriler analiz edilir (Şekil 7.2 mavi çizgiler). Demiryolu hattının bozulma derecesini gösteren bu ölçülmüş değerlerin analiz edilmesiyle bunların dağılımına uygun hesap yöntemleri ve enterpolasyonlarla, demiryolu hattının bozulma davranışı belirlenmeye çalışılır.

Demiryolu hattında BY faaliyetleri ile ilgili eşik belirlenmesinden sonra (Şekil 7.2’de ki yatay turuncu çizgi), hattın bozulmasını gösteren doğrunun BY eşiğine varacağı zaman (veya yük) hesaplanır. Hattın bozulmasını gösteren doğrunun eşik değerine ulaştığı kesimine uygun BY faaliyeti (örneğin buraj) yapılarak o kesimin kalite artışı gerçekleştirilir.



Şekil 7.2 Demiryolu hattının teorik bozulması ve alınan önlemler

Uygun BY faaliyetleriyle hattın kalitesi artırıldıktan sonra, hattın bozulma süreci tekrar başlar. Demiryolu hattının yaşlanmasıyla birlikte, zamanla bazı durumlar da değişecektir. Değişenlerden birisi demiryolu hattına yapılan BY faaliyetlerinin performansıdır. Yani Şekil 7.2’de görüldüğü gibi siyah çizgi ile gösterilen düşey yöndeki düşüşlerin derecesi her BY faaliyetinden sonra değişir. Şekil 7.2’de ki kesikli kırmızı çizgi BY faaliyetlerinde ki performansın zamanla olan değişimini daha açık bir şekilde göstermektedir. Demiryolu hattının yaşlanmasıyla ilgili değişen durumlardan diğeri ise bozulma oranıdır. Şekil 7.2’de α açısı değeri ile gösterilen

bozulma oranları zamanla değişir. Gittikçe BY faaliyetlerinin tekrarlanma süresi kısaltmaya başlar. Sonunda BY faaliyetlerinin sıklığı çok fazla olur. BY faaliyetlerine devam etmek ekonomik ve teknik yönden mantıklı olmaz. Bu sebeple demiryolu hattının yeniden yapılması gerekir (Guler, Jovanovic, 2004c; Guler ve diğ., 2004b).

7.2 Bozulma Modelinin Oluşturulmasında Gerekli Olan Temel Veriler

Demiryolu hattında meydana gelen her bir bozulma için belirli tipte verilere ihtiyaç duyulur. Aşağıda demiryolu hattının bozulmasını tahmin etmede kullanılan temel veriler sıralanmıştır (Guler, Jovanovic, 2004c; Guler ve diğ., 2004b):

1. Hat geometrisi ölçümleri (hattın eksenden sapması, nivelman, burulma, deyer, hat genişliği, kalite indeksleri, kusurların sayısı, diğer parametreler).
2. Kontroller ve ölçümler,
 - Genel durum,
 - Balastın durumu (yüzey soyulması %, pompaj şiddeti, balastta zararlı ot %),
 - Bağlantı malzemelerinin durumu (kusurlu %, eksik %),
 - Travers durumu (kusurlu %, orta düzeyde %, diğer durumlar)
 - Ray kusurları (kusur sayısı, kaynak bölgesi dışındaki kusur sayısı, kusur %),
 - Ray aşınması (ray mantarının düşey aşınması, ray mantarının yanıl aşınması, ray mantarında açılal bozukluk).

Özel verilerin yanında hatla ilgili genel veriler de vardır. Bu genel veriler altyapı verisi olarak adlandırılırlar.

1. Hat planı ve işletme,
 - Kurplar (Başlangıç, bitiş kilometreleri, developman, yarıçap gibi)
 - Yüklor (yıllık tonaj (megaton), en büyük dingil yükü (ton), verilerin geçerli olduğu tarihler),
 - Hızlar (yük ve yolcu vagonlarının hızları, hızların geçerli olduğu tarihler),
 - Eğimler (başlangıç, son ve değeri).
2. Sistem altyapısı,

- Altyapı (jeolojik durum, kontrol edilen parametreler),
 - Balast (balast tipi, poz tarihi, balast kalınlığı),
 - Traversler (travers tipi, traverslerin poz tarihleri, traverslerin yığışımli yükleri, travers aralığı, bağlantı tipi ve poz tarihleri),
 - Raylar (ray tipi, contalı olup olmadıkları, kaynak tipleri, poz tarihleri, yeni döşenen raylar ve yerleri, rayların yığışımli yükleri),
 - Sanat yapıları (yapının tipi, başlangıç son kilometreleri, kodları, isimleri),
 - Makaslar ve kesişmeler (makas tipi, kodu, adı, başlangıç son kilometreleri).
3. Geçmişte yapılan çalışmalar,
- Yenilemeler, taşıma ve buraj yapılan tarihler (başlangıç, son kilometreleri, tipi, maliyeti),
 - Hız sınırlamalarının tarihleri (geçici hız sınırlamalarının uygulandığı başlangıç son kilometreleri, azaltılan hız değeri, maliyetler),
 - Küçük bakımlar (tipi, tarihi, maliyeti).

7.2.1 Demiryolu hattının bakım ve yenilemesinde kullanılan önemli büyüklükler

Demiryolu hattına yapılan bakım ve yenileme çalışmalarında, bozulma modellerinin oluşturulmasında ve bakım yenileme programlarının hazırlanmasında kullanılacak uzunluk terimlerinin belirlenmesi ve tanımlanması çok önemlidir. Demiryolu hat bakım yenileme çalışmalarında kullanılan uzunluk terimleri ve bunların açıklamaları aşağıda özetlenmiştir (Ecotrack, 1998):

Ağ: Bir şebekedeki tüm demiryolu hatlarını ifade etmektedir. Ağ birden fazla yönetimsel birimlerden oluşabilir. Hattın toplam uzunluğu konusunda bir sınırlama yoktur.

Bölgeler (Yönetim birimleri): Bir ağda demiryolu hattı uzunluğunun bir kısmından oluşur. Her bir yönetim biriminin kendine özel teşkilatı ve ekibi vardır. Hatla ilgili BY faaliyetleri gibi işleri kendileri programlar ve uygularlar.

Alt bölgeler (Şeflikler): İki önemli istasyon arasında bulunan demiryolu hattı olarak ifade edilebilir. Bir şeflik bir veya birden çok hattı içerebilir. Ortalama olarak bir şeflik uzunluğu 100 ve 200 km arasındadır.

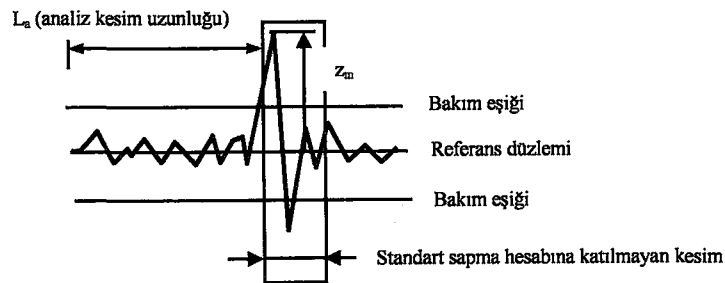
Analiz kesimleri: Hattın homojenlik gösterdiği uzunluk olarak ifade edilebilir. Uzunluğu hattın fiziksel yapısına ve o kesimle ilgili çalışma yapan mühendise bağlıdır. Ortalama analiz kesimi uzunluğu 100-200 m arasında olabilir.

Hat kesimi: Birbirine komşu bir dizi analiz kesiminin bir araya gelmesinden oluşur. Büyük bakım çalışmaları genelde hat kesimleri düzeyinde yapılır.

7.3 Demiryolu Hattında Meydana Gelen Bozulmaların Değerlendirilmesi

Demiryolu hattının bozulma derecesi belirlendikten sonra bu bozulma değerlerinin değerlendirilmesi yapılır. Bu değerlendirmeye ilgili iki yöntem aşağıda açıklanmıştır:

Standart sapma ve kalite indeksleri: Yol kontrol aracı ile elde edilen bozulma değerlerinin değerlendirilebilmesi için dalgalar halindeki bu değerlerin sayısallaştırılması gerekir. Demiryolu hattı durumuna bağlı olarak birim kesimlere bölünür. Bu birim kesimlerin uzunluğu 100-200 m arasında olabilir. Her bir birim kesimin yol kontrol aracıyla tespit edilen ve sayısal değerlere dönüştürülen bozulma derecesi standart değerlere dönüştürülür. Yani her bir birim kesimin bozulma değerlerinin standart sapması bulunur. Analiz kesimleri içinde bulunan ve bakım eşik değerlerini geçen bölgesel kusurlar standart sapma hesabına dahil edilmezler. Çünkü bakım sınırını aşan bu değerler derhal düzeltilmesi gereken değerlerdir ve tespit edildiği zamanda düzeltilirler. Şayet bu değerler standart sapma hesabına katılırlarsa hattın bozulma modellerinin oluşturulmasında yanlış sonuçlar elde edilebilir. Bu aşırı ve bölgesel olan kusurlar ancak makineli veya elle yapılan bakımlarda dikkate alınırlar (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Standart sapma hesabına katılmayan bölgesel kusurlar

Ancak standart değerlerin yorumlanması uzman olmayanlar için kolay olmayacağından bunlar kalite indekslerine (QI) dönüştürülürler. Standart sapma değerlerinin kalite indekslerine dönüştürülmesinde parametreler arasında mümkün

olan en iyi uygunluğu yakalayabilmek için üssel bir fonksiyon kullanılır. Demiryolu hattına verilecek en yüksek QI değeri önceden belirlenebilir. Genellikle standart değerlerinin kalite indekslerine dönüştürülmesinde aşağıdaki formülden yararlanılır (Guler, Jovanovic, 2004c; Guler ve diğ., 2004b; Esveld, 2001):

$$QI = 10 \left[\frac{QI_{80}}{10} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma_{80}}} \quad (7.1)$$

Öncelikle demiryolu hattının her bir birim kesimin standart sapması bulunur. Her bir birim kesimin %80'inin iyi, %20'sinin kötü koşulda olduğu kabul edilir. % 80'e karşılık gelen standart sapma değeri σ_{80} olarak ifade edilir. Demiryolu hattının bozulmasını temsil eden bu standart sapma değerlerinden σ_{80} üstüne çıkan %20'lik kesimlerin bozuk olduğu kabul edilir. Yukarıdaki formülde QI_{80} değeri yerine σ_{80} 'e karşılık gelen QI değeri verilir. Bu değerini seçimi tamamen keyfi olmakla beraber genellikle 6 olarak alınır. Yukarıda ki formülde $\sigma=0$ olursa yani yolun herhangi bir kesiminde hiç bir kusur yoksa, $QI=10$ değerini alır. Bu değer yolun alabileceği en yüksek değerdir. Şayet $\sigma=\sigma_{80}$ değerini alırsa yani yolun kusuru kabul edilebilir hata sınırındaysa $QI=6$ değerini alır. $QI=6$ anlamı; 6 değerinin altı kötü, 6 değerinin üstü iyi anlamına gelir.

Standart sapma ve pik değerlerin normalize edilmesi: Her bir birim kesim için elde edilen bozulma değerlerinin değerlendirilebilmesi için kullanılan diğer bir yöntem ise elde edilen standart sapma ve doruk değerlerin normalize edilmesidir. Bu yaklaşımda her bir birim kesim için elde edilen standart sapma değerleri ve doruk değerler uygun standart değerlere bölünürler Denk.(7.2), (7.3):

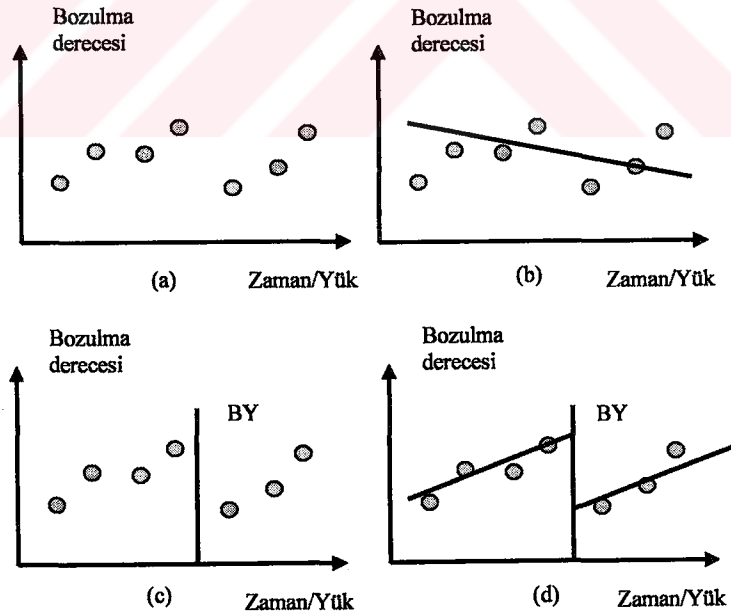
$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sigma_{norm}} \quad (7.2)$$

$$\bar{P} = \frac{P}{P_{norm}} \quad (7.3)$$

Şayet normalize edilmiş değerler 1'den küçükse demiryolu hattının durumunun iyi olduğu kabul edilir. Şayet 1'den büyük değerlere sahipseler BY faaliyetlerinin gerekli olduğu anlaşılır (Guler, Jovanovic, 2004c; Guler ve diğ., 2004b; Esveld, 2001).

7.3.1 Bozulmaların değerlendirilmesinde dikkate alınacak hususlar

Demiryolu hattından elde edilen ölçülmüş verilerle, hattın zamanla bozulmasını ve iyileşmesini görebilmek için bu verilerin zaman içindeki değişimlerini belirlememiz gerekir. Şekil 7.4 (a)'da hattın bir bozulma derecesi ile ilgili verinin zaman veya yük ile birlikte değişimi görülmektedir. Şekil 7.4 (b)'de görüldüğü gibi biz bu ölçülmüş bozulma değerinin değişimini bu şekilde gösterebiliriz. Şekil 7.4 (b)'de görülen mevcut veriler kullanılarak bir regresyon analizi yapıldığında negatif yönde bir bozulma oranı denklemi elde edilir. Ancak bu durum olması istenen ancak pratikte asla olmayacak bir belirlemedir. Çünkü demiryolu hattının zamanla iyileştiği görülmektedir. Bu sebeple analizleri yaparken tüm verilerin hesaba katılması gerekmektedir. Şekil 7.4 (c)'de görüldüğü gibi demiryolu hattına geçmişte yapılan BY faaliyetleri dikkate alınırsa daha tutarlı bir durum ortaya çıkmaktadır (Düşen yönde çizilen çizgiyle verilerin bölünmesi). Şekil 7.4 (d)'de görüldüğü gibi Şekil 7.4 (b)'den tamamen farklı olan ve gerçeğe daha yakın olan bir değerlendirme elde edilir. Bu şekilde iki ayrı analiz yapılır ve iki farklı pozitif yönde bozulma oranı denklemi elde edilir. Demiryolu hattıyla ilgili BY programları hazırlarken geçmişte yapılan BY faaliyetlerinin mutlaka analizlere dahil edilmesi gerekir (Guler, Jovanovic, 2004c; Guler ve diğ., 2004b).

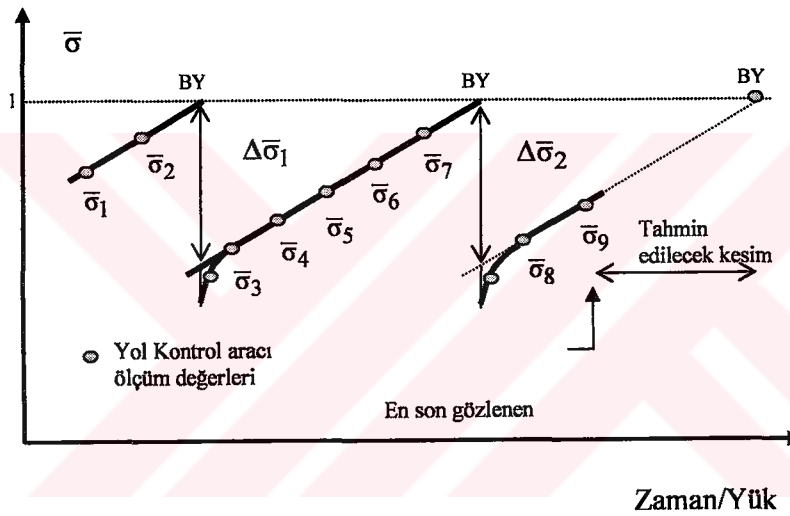


Şekil 7.4 Demiryolu hattına geçmişte yapılan BY faaliyetlerinin bilinmesinin önemi

Demiryolu hattının bozulma derecesi ve geçmişte yapılan BY faaliyetleri dikkate alınarak Şekil 7.4'te görüldüğü gibi gelecekle ilgili BY faaliyetlerinin tahmin edilmesi yapılır. Gelecekle ilgili kararların alınmasında demiryolu hattının geçmişteki kalite indeks değerleri veya standardize edilmiş değerleri kullanılır (Jovanovic, Korpanec, 2000).

7.3.2 Demiryolu hat kalitesinin belirlenmesi

Yol kontrol aracıyla ölçülen bozulma değerleri standardize edilmiş değerlere dönüştürüldükten sonra hattın ortalama kalitesini gösteren $\bar{\sigma}_A$, BY faaliyetlerinin ortalama verimini gösteren $\Delta\bar{\sigma}_{BY}$ ve demiryolu hattının ortalama bozulma oranını gösteren $\Delta\bar{\sigma}/\Delta t$ şu şekilde bulunabilir (Şekil 7.5) (Esveld, 1989):



Şekil 7.5 Normalize edilmiş standart sapma değerlerini kullanarak hat kalitesinin belirlenmesi

$$\bar{\sigma}_A = \frac{1}{N} [\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \dots + \bar{\sigma}_N] \quad (7.4)$$

$$\Delta\bar{\sigma}_{BY} = \frac{1}{N} [\Delta\bar{\sigma}_1 + \Delta\bar{\sigma}_2 + \dots + \Delta\bar{\sigma}_N] \quad (7.5)$$

$$\frac{\Delta\bar{\sigma}}{\Delta t} = \frac{1}{N} \left[\frac{\bar{\sigma}_2 - \bar{\sigma}_1}{T_2 - T_1} + \frac{\bar{\sigma}_3 - \bar{\sigma}_2}{T_3 - T_2} + \dots \right] \quad (7.6)$$

7.4 Hat Geometrisi Bozulmasının Modellenmesi

TCDD 1. bölgede bulunan çalışma güzergahı Arifiye-Eskişehir arasındaki 183,2 km uzunluğundaki demiryolu hattı kesimi, BY modelinin oluşturulması düşüncesiyle homojen kesimlere (analiz kesimlerine) bölünmüştür. Bu bölme işlemi yapılırken demiryolu hattının aşağıda sıralanan özellikler dikkate alınmıştır (Levi, D., 2004; Jovanovic, S., 2004):

1. Boyuna eğim (%),
2. Kurp durumu ve yarıçapı (m),
3. Dever durumu ve miktarı (mm),
4. Hızlar (km/sa),
5. Yaş (yıl),
6. Ray tipi (kg/m),
7. Ray uzunluğu (m),
8. Travers tipi.

Yukarıda sıralanan özelliklere uygun olarak, Arifiye-Eskişehir arasında 820 tane homojen kesim elde edilmiştir. Analiz kesimleri belirlendikten sonra, bozulma modelinde etkilerinin tespit edilmesi için Arifiye-Eskişehir arasındaki demiryolu hattı kesiminin aşağıda sıralanan çevresel koşulları da tespit edilmiştir:

1. Heyelan durumu,
2. Sel durumu,
3. Taş düşme,
4. Kar tutma.

Şekil 7.6'da analiz kesimlerinin özellikleri ve çevre koşullarının sayısal ortamda (Excel) hazırlanan veri tabanı görülmektedir.

TCDD 1. Bölge Müdürlüğü'nden Arifiye-Eskişehir arasındaki kesimin, demiryolu kontrol aracıyla (M-PV7 demiryolu kontrol aracı) tespit edilen 1995-2001 yıllarına ait toplam 14 dönemlik hat geometrisi verileri elde edilmiştir. Demiryolu kontrol aracının, bozulmaları sayısal ortamda kaydeden bilgisayarının bozuk olması sebebiyle, verilerin tümü kağıt bazlıydı. Kağıt bazlı bu verilerin sayısallaştırılması için çalışmalar yapılmıştır. Ancak kağıt bazlı verilerde ki bozulma eğrilerinin çözünürlüğünün çok düşük olması sebebiyle, tarama işlemi yaparak bunların özel programlarla izlenmesi mümkün olamamıştır. Bu çalışmanın dışında Jeodezi ve

Fotogrametre Mühendisliği Bölümü'ndeki sayısallaştırma aleti kullanılarak bu veriler sayısal ortama aktarılmaya çalışılmıştır. Ancak bu işlemde çok zaman alıcı ve zor olduğundan gerçekleştirilememiştir. Bu sebeple 14 dönemlik ölçüm değerleri tek tek incelenerek hat geometrisinde (burulma, hat genişliği, hattın eksenden sapması, dever ve nivelman için ayrı ayrı) sadece bozulma görülen kesimler sayısal ortama aktarılmıştır. TCDD'nin BY çalışmaları için kullandığı eşik değerler esas alınarak her bir parametrenin hangi değerde bozulduğuna karar verilmiştir. Tablo 7.1'de TCDD'de kullanılan hat geometrisine ait eşik değerler görülmektedir.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
ID	İstasyon	Bağımlı 9 Km	Son Km	Uzunluk (m)	Eğim (‰)	Tan gıp (m)	Dever (mm)	Hz Yönel (km/ha)	Hz Yöl (km/ha)	Poz gı	Ray genişliği (m)	Ray tipi (light)	Yavaşlama	Heyelan	Sol	Kar	Taş	B
1																		
2	1	321.844	321.870	430	1.340			30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	0	0	0	
3	2	321.970	322.060	90	1.340	400	130	30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	0	0	0	
4	3	322.060	322.793	733	3.300	490	130	30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	0	0	0	
5	4	322.793	322.880	87	3.300			30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	0	0	0	
6	5	322.880	323.376	496	3.000			30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	0	0	0	
7	6	323.376	323.850	474	0.500			30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	0	0	0	
8	7	323.850	324.000	150	0.000			30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	1	0	0	
9	8	324.000	324.276	276	3.000			30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	1	0	0	
10	9	324.276	324.500	224	0.000			30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	1	0	0	
11	10	324.500	324.600	100	4.000			30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	1	0	0	
12	11	324.600	324.800	200	1.000			30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	1	0	0	
13	12	324.800	325.200	400	2.600			30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	1	0	0	
14	13	325.200	325.276	76	1.400			30	65	1976	UKF1	49.050	Betonarme	0	0	0	0	
806	804	307.291	307.490	217	1.000	850.35	115	120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
808	805	307.490	307.790	300	0.000			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
807	806	307.790	308.025	235	1.100			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
809	807	308.025	308.800	775	1.600			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
808	808	308.800	309.216	416	0.000	2035	55	120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
810	809	309.216	309.498	282	0.000			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
811	809	309.498	309.855	357	1.000			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
812	811	309.855	309.855	0	0.000			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
813	812	309.855	310.217	362	1.000	850	115	120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
814	813	310.217	310.808	591	1.000			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
815	814	310.808	311.068	260	0.000			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
816	815	311.068	311.230	162	0.000			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
817	816	311.230	311.630	400	1.000			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
818	817	311.630	311.940	310	3.000			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
819	818	311.940	312.140	200	2.800			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
820	819	312.140	312.485	345	3.200			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	
821	820	312.485	313.431	946	3.000			120	65	1994	958	49.430	Betonarme	0	0	0	0	

Şekil 7.6 Analiz kesimlerinin sayısal ortamda veri tabanı

Tablo 7.1 TCDD de kullanılan BY eşik tablosu

Hız (km/sa)	Tumara Değerler	Nivelman (mm)	Burulma (‰)	Hat genişliği (mm)	Dever (mm)	Eksenden sapma (mm)
		Eksen/Ekoya	Referans/Ekoya	Referans/Ekoya	Referans/Ekoya	Eksen/Ekoya
>140	Mutafa Edilmesi Gereken Değerler	10.5	2.0	8.5	6.5	10.5
	Contalardaki değerler	14.5	3.0	10.5	8.0	14.5
>80 ve ≤ 140	Mutafa Edilmesi Gereken Değerler	12.5	2.0	10.5	7.0	12.5
	Contalardaki değerler	16.5	3.0	20.5	8.5	16.5
≤ 80	Mutafa Edilmesi Gereken Değerler	16.5	2.0	20.5	10.0	16.5
	Contalardaki değerler	22.5	3.5	30.0	13.0	22.5

Bozulma değerlerinin analiz kesimlerine aktarılması için bir program yazılmıştır. Yazılan program sayesinde altı aylık dönemlerde demiryolu kontrol aracıyla yapılan toplam 14 dönemlik hat geometrisi ölçümlerinin veri tabanı oluşturularak aşağıdaki $[B]_{820 \times 14}$ bozulma matrisi elde edilmiştir. Burada B_i 'ler milimetre cinsinden bozulma değerlerine karşılık gelmektedir (820 hat kesim sayısı, 14 ise ölçüm sayısını göstermektedir).

$$[B_i]_{820 \times 14} = \begin{bmatrix} B_{i11} & B_{i12} & B_{i13} & \dots & B_{i114} \\ B_{i21} & B_{i22} & B_{i23} & \dots & B_{i214} \\ B_{i31} & B_{i32} & B_{i33} & \dots & B_{i314} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ B_{i8201} & B_{i8202} & B_{i8203} & \dots & B_{i82014} \end{bmatrix} \quad (7.7)$$

Altı aylık bozulma değerleri analiz kesimlerinin bozulma oranlarının tespit edilmesinde yetersiz kalmıştır. Çünkü demiryolu hattına yapılan BY çalışmalarından dolayı hatta iyileşmeler meydana gelmiştir.

Demiryolu kontrol aracının ölçüm sonuçlarının hattın bozulma oranı ve derecesi hakkında bir fikir verememesinden dolayı, incelenen dönemlerde demiryolu hattına yapılan BY çalışmaları tespit edilmeye çalışılmıştır. Arifiye-Eskişehir arasındaki kesim TCDD 1. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı merkezi Bilecik'te bulunan 12. Şube şefliğine bağlıdır. 12. Bölge Şefliği ise dört kısımdan oluşmaktadır. Bilecik'te 12. Şube Şefliği ve kısım şeflikleriyle yapılan çalışmalar sonucu Arifiye-Eskişehir arasındaki hat kesimine 1995-2001 yılları arasında gerçekleştirilen toplam 84 aylık BY çalışmaları tespit edilmiştir. Demiryolu hattına yapılan BY çalışmaları birimleriyle birlikte Tablo 7.2'de gösterilmiştir.

Tablo 7.2 Demiryolu hattına yapılan BY çalışmaları

No	BY Çalışmaları	Birimi
1	Terfi Tanzim Buraj (elle)	m
2	Makineli Buraj	m
3	Küçük Malzeme Bakımı	adet
4	Küçük Malzeme Değiştirme	adet
5	Travers Değiştirme	adet
6	Ray Değiştirme	adet
7	Ray Kaynağı ve UKR Çalışması	adet
8	Ray Göbek Dolgu Kaynağı	adet
9	Plastik Dülbel Değiştirme	adet
10	Plastik Selet ve Yükstük Tebdili	adet
11	Eski Balastın Elenmesi ve Platform Tanzimi	m
12	Makineli Yol Elemesi	m

Elde edilen BY çalışmalarının tümü kağıt bazlıydı. Bu verilerin analizlerde kullanılabilmesi için sayısal ortama aktarılmaları gerekmekteydi. Yapılan BY çalışmalarının uygun olan analiz kesimine aktarılması için bir program yazılmıştır. Bu program kullanılarak BY çalışmalarının Tablo 7.2'de görülen kodları sayısal ortama aktarılmıştır. Elde edilen BY çalışmalarının veri tabanı Şekil 7.7'de görülmektedir.

zamanda bozuk olduğu kabul edilmiştir. Tablo 7.1’de ki BY eşik tablosu esas alınarak, her bir hat geometri parametresinin bozuk olduğunun kabul edildiği BY çalışmalarının olduğu döneme, bozulma değerleri bir program yazılarak atanmıştır. Yazılan program kullanılarak, altı aylık dönemlerde demiryolu kontrol aracıyla elde edilen toplam 14 dönemlik hat geometrisi ölçümlerinden ve 84 aylık dönemde BY çalışmalarından elde edilen bozulma değerlerinden bir veri tabanı oluşturularak aşağıdaki $[B_i]_{820 \times 84}$ bozulma matrisi elde edilmiştir. Burada B_i ’ler milimetre cinsinden bozulma değerlerine karşılık gelmektedir.

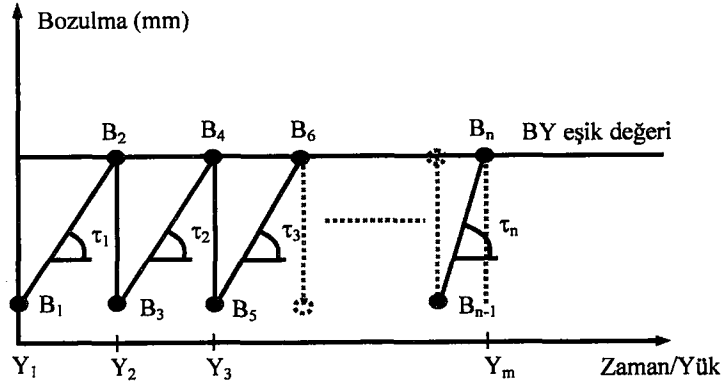
$$[B_i]_{820 \times 84} = \begin{bmatrix} B_{i11} & B_{i12} & B_{i13} & \dots & B_{i184} \\ B_{i21} & B_{i22} & B_{i23} & \dots & B_{i284} \\ B_{i31} & B_{i32} & B_{i33} & \dots & B_{i384} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ B_{i8201} & B_{i8202} & B_{i8203} & \dots & B_{i82084} \end{bmatrix} \quad (7.8)$$

Her bir hat geometrisi parametresi için bozulma değerleri belirlendikten sonra bozulma oranlarının tespit edilmesi aşamasına geçilmiştir. Bozulma oranlarının belirlenmesi için çalışma güzergahından geçen trafiğin yığışımly yükleri 2001 yılına kadar tespit edilmiştir. Analiz kesimlerine ait her bir hat geometrisi parametreleri için Şekil 7.8’de görüldüğü gibi bozulma doğrularının eğiminden bozulma oranları tespit edilmiştir.

$$\tau_{ij} = \frac{B_j - B_i}{Y_j - Y_i} \quad (7.9)$$

Bozulma oranları belirlendikten sonra, analiz kesimlerinin her bir hat geometri parametresi için 1995-2001 yılları arasında toplam 84 aylık ortalama bozulma oranları tespit edilmiştir.

$$\bar{\tau}_i = \frac{\sum_{ij} \tau_{ij}}{N} \quad (7.10)$$



Şekil 7.8 Bozulma oranlarının tespit edilmesi

Sonuç olarak analiz kesimlerinin her bir parametresi için $[\bar{\tau}_i]_{820 \times 1}$ bozulma oranı matrisi elde edilmiştir.

$$[\bar{\tau}_i]_{nx1} = \begin{bmatrix} \tau_{i1} \\ \tau_{i2} \\ \tau_{i3} \\ \vdots \\ \tau_{in} \end{bmatrix}_{nx1} \quad (7.11)$$

Bozulma oranlarının ve ortalama bozulma oranlarının tespit edilmesi için bir program yazılmıştır.

7.4.1 Çok değişkenli istatistiksel analiz

Regresyon çözümlemesinin genel amacı; bağımlı değişken ile bağımsız değişken(ler) arasındaki ilişkiyi matematiksel modelle açıklayarak bağıntılar bulmak ve bağımsız değişken(ler) yardımı ile bağımlı değişkeni kestirmek şeklinde özetlenebilir. Bir bağımlı ve bir bağımsız değişkenin olduğu regresyon çözümlemesinde matematiksel bir model yardımıyla ilişkinin biçimi ortaya konarak, bilinen (ya da kolay elde edilen) bağımsız x değişkeni değeri, yardımıyla bilinmeyen (ya da elde edilmesi zor olan) y bağımlı değişkeni değeri kestirilebilir. Dolayısıyla, regresyon çözümlemesinin amaçlarından biri kestirimdir (Reha, 2003; Ercan, 1997; Özdamar, 1999).

Çalışmaların çoğunda ise bağımlı değişkeni etkileyen birden çok bağımsız değişken söz konusudur. Bu durumda, çoklu regresyon çözümlemesi gündeme gelmektedir. Çoklu regresyon çözümlemesi yardımıyla; bir bağımlı değişken ile birden çok

bağımsız değişken arasındaki ilişkiler matematiksel modellerle incelenir ve bağıntılar kurulur. Elde edilecek matematiksel modelin (regresyon denkleminin) iki önemli amacı (Reha, 2003; Ercan, 1997; Özdamar, 1999);

1. Bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişkeni kestirmek,
2. Bağımsız değişkenlerden hangisi ya da hangilerinin bağımlı değişkeni daha çok etkilediğini bulmak ve aralarındaki karmaşık yapıyı tanımlamak, olarak verilebilir.

Bu çalışmada demiryolu hat geometrisinin bozulma modelinin belirlenmesinde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler aşağıda sıralanmıştır:

1) Bağımlı değişken,

τ = Bozulma oranı (mm/ton),

2) Bağımsız değişkenler,

x_1 = Yığılımlı yük (milyon ton),

x_2 = Hız (km/sa),

x_3 = Eğrilik (1000/R),

x_4 = Boyuna eğim (%o),

x_5 = Dever miktarı (mm),

x_6 = Travers tipi (betonarme, ahşap),

x_7 = Ray tipi (49.050 kg/m, 49.430 kg/m),

x_8 = Ray uzunluğu (UKR(uzun kaynaklı ray), diğer uzunluklar),

x_9 = Taş düşme,

x_{10} = Heyelan,

x_{11} = Kar,

x_{12} = Sel.

Regresyon çözümlemesinde, bağımsız değişkenler sürekli ve kesikli sayısal veri tipinde olabildiği gibi sıralı (ordinal) ya da nitelik (nominal) tipinde de olabilmektedirler. Bu gibi nitelik tipteki bağımsız değişkenleri göstermelik değişken (dummy variable) şekline dönüştürerek modele katmak olanaklıdır. Bu çalışmada kullanılan travers tipi (Betonarme, ahşap), ray tipi (49.050 kg/m, 49.430 kg/m), sel baskını, taş düşme, heyelan durumu ve kar tutan bölgeler gibi nitel veriler aşağıda gösterildiği gibi göstermelik değişkenlere dönüştürülmüştür.

x_6 = Travers tipi ("0" = betonarme, "1" = ahşap),

x_7 = Ray tipi (“0” = 49.050 kg/m, “1” = 49.430 kg/m),
 x_8 = Ray uzunluğu (“0” = Diğer, “1” = UKR),
 x_9 = Taş düşme (“0” = Yok, “1” = Var),
 x_{10} = Heyelan (“0” = Yok, “1” = Var),
 x_{11} = Kar (“0” = Yok, “1” = Var),
 x_{12} = Sel baskını (“0” = Yok, “1” = Var).

Bu çalışmada, merkezi Şikago’da bulunan ve 1967 yılında kurulmuş olan SPSS şirketi tarafından geliştirilmiş SPSS 12.0 versiyonlu istatistik programı kullanılmıştır. Yapılan istatistik analizlere ilişkin ayrıntılar Ek A’da açıklanmıştır.

7.4.2 Elde edilen regresyon modelinin değerlendirilmesi

Her bir hat geometri parametresi için Bölüm 7.4.1’de açıklanan adımlar izlenmiş ve sonuç istatistik modeli adımsal regresyon analiziyle elde edilmiştir. Her bir geometri parametresi için yapılan çoklu regresyon analizlerinin ayrıntıları Ek A ve Ek F arasındaki bölümlerde verilmiştir. SPSS istatistik programı kullanılarak yapılan istatistik analizler aşağıda özetlenmiştir:

1. Korelasyon matrislerinin incelenmesi,
2. İlk çoklu regresyon analizi,
 - a) Çoklu belirtme katsayılarının hesaplanması,
 - b) Varyans analizi (ANOVA),
 - c) Bağımsız değişkenlerinin anlamlılık analizi,
3. Saçılım grafiklerinin incelenmesi,
4. İlk adımsal çoklu regresyon analizi,
 - a) Çoklu belirtme katsayılarının hesaplanması,
 - b) Varyans analizi (ANOVA),
 - c) Bağımsız değişkenlerinin anlamlılık analizi,
5. Etkili ve etkisiz gözlemlerin belirlenmesi için gözlem istatistikleri ve gözlem analizlerinin yapılması,
 - a) Artıklar,
 - b) Standardize edilmiş artıklar,
 - c) Student türü artıklar,
 - d) Mahalanobis uzaklığı,
 - e) DFBETA değerleri,
 - f) Cook uzaklığı,

- g) DFFIT değerleri,
- h) Kovaryans oranları,
- 6. Çoklu bağıntının belirlenmesi,
 - a) Bağımsız değişkenlere ilişkin korelasyon katsayılarının incelenmesi,
 - b) Varyans şişme faktörleri,
 - c) Koşul indeksleri,
 - d) Varyans ayrışım oranları,
- 7. Son adımsal çoklu regresyon analizi,
 - a) Çoklu belirtme katsayılarının hesaplanması,
 - b) Varyans analizi (ANOVA),
 - c) Bağımsız değişkenlerinin anlamlılık analizi.

Değişkenler arasındaki korelasyon matrisleri incelendiğinde, eğrilik ve dever arasında 0.879 gibi çok yüksek bir korelasyonun olduğu tespit edilmiştir. Bu yüksek korelasyon, her iki bağımsız değişkenin aynı anda analizlerde yer almasının anlamlı olmadığını ifade etmektedir. Her bir hat geometri parametresi için oluşturulan korelasyon matrisleri Ekler (Ek B ile Ek F arası) bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tüm bağımsız değişkenler analize dahil edilerek ilk çoklu regresyon analizi yapılmış ve elde edilen regresyon modeli bazı hipotez testleriyle kontrol edilmiştir. Varyans analizi yapılarak, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olup olmadığı test edilmiştir. Bu amaç için F testi kullanılmış ve anlamlı sonuçlar bulunmuştur. Elde edilen regresyon modellerinde ki bağımsız değişkenlerin anlamlılık düzeyleri Student test ile kontrol edilmiş ve parametrelerin çoğu anlamlı bulunmuştur. Her bir geometri parametresi için gerçekleştirilen ilk çoklu regresyon analiz sonuçları Ekler bölümde (Ek B-Ek F) ayrıntılı olarak verilmiştir. Tablo 7.4'te ilk çoklu regresyon analizi sonuçları özetlenmiştir.

Bağımlı değişken ve her bir bağımsız değişken arasında ki saçılım grafikleri teker teker çizilmiştir. Aynı zamanda bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ki saçılım grafikleri matris formda da çizilmiştir. Bu saçılım grafikleri ayrıntılı bir şekilde Ekler bölümünde verilmiştir. Saçılım grafikleri incelenerek bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğuna karar verilmiştir.

En iyi regresyon denklemini elde etmek için ilk adımsal çoklu regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. İlk adımsal çoklu regresyon analizinde varyans analizi sonuçları

anamlı bulunmuştur. Bağımsız değişkenlerin regresyon modelinde anlamlıkları kontrol edilmiş ve tümü anlamlı bulunmuştur. Gerçekleştirilen ilk adımsal regresyon analizinde her bir parametrede modele katılmayan bağımsız değişkenler Tablo 7.5'te özetlenmiştir. İlk adımsal çoklu regresyon analizine ait ayrıntılı sonuçlar Ekler (Ek B-Ek F) bölümünde verilmiştir. Tablo 7.6'da ise ilk adımsal regresyon analizi model sonuçlar özetlenmiştir.

Tablo 7.4 İlk çoklu regresyon analizine ait model özeti

Parametreler	Katsayılar	KT	Sd	KO	F	p	R ²
Burulma	Regresyon	6,501.665	12	541.805	78.590	0.000	0.539
	Artıklar	5,563.538	807	6.894			
	Toplam	12,065.203	819				
Hat genişliği	Regresyon	86,518.794	12	7,209.899	124.867	0.000	0.650
	Artıklar	46,596.779	807	57.741			
	Toplam	133,115.572	819				
Eksenden sapma	Regresyon	44,792.691	12	3,732.724	111.594	0.000	0.624
	Artıklar	26,993.511	807	33.449			
	Toplam	71,786.202	819				
Dever	Regresyon	7,849.026	12	654.086	70.913	0.000	0.716
	Artıklar	3,108.415	337	9.224			
	Toplam	10,957.441	349				
Nivelman	Regresyon	36,977.452	12	3,081.454	104.445	0.000	0.608
	Artıklar	23,809.018	807	29.503			
	Toplam	60,786.470	819				

Tablo 7.5 İlk adımsal çoklu regresyon analizinde modele dahil edilmeyen değişkenler

No	Bozulma Tipi	Modele katılmayan değişkenler
1	Burulma	Heyelan, Kar, Ray tipi
2	Hat Genişliği	Heyelan, Kar, Dever
3	Eksenden sapma	Heyelan, Kar, Dever
4	Dever	Heyelan, Kar, Dever, Eğim
5	Nivelman	Heyelan, Kar, Dever, Travers tipi

İlk adımsal çoklu regresyon analizi gerçekleştirildikten sonra, etkili ve etkisiz gözlemlerin belirlenmesi için gözlem istatistikleri ve gözlem analizleri yapılmıştır. Standardize edilmiş artıklar, Student türü artıklar ve Mahalanobis uzaklığı aykırı (etkisiz) gözlemlerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Etkisiz gözlemler belirlendikten sonra bu gözlemlerin bazı değişkenler üzerinde etkili gözlemler olup olmadıkları DFBETA, Cook uzaklığı, DFFITs ve Kovaryans Oranları testleriyle kontrol edilmiştir. Gözlem istatistikleri ve gözlem analizleriyle ilgili yapılmış olan çalışmalar Ekler bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir. Tablo 7.7'de her bir hat geometri parametresinde aykırı gözlemlerin sayısı verilmiştir.

Tablo 7.6 İlk adımsal çoklu regresyon analizi model özeti

Parametreler	Katsayılar	KT	Sd	KO	F	p	R ²
Burulma	Regresyon	6,476.448	9	719.605	104.295	0.000	0.537
	Artıklar	5,588.755	810	6.900			
	Toplam	12,065.203	819				
Hat genişliği	Regresyon	86,361.430	9	9,595.714	166.243	0.000	0.649
	Artıklar	46,754.142	810	57.721			
	Toplam	133,115.572	819				
Eksenden sapma	Regresyon	44,670.017	9	4,963.335	148.262	0.000	0.622
	Artıklar	27,116.185	810	33.477			
	Toplam	71,786.202	819				
Dever	Regresyon	7,800.013	8	975.002	105.299	0.000	0.712
	Artıklar	3,157.428	341	9.259			
	Toplam	10,957.441	349				
Nivelman	Regresyon	36,811.259	8	4,601.407	155.650	0.000	0.606
	Artıklar	23,975.211	811	29.563			
	Toplam	60,786.470	819				

Tablo 7.7 Aykırı gözlemlerin sayısı

No	Bozulma Tipi	Aykırı gözlem sayısı
1	Burulma	42
2	Hat Genişliği	35
3	Eksenden sapma	36
4	Dever	18
5	Nivelman	45

İlk adımsal çoklu regresyon analizi, gözlem istatistikleri ve gözlem analizlerinden sonra bağımsız değişkenler arasında çoklu bağıntının olup olmadığı araştırılmıştır. Öncelikli olarak değişkenler arasında korelasyon matrisleri incelenmiş ve dever ile eğrilik yarıçapı arasında yüksek bir korelasyonun olduğu tespit edilmiştir. Dever değişkeninin bağımlı değişkenle yapmış olduğu korelasyonun eğrilik yarıçapına göre daha düşük olmasından dolayı analizlere dahil edilmemesine karar verilmiştir. Daha sonra varyans şişme faktörleri (VIF_i) incelenmiş ve 5'in altında bir değer tespit edilmemiştir. Üçüncü olarak her bir değişken için durum indeksleri incelenmiş ve 30'u aşan değer bulunamamıştır. Son olarak varyans ayrışım oranları incelenmiş ve tümünün 0.9'un altında olduğu belirlenmiştir. Bu analizlerle ilgili olarak yapılmış ayrıntılı çalışmalar Ekler (Ek B-Ek F) bölümünde verilmiştir.

Yukarıda sıralanan analizler gerçekleştirildikten sonra sonuç adımsal çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Sonuç adımsal çoklu regresyon analizine ilişkin ayrıntılar Ekler (Ek B-Ek F) bölümünde verilmiştir. Tablo 7.8'de sonuç adımsal çoklu regresyon analizine ait model özeti görülmektedir. Tablo 7.9 ve Tablo 7.10'da

ise değişkenlerin regresyon katsayıları ve anlamlılıkları t değerleri ile birlikte özetlenmiştir.

Tablo 7.8 Sonuç adimsal çoklu regresyon analizine ait model özeti

Parametreler	Katsayılar	KT	Sd	KO	F	p	R ²
Burulma	Regresyon	6,348.462	8	793.558	159.778	0.000	0.624
	Artıklar	3,819.327	769	4.967			
	Toplam	10,167.789	777				
Hat genişliği	Regresyon	84,829.189	9	9,425.465	219.629	0.000	0.718
	Artıklar	33,259.424	775	42.915			
	Toplam	118,088.613	784				
Eksenden sapma	Regresyon	43,131.037	9	4,792.337	194.980	0.000	0.694
	Artıklar	19,023.886	774	24.579			
	Toplam	62,154.924	783				
Dever	Regresyon	7,519.720	8	939.965	139.315	0.000	0.775
	Artıklar	2,179.290	323	6.747			
	Toplam	9,699.009	331				
Nivelman	Regresyon	35,058.054	8	4,382.257	207.073	0.000	0.684
	Artıklar	16,210.728	766	21.163			
	Toplam	51,268.782	774				

Tablo 7.9 Burulma ve hat genişliği analiz sonuçları

Değişkenler	Burulma			Hat genişliği		
	b ₁	t	p	b ₁	t	p
X ₁ (Yığışımli yük)	-0.049	-15.969	0.000	-0.076	-6.528	0.000
X ₂ (Hız)	-0.078	-14.612	0.000	-0.258	-16.054	0.000
X ₃ (Eğrilik)	0.25	3.889	0.000	0.958	5.094	0.000
X ₄ (Boyuna eğim)	0.096	7.073	0.000	0.305	7.572	0.000
X ₅ (Dever)	-	-	-	-	-	-
X ₆ (Travers tipi)	-1.704	-4.098	0.000	3.454	2.520	0.012
X ₇ (Ray tipi)	-	-	-	5.478	5.775	0.000
X ₈ (Ray uzunluğu)	-3.456	-11.445	0.000	-6.029	-6.081	0.000
X ₉ (Taş düşme)	1.284	4.85	0.000	3.161	4.097	0.000
X ₁₀ (Heyelan)	-	-	-	-	-	-
X ₁₁ (Kar)	-	-	-	-	-	-
X ₁₂ (Sel)	1.534	8.788	0.000	4.624	9.042	0.000
Sabit	22.866	31.494	0.000	53.565	20.404	0.000

Tablo 7.9 ve 7.10’da görüldüğü gibi çevresel faktörlerden heyelan ve karın hiçbir geometri parametresinin bozulma oranı üzerine etkisi yoktur. Ancak sel ve taş düşmenin etkisinin olduğu görülmektedir ve işaretleri pozitiftir. Yani bozulma oranını artırıcı etkileri vardır. Ekler (Ek B-Ek F) bölümünde sel ve taş düşmesinin

bozulma oranlarıyla olan korelasyon matrisi incelendiğinde ilişkinin pozitif olduğu görülmektedir.

Tablo 7.10 Eksenden sapma, dever ve nivelman analiz sonuçları

Değişkenler	Eksenden sapma			Dever			Nivelman		
	b _i	t	p	b _i	t	p	b _i	t	p
X ₁ (Yığılımlı yük)	-0.043	-4.836	0.000	-0.056	-9.734	0.000	-0.105	-16.47	0.000
X ₂ (Hız)	-0.17	-14.00	0.000	-0.153	-13.34	0.000	-0.22	-19.91	0.000
X ₃ (Eğrilik)	0.901	6.318	0.000	1.298	6.763	0.000	0.507	3.806	0.000
X ₄ (Boyuna eğim)	0.226	7.417	0.000	0.084	3.651	0.000	0.201	7.135	0.000
X ₅ (Dever)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₆ (Travers tipi)	2.335	2.269	0.020	-3.772	-4.828	0.000	-2.734	-3.163	0.002
X ₇ (Ray tipi)	4.751	6.646	0.000	-	-	-	-	-	-
X ₈ (Ray uzunluğu)	-4.914	-6.585	0.000	-5.879	-9.406	0.000	-6.196	-9.926	0.000
X ₉ (Taş düşme)	2.019	3.476	0.000	1.67	4.001	0.000	2.856	5.214	0.000
X ₁₀ (Heyelan)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₁₁ (Kar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₁₂ (Sel)	3.208	8.353	0.000	1.91	6.2	0.000	3.238	8.947	0.000
Sabit	37.92	19.136	0.000	31.67	19.222	0.000	51.55	34.302	0.000

Eğrilik yarıçapı ve boyuna eğimin tüm hat geometrisi parametrelerinin bozulma oranı üzerine etkisi olduğu görülmektedir ve işaretleri pozitifdir. Her iki bağımsız değişkeninde bozulma oranını artırıcı etkileri vardır. Ekler (Ek B-Ek F) bölümünde eğrilik ve boyuna eğimin bozulma oranlarıyla olan korelasyon matrisleri ve saçılım grafikleri incelendiğinde ilişkinin pozitif olduğu görülmektedir.

Dever miktarının hattın düşey geometri parametrelerinin bozulma oranları üzerinde bir etkisi vardır ve işareti negatiftir. Oysa korelasyon matrisi incelendiğinde deverin bozulma oranıyla zayıfta olsa pozitif bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca eğrilikle dever arasında 0.879 gibi çok yüksek bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Bu sebeple analizlere deveri katmak anlamlı değildir. Burulma ve nivelman bozulmalarında deverin etkin görülmesine karşılık, adımsal regresyonda deverin olmadığı ve en yüksek belirtme katsayısına sahip model tercih edilmiştir.

Travers tipinin bozulma oranına etkisinin olduğu ancak bazı parametrelerde pozitif bazılarında ise negatif işarete sahip olduğu görülmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi, "0" betonarme traversi, "1" ise ahşap traversi temsil etmektedir. Tablo 7.9 ve

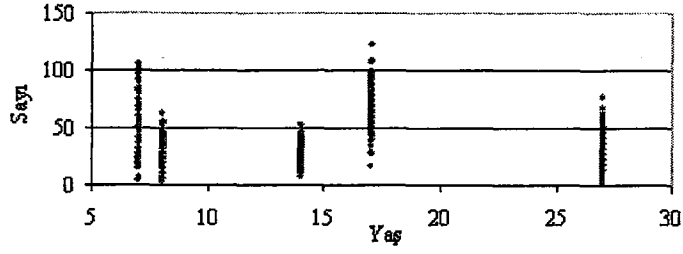
7.10'da görüldüğü gibi hattın düşey geometri parametrelerinde yani burulma, dever ve nivelman üzerinde ahşap traversin bozulma oranlarını azaltıcı bir etkisi görülmektedir. Yatay geometri parametreleri yani hat genişliği ve eksenden sapma üzerinde ahşap traversin bozulma oranlarını artırıcı etkisi görülmektedir. Bu durumda ahşap traverslerin düşey yük altında iyi esneme yaptığı ancak yatay kuvvetlere karşı iyi direnç sağlamadığı söylenebilir.

Ray tipinin yatay geometri parametreleri üzerine bir etkisi olduğu görülmektedir. İncelenen hat kesiminde kullanılan ray tipi daha önce belirtildiği gibi iki tanedir. 49.050 kg/m ray yerine 49.430 kg/m ray tipi kullanılması durumunda yatay geometri parametrelerinin bozulma oranları artmaktadır.

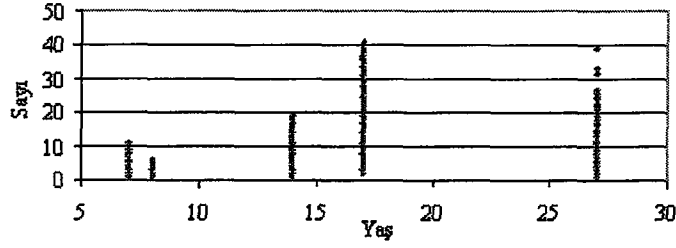
Ray uzunluğunun tüm hat geometrisi parametreleri üzerinde bir etkisi olduğu görülmektedir ve işareti negatiftir. UKR ray kullanılması durumunda bozulma oranı azalmaktadır.

Tablo 7.9 ve Tablo 7.10'da görüldüğü gibi yığışimli yük ve hız bağımsız değişkenlerinin bozulma oranları üzerinde bir etkisi vardır ancak beklenilmediği gibi negatif değere sahiptirler.

Yığışimli yükün katsayısının negatif olması yükün artmasıyla birlikte bozulma oranının azaldığı anlamına gelmektedir. Bu negatif değerın açıklanabilmesi için incelenen demiryolu hattı kesimine yapılan BY çalışmalarının dikkate alınması gerekmektedir. Ek G bölümünde, incelenen hat kesimine 1995-2001 yılları arasında yapılan tüm BY çalışma sayıları hattın yaş durumuna göre belirlenmiştir. Terfi tanzim buraj, makineli buraj, küçük malzeme bakımı, ray göbek dolgu kaynağı yani 1, 2, 3 ve 8 numaralı bakım (B) çalışmalarının toplam sayısının hattın yaşıyla değişimi grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 7.9). Küçük malzeme değiştirme, travers değiştirme, ray değiştirme, ray kaynağı-UKR çalışması, plastik selet ve yüksük tebdili, eski balastın elenmesi-platform tanzimi, makineli yol elemesi yani 4,5,6,7,9,10,11 ve 12 numaralı yenileme (Y) çalışmalarının toplam sayısının hattın yaşıyla değişimi de grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 7.10). Her iki grafikte incelendiğinde, incelenen hat kesiminde yenileme sayısının arttığı ancak bakım sayısının azaldığı görülmektedir. Bu sebeple demiryolu hattının bozulma oranı yenilemelerin etkisiyle azalmaktadır. Bulunan bozulma modeli aynı zamanda TCDD'nin bir bakıma BY politikasını da göstermektedir.



Şekil 7.9 Toplam bakım çalışması sayısı



Şekil 7.10 Toplam yenileme çalışması sayısı

Bulunan modelde yine aynı şekilde hız bağımsız değişkeninin katsayısı da beklenilmediği gibi negatif bir değere sahiptir. İncelen hat kesiminde yolun düz giden kesimlerinde ya da büyük yarıçaplı kurplarda hızlar yüksektir. Dolayısıyla hızın yüksek olduğu bu kesimlerde hatta çok büyük yatay ve düşey yükler etkimemektedir. Bu sebeple hızın işaretinin negatif olması bozulmanın az olduğu düz (alignman) kesimleri göstermektedir. Bir başka deyişle, bu analizlerde yer alan hız değişkeni bilinen anlamda hız olarak değil de yolun hizmet düzeyini gösteren bir değer olarak analizlerde yer almıştır. Burada hız değişkeni demiryolu hattında bulunan köprü, menfez, makas, kesişim, istasyon, altyapı, üstyapı ve çevresel koşullar gibi durumları da yansıtmaktadır. Çünkü, bir demiryolu hattında işletim hızı belirlenirken yukarıda sıralan tüm parametreler dikkate alınır. Hızın etkisinin bozulma oranı üzerine olan etkisinin belirlenebilmesi için aynı kesim üzerinde farklı hızlarda (ΔV) tespit edilen bozulmaların incelenmesi gerekir.

Bu çalışmada hız değişkeninin gerçek anlamda analizlere katılamamasından dolayı, hız değişkeni göz ardı edilerek çok değişkenli istatistik analiz yeniden yapılmıştır. Bulunan sonuçlar Tablo 7.11, Tablo 7.12 ve Tablo 7.13'te özetlenmiştir. Hız değişkeninin analizlere dahil edilmediği çalışmada Tablo 7.11'de görüldüğü gibi varyans analizi tüm parametrelerde anlamlı bulunmuş ancak daha düşük çoklu belirtme katsayıları (R^2) bulunmuştur.

Tablo 7.11 Hız değişkeni olmadan yapılan sonuç adimsal çoklu regresyon analizine ait model özeti

Parametreler	Katsayılar	KT	Sd	KO	F	p	R ²
Burulma	Regresyon	5,421.353	8	677.669	112.727	0.000	0.540
	Artıklar	4,616.890	768	6.012			
	Toplam	10,038.242	776				
Hat genişliği	Regresyon	68,560.588	6	11,426.765	198.271	0.000	0.606
	Artıklar	44,549.654	773	57.632			
	Toplam	113,110.24	779				
Eksenden sapma	Regresyon	36,210.218	79	5,172.888	179.981	0.000	0.623
	Artıklar	21,929.632	763	28.741			
	Toplam	58,139.850	770				
Dever	Regresyon	6,723.373	7	960.482	106.644	0.000	0.703
	Artıklar	2,900.075	322	9.006			
	Toplam	9,623.447	329				
Nivelman	Regresyon	28,407.348	8	3,550.918	118.913	0.000	0.552
	Artıklar	23,023.170	771	29.861			
	Toplam	51,430.518	779				

Yığışımli yükün katsayısı yine negatif işaretli bulunmuştur. Zaman içinde azalan B çalışmalarının ve artan Y çalışmalarının etkisiyle bozulma oranında bir düşüş meydana gelmektedir şeklinde bir yorum yapılabilir.

Travers tipine ait katsayısının işareti tüm parametrelerde pozitif bulunmuştur. Bu durumda, ahşap traversin bozulma oranını artırıcı bir etkisinin olduğu söylenebilir.

Eğrilik, boyuna eğim, taş düşme ve sel gibi değişkenlerin katsayıları diğer analizde olduğu gibi yine pozitif işaretli bulunmuştur ve bozulma oranını artırıcı etkileri vardır.

Tablo 7.12 ve 7.13'te görüldüğü gibi hattın düşey geometri parametrelerinde yani burulma, dever ve nivelman üzerinde ray tipinin bozulma oranlarını artırıcı bir etkisinin olduğu görülmektedir. Bunun yanında, yatay geometri parametreleri yani hat genişliği ve eksenden sapma üzerinde ray tipinin bozulma oranları üzerine bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Ray uzunluğunun hat genişliği dışında tüm hat geometrisi parametreleri üzerinde bir etkisi olduğu görülmektedir. Nivelman dışında tümünün işareti negatiftir.

Ek H'de Tablo H.1 ve Tablo H.4 arasında hız değişkeninin olduğu ve olmadığı durumlar için bağımsız değişkenlerin katsayılarla çarpılmış durumlarını gösteren örnek bir çalışma verilmiştir.

Tablo 7.12 Burulma ve hat genişliği analiz sonuçları (hız değişkeni olmadan)

Değişkenler	Burulma			Hat genişliği		
	b_j	t	p	b_j	t	p
X ₁ (Yığışımly yük)	-0.028	-6.651	0.000	-0.073	-7.690	0.000
X ₂ (Hız)	-	-	-	-	-	-
X ₃ (Eğrilik)	0.450	6.504	0.000	1.694	8.024	0.000
X ₄ (Boyuna eğim)	0.086	5.724	0.000	0.262	5.637	0.000
X ₅ (Dever)	-	-	-	-	-	-
X ₆ (Travers tipi)	2.634	6.760	0.000	13.479	15.535	0.000
X ₇ (Ray tipi)	1.111	3.192	0.001	-	-	-
X ₈ (Ray uzunluğu)	-0.787	-2.651	0.008	-	-	-
X ₉ (Taş düşme)	1.284	4.480	0.000	3.120	3.534	0.000
X ₁₀ (Heyelan)	-	-	-	-	-	-
X ₁₁ (Kar)	-	-	-	-	-	-
X ₁₂ (Sel)	1.174	6.136	0.000	3.581	6.098	0.000
Sabit	11.716	24.028	0.000	26.444	30.616	0.000

Tablo 7.13 Eksenden sapma, dever ve nivelman analiz sonuçları (hız değişkeni olmadan)

Değişkenler	Eksenden sapma			Dever			Nivelman		
	b_j	t	p	b_j	t	p	b_j	t	p
X ₁ (Yığışımly yük)	-0.038	-5.252	0.000	-0.034	-4.290	0.000	-0.050	-5.294	0.000
X ₂ (Hız)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₃ (Eğrilik)	1.395	9.165	0.000	2.707	13.065	0.000	1.072	6.931	0.000
X ₄ (Boyuna eğim)	0.154	4.666	0.000	0.079	2.985	0.003	0.196	5.819	0.000
X ₅ (Dever)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₆ (Travers tipi)	8.235	10.506	0.000	2.320	2.760	0.006	10.022	11.571	0.000
X ₇ (Ray tipi)	-	-	-	1.547	2.270	0.024	3.180	4.059	0.000
X ₈ (Ray uzunluğu)	-2.290	-3.797	0.000	-1.400	-2.130	0.034	2.218	3.355	0.001
X ₉ (Taş düşme)	2.115	3.392	0.001	1.545	3.183	0.002	2.879	4.508	0.000
X ₁₀ (Heyelan)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₁₁ (Kar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₁₂ (Sel)	2.626	6.244	0.000	1.739	4.922	0.000	2.275	5.319	0.000
Sabit	21.077	32.053	0.000	9.742	10.423	0.000	19.596	18.035	0.000

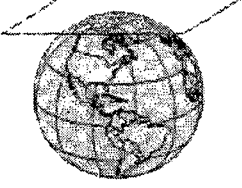
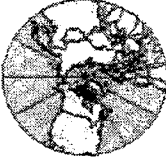
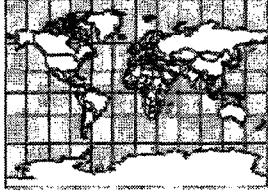
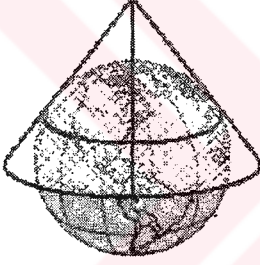
8. HATTIN BAKIM VE YENİLEME ÇALIŞMALARINDA CBS'NİN KULLANILMASI

Coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) gelişimi bilgi teknolojisindeki gelişmelere ve değişimlere bağlıdır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte CBS'nin gelişim süreci hızlanmıştır. CBS'de kullanılmak istenen haritalarda ki bilgi sisteminin anlaşılması için mutlaka bilgisayarlara ihtiyaç vardır. Bu sebeple haritaların öncelikli olarak bilgisayar destekli hale getirilip daha sonra da, CBS'ye dönüştürülmesi gerekir. Bu sebeple bir haritayla ilgili olarak temel kavramların çok iyi anlaşılması gerekmektedir.

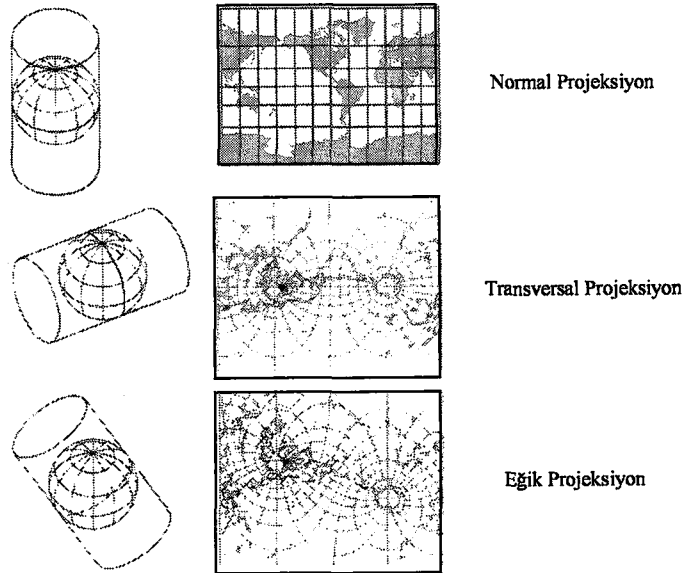
8.1 Temel Harita Bilgileri

En basit anlamda harita; arazinin belirli bir ölçeğe göre küçültülerek, kağıt üzerinde gösterilmesi olarak tanımlanır. Harita belirli bir ölçek dahilinde küçültüldüğü için, harita ve arazi arasında daima matematiksel bir ilişki vardır. Bu ilişkinin en temel ögesi ölçektir. Herhangi bir haritanın ölçeği; harita üzerinde ölçülen iki nokta arasındaki bir mesafenin, yeryüzündeki gerçek noktalar arasındaki mesafeye oranıdır (Yomralıoğlu, 2000). Yeryüzünün elipsoit benzer bir şekil olduğu düşünülürse, bu şeklin anlaşılır olabilmesi için bir düzleme yani haritaya dönüştürülmesi gerekir. Dolayısıyla harita yapılırken bu eğri yüzey üzerindeki bilgilerin bir düzlem yüzeye aktarılması söz konusudur. Eğri bir yüzey üzerindeki bilgilerin matematik ve geometrik kurallardan yararlanarak harita düzlemine geçirilmesine harita projeksiyonu adı verilir. Harita projeksiyon hesap işlemlerinde, yer küre elipsoit olmasına rağmen, matematiksel tanımlarda daha basit ve anlaşılır olması bakımından yeryüzü küre olarak kabul edilir. Yeryüzü ancak üç temel yüzeyden bir tanesi üzerine düşürülebilir ve daha sonra harita üretmek üzere bu yüzey açılır. Bunlar düzlem, silindirik ve konik yüzeyler şeklinde olabilir. Bu üç yüzey üzerindeki projeksiyonlar da düzlem, silindirik ve konik projeksiyonlar olarak adlandırılır (Şekil 8.1). Projeksiyon yüzeyinin değme noktasındaki normali, ya da projeksiyon yüzeyinin ekseni; orijinal yüzey ekseni ile çakışık ise bu hale normal projeksiyon; yüzeyin değme noktasındaki normali ya da yüzeyin ekseni ile 90°'lik açı yaparsa bu tür

projeksiyonlar transversal projeksiyon; veya orijinal yüzey eksenini ile her hangi bir açı yapıyorsa bu tip projeksiyonlar da eğik projeksiyonlar adı verilir (Şekil 8.2).

a) Düzlem projeksiyon		
		• Yeryüzünün sadece belli bir kısmı görülebilir. • Görüntü kürenin yarısı veya yarıdan daha az bir kısmına ait olur. • Bütün parçaların birleşme kenarlarında şekil bozulması olacaktır. • Uzunluk görüntünün bir çok kısmında korunur.
b) Silindir projeksiyon		
		• Yeryüzünün kesiksiz sürekli bir şekli sağlanır. • Ekvator yakınındaki ülkelerin görünümünde şekil bozukluğu olmaz. • Ülkeler arasındaki mesafeler, görüntünün üst ve alt kısımlarına uzaklaştıkça artar. • Kutup görüntülerinde şekil bozukluğu olur. • Alan büyüklüğü, görüntünün bir çok kısmında korunur.
c) Konik projeksiyon		
		• Alan bozukluğu olur. • Görüntünün tabanına doğru uzunluk bozulması oldukça artar. • Ölçek görüntünün bir çok kısmında korunur.

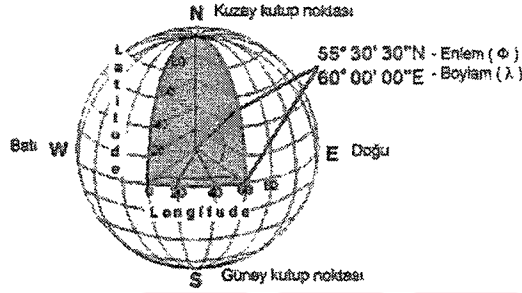
Şekil 8.1 Harita projeksiyonları



Şekil 8.2 Mercator projeksiyonunda değişik projeksiyon şekilleri

Eğer orijinal yüzey üzerinde belli yönlerdeki uzunluklar projeksiyon yüzeyinde de aynen kalıyorsa bu projeksiyona uzunluk koruyan projeksiyon adı verilir. Orijinal yüzeydeki alan, projeksiyonda bir değişmeye uğramıyorsa böyle bir projeksiyona alan koruyan projeksiyon denir. Şayet orijinal yüzey üzerindeki şekiller değişmiyorsa böyle bir projeksiyon da konform ya da açı koruyan projeksiyon olarak adlandırılır.

Dünya üzerindeki noktaların konumlarını belirlemek amacıyla bütün dünyayı saran bir koordinat ağının olduğu kabul edilir. Coğrafi koordinat ağı olarak adlandırılan bu sistem paralel ve meridiyenlerden oluşur (Şekil 8.3) (Yomralıoğlu, 2000).

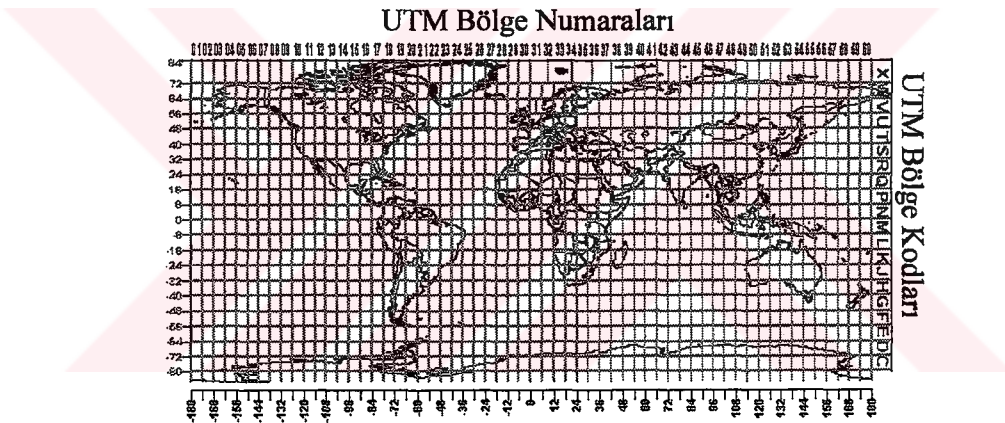


Şekil 8.3 Coğrafi koordinat sistemi

UTM (Universal Transverse Mercator) projeksiyonu, Gauss-Krüger projeksiyonu esas alınarak geliştirilmiştir. İkinci dünya savaşından sonra bütün dünya ülkeleri için ortak bir harita projeksiyonunun geliştirilmesi düşüncesi ortaya atılmış, en uyumlu koşulların bir arada bulunacağı projeksiyonun Gauss-Krüger projeksiyonu olduğu saptanmıştır. Ancak bu projeksiyonda bazı değişiklikler yapılarak sonuçta UTM ortaya çıkmıştır. Projeksiyonun referans yüzeyi elipsoittir. Başlangıçta sadece ABD tarafından benimsenmiş ve daha sonra uluslararası düzeyde geçerli hale gelmiştir. Türkiye’de ise ülke nirengi ağına dayalı 1/25,000 ölçekli temel haritalar da düzlem koordinatlar 6° dilim genişlikli Gauss-Krüger sistemine göre üretilmiştir. Ayrıca 1/5,000 ölçekli Standart Topoğrafik (ST) ve Standart Topoğrafik Kadastral haritalar da 3° dilim genişlikli Gauss-Krüger sisteminde üretilmiştir. UTM projeksiyonunda, 180° meridyeninden başlamak üzere dünya, 6° boylam aralıklı 60 dilime ayrılmıştır. Dilimler 1’den başlayarak, doğuya doğru artan sırada 1 ile 60 arasında numaralandırılmıştır. Her bir dilim bir projeksiyon sistemini belirtir. Silindir, dilimin orta meridiyeni boyunca dünyaya teğet alınır. Böyle bir dilim eksenleri 3°, 9°, 15°, ... Doğu ve Batı meridiyenleridir. Dilimlerin numaraları dilimlerin üzerinde gösterilmiştir. Projeksiyon diliminin dilim numarası (DN) biliniyorken o dilimin orta meridiyenin λ_0 boylamı şu bağıntı ile elde edilir (Yomralıoğlu, 2000):

$$\lambda_0 = [(DN) \times 6^\circ - 3^\circ] - 180 \quad (8.1)$$

Dilim ekseninin solunda kalan noktaların koordinatların eksi değerden kurtulması için m_0 ölçek katsayısı ile küçültülen Y_g değerlerine 500,000 metre eklenir. X_g değerleri kuzey yarım kürede pozitif olduğundan sabit bir değer eklenmesine gerek yoktur. Ancak güney yarım küre m_0 ile küçültülen X_g değerlerine 10,000,000 metre eklenir. Pozitif yapılan koordinatlara, hangi dilimde olduğunu göstermek üzere, o dilim numarası tanıtıcı rakam olarak baş tarafına eklenir. Böylece elde edilen koordinat değerlerine Sağ ve Yukarı değerleri adı verilir. Sağa ve Yukarı koordinatları UTM projeksiyonun dik koordinat sistemindeki değerleridir. Bu değerlerle sadece çizim yapılır. Noktalar arasında uzunluk, alan, doğrultu gibi büyüklüklerin hesaplanması gerektiğinde sağa ve yukarı değerlerden geri giderek söz konusu noktalar için Y_g ve X_g ile tanımlanan Gauss-Krüger koordinatları bulunur ve hesaplar bu değerlerle yapılır (Şekil 8.4) (Yomralıoğlu, 2000).



Şekil 8.4 UTM koordinat sisteminin temel yapısı

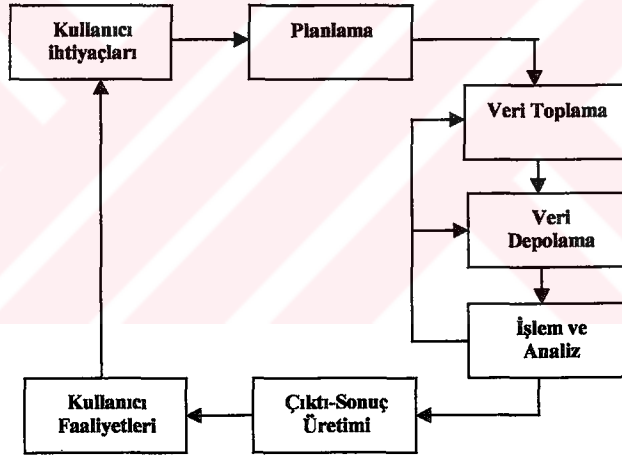
Koordinat sistemlerinin çok çeşitli şekilde olmasına karşın, günümüzde en çok kullanılan klasik sistem dik koordinat ya da kartezyen koordinat sistemidir. Bu sistemler plan veya düzlem koordinat sistemleri olarak da bilinirler (Yomralıoğlu, 2000).

8.2 Bilgi Sistemleri

Bilginin toplanıp işlenmesi ve kullanılır hale dönüştürülmesi belli bir sistemin var olmasını gerektirmektedir. Bu amaçla kurulan sistemler genelde bilgi sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Diğer bir ifadeyle organizasyonların yönetsel fonksiyonlarını desteklemek amacıyla bilgiyi toplayan, depolayan, üreten ve dağıtan

bir mekanizma olarak tanımlanır. Dolayısıyla bilgi sistemi, bilgiye kolayca erişip, bilgiyi daha verimli kullanabilmek için oluşturulmuş bir sistem olarak algılanabilir (Yomralıoğlu, 2000).

Bilgi sistemi Şekil 8.5'te görüldüğü gibi, veri toplama, analiz ve sunulmasına kadar uzanan bir dizi işlem akışından ibarettir. Böyle bir sistem ile amaçlanan, planlama, araştırma ve yönetim işlevlerinde kullanıcının karar verme yeteneğini artırarak, neden ve niçinler ile en doğru kararı vermesine yardımcı olmaktır. Bu nedenle, bilgi sistemlerinin temel fonksiyonu doğru karar verebilme kapasitesini artırmaktır. Bilgi sisteminde veriler üzerindeki mantıksal işlemler, önceden belirlenen ilkelere göre yapılır. Verilerin toplanmasında uygulanacak kurallar ve kullanılacak formlar ya da belgelerin biçimi ya da içeriği, bu bilgilerin hangi ortamda saklanacağı, uygulanacak işlemlerin türü ve yöntemleri, ne gibi analizlerin uygulanacağı ve elde edilen sonuçların hangi ortamda ve formlarda kullanıcıya sunulacağı belirlenmiş olmalıdır (Yomralıoğlu, 2000).



Şekil 8.5 Bilgi sisteminde akış şeması

Mekansal Olmayan Bilgi Sistemleri: Mekansal olmayan yani herhangi bir mekandan bağımsız bilgi sistemleri başta iş dünyası olmak üzere, kamu kurum, kuruluş veya organizasyonlarına yönelik yönetsel fonksiyonları içerir. Bir kurumun çalışması için gerekli mevzuat esaslı düzenlemeler, muhasebe ve ücret politikası, çalışma prensipleri, çalışanların üstleneceği görevler ve bu görevlerin yerine getirilmesinde kişiler veya kurumlar arası işbirliğinin neler olduğu veya olması gerektiği şeklinde ki

hususların bir çoğu mekansal olmayan bilgi sistemlerinin kapsamındadır (Yomralıoğlu, 2000).

Mekansal Bilgi Sistemleri: Mekansal bilgi sistemleri coğrafi nesnelerin sadece koordinat değerleri ile değil, aynı zamanda öznitelik verileri ile de tanımlanmasını konu alan bir bilgi sistemidir. Bu sistemin en önemli özelliği, herhangi bir nesnenin mutlak suretle koordinat verisi (geometri) ile tanımlanması ve bunun yanı sıra, o nesnenin özelliklerini açıklayan alfa-sayısal yani öznitelik verilerin de var olmasıdır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, grafik ve grafik olmayan bilgiler bir veri tabanı sistemi içerisinde ilişkilendirilmiş ve sonuçta yeni bilgi sistemi uygulaması ortaya çıkmıştır. Mekansal bilgi sistemleri mekansal referanslı koordinat bilgisine dayalı sistemler olup çok geniş uygulama alanlarına sahiptirler. Mekansal bilgi sistemlerinin sınıflandırılması (Yomralıoğlu, 2000):

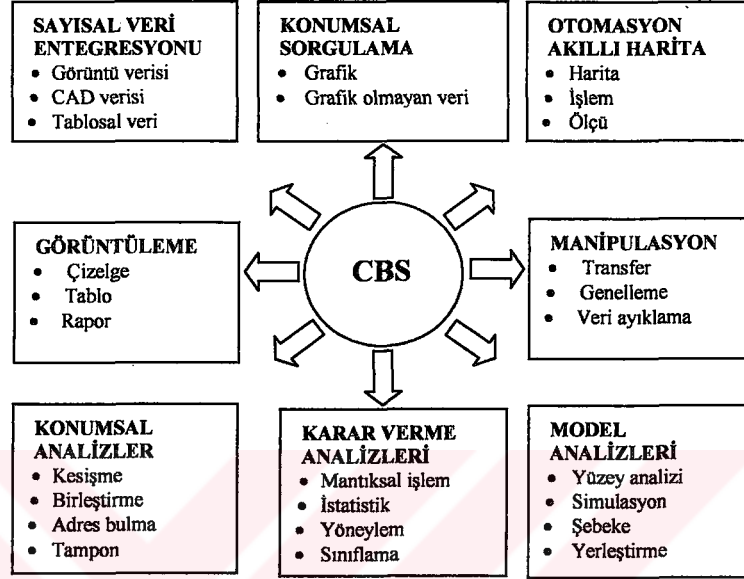
- a) Çevre Bilgi Sistemleri
- b) Altyapı-Mühendislik Bilgi Sistemleri
- c) Kadastro Bilgi Sistemi
- d) Sosyo-Ekonomik Bilgi Sistemi

8.3 Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi bilgi sistemi (CBS) yeryüzünde gerçekleşen olayların haritalandırılması ve analizin edilmesinde kullanılan bilgisayar destekli bir araçtır. CBS teknolojisi veri tabanı çalışmalarında bütünlük sağlar. Haritalardan yararlanılarak coğrafik analizler ve görsel uygulamalar, sorgulama ve istatistik analizler şeklinde gerçekleştirilir. Bunlar CBS'yi diğer bilgi sistemlerinden ayıran en temel özelliklerdir. Kamu ve özel kurumlarda CBS geniş bir uygulama alanına sahip olup; olayların açıklanması, geleceğin tahmin edilmesi ve planlama stratejilerinin gerçekleştirilmesi gibi çalışmalarda kullanılmaktadır. CBS'nin potansiyelinin daha iyi anlaşılabilmesi için, sistemi oluşturan bileşenlerin iyi bir şekilde anlaşılması gerekmektedir. Bu bileşenlerin açıklanmasında kullanılan yöntemler değişebilmektedir. Yine de, bu kavramların başlangıç düzeyinde iyi bir şekilde anlaşılması mümkündür. Aşağıda haritalar, sınırlar, veri ve bunlar arasındaki bütünlük gibi kavramlar açıklanmıştır. Bir dizi verinin diğerlerini nasıl etkilediğinin görülmesinde CBS farklı bir bakış açısıyla kullanıcının ufkuunu açarak, kullanıcıyı mevcut geleneksel yöntemlerin ötesine götürür (William, 1989; Yomralıoğlu, 2000).

8.3.1 Coğrafi bilgi sistemlerinin fonksiyonları

Yeryüzü şekillerini ve gelişen olayları haritaya dönüştürmek ve bunları analiz etmek için gerekli olan bilgisayar destekli araçlardan oluşan bir sistem olarak tanımlanan coğrafi bilgi sistemlerinin diğer sistemlerden farklı olarak sahip olduğu fonksiyonlar vardır. Bu fonksiyonlar ve işlevleri aşağıdaki Şekil 8.6'da özetlenmiştir.



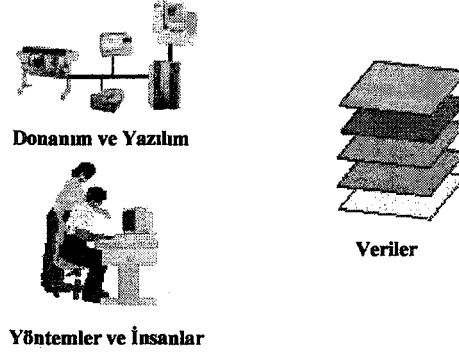
Şekil 8.6 Coğrafi bilgi sistemlerinin temel fonksiyonları

8.3.2 Coğrafi bilgi sistemlerinin bileşenleri

Coğrafi bilgi sistemlerinin temel fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için aşağıda sıralanan unsurların bir arada olması gerekir (Şekil 8.7) (William, 1989; Yomralıoğlu, 2000):

- Donanım:** CBS'nin işlemlerini mümkün kılan bilgisayar ve buna bağlı yan ürünlerin bütünü donanım olarak adlandırılır.
- Yazılım:** Coğrafi bilgileri depolamak, analiz etmek ve görüntülemek gibi ihtiyaç ve fonksiyonları kullanıcıya sağlamak üzere yüksek düzeyli programlama dilleriyle gerçekleştirilen algoritmalarıdır.
- Veri:** CBS'nin en önemli bileşenlerinden birisidir. Veri kaynaklarının dağınıklığı, çokluğu ve farklı yapılar da olmaları, bu verilerin toplanması için büyük zaman ve maliyet gerektirmektedir.
- İnsanlar:** CBS teknolojisi insanlar sayesinde sınırsız bir uygulama alanına sahiptir. İnsanlar gerçek dünyadaki problemleri uygulamak üzere gerekli sistemleri yönetir ve gelişme planı hazırlarlar.

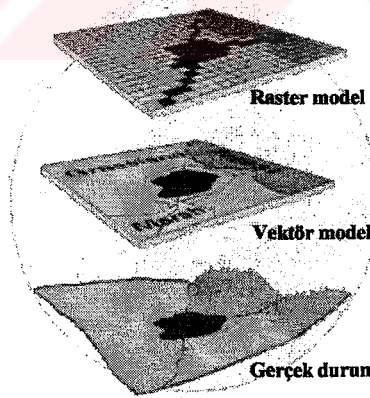
- e) Metotlar: Başarılı bir CBS, çok iyi tasarlanmış plan ve iş kurallarına göre işler. Bu tür işlevler her kuruma özgü model ve uygulamalar şeklindedir.



Şekil 8.7 CBS'nin bileşenleri

8.3.3 Coğrafi bilgi sistemlerinde sayısal harita kavramı

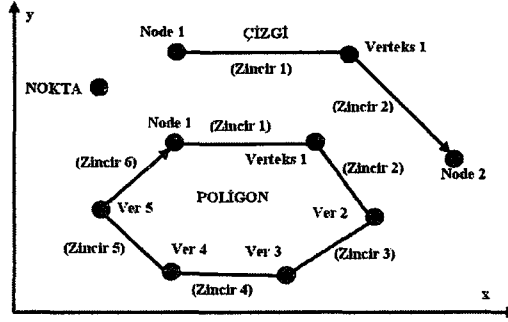
Coğrafi verilerin bilgisayara aktarılması, bilgisayarda işlenmesi ve görüntülenmesi için öncelikle söz konusu ham verilerin bilgisayarca anlaşılır hale dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm verilerin sayısal, diğer bir deyişle dijital forma getirilmesiyle mümkündür. Ayrıca, dijital şekle dönüştürülen verilerin, bilgisayarda gerçek modeli yansıtmaları için konumsal veri modellerinden biri tercih edilmeli ve veri yapısı buna göre tasarlanmalıdır. CBS de konumsal veri modelleri iki şekilde olmaktadır. Bunlar vektörel veri modelleri ve hücresel veri modelleridir (Şekil 8.8).



Şekil 8.8 CBS de varlıkların gösterimi

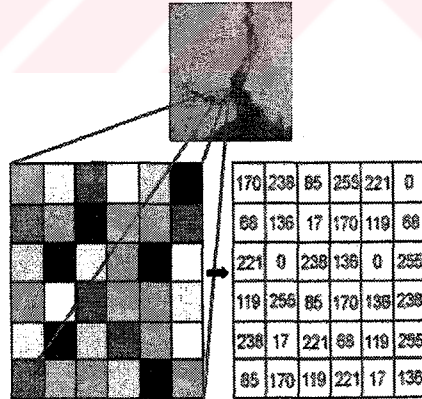
Konumsal veriler vektörel veri modellerinde noktalar, çizgiler ve poligonlardan oluşur. Noktalar, sabit alanların çok küçük boyutlu şekillerini gösterir. Çizgiler, süreklilik ve alan özelliği gösteren yine çok küçük boyutlu varlıkları gösterir.

Poligonlar ise homojen yapıya sahip bütünlük gösteren coğrafi varlıkları temsil eder. Poligonlar alan olarak adlandırılmaktadırlar (Şekil 8.9).



Şekil 8.9 Vektörel veri modelleri

Coğrafi özelliklerin gösterimleri için kullanılan bir diğer veri modeli de hücresel ya da diğer bir deyişle raster veri modelleridir. Raster veri gösterimi coğrafi özelliklerin çekilmiş fotoğrafı gibidir. Raster veri modelinde, görüntü piksel veya hücre adı verilen seri haldeki küçük boyutlu kutulardan (gridlerden) meydana gelir. Gridler aynı boyutta fakat farklı renklerde olabilirler. Varlıklar yansıttıkları renk değerlerine veya bilgi tiplerine göre renk ölçü cetvelindeki değerlere atanırlar. Haritadaki varlığın gerçeği yansıtmaya gücü görüntünün elde edilme kalitesine bağlıdır. Bu hassasiyet piksel boyutuna göre değişen çözünürlük gücü ile ölçülür (Şekil 8.10) (William, 1989; Yomralıoğlu, 2000).



Şekil 8.10 Raster veri modelleri

8.3.4 Coğrafi bilgi sistemlerinin temel işlevleri

Coğrafi bilgi sistemlerinin sağlıklı bir şekilde çalışma aşağıdaki temel işlevlerin yerine getirilmesine bağlıdır (William, 1989; Yomralıoğlu, 2000). Bunlar;

- a) Veri toplama: Coğrafi veriler toplanarak, CBS’de kullanılmadan önce mutlaka sayısal formata dönüştürülmelidir. Verilerin kağıt ya da harita ortamından bilgisayar ortamına dönüştürülmesi işlemine sayısallaştırma denir.
- b) Veri yönetimi: Veri yönetimi veri tabanı yönetim sistemleri ile gerçekleştirilir. Veri tabanı yönetim sistemleri bir bilgisayar yazılımı olup veri tabanlarını yönetir veya birleştirir.
- c) Veri işlem: Coğrafi bilgi sistemleri grafik ve grafik olmayan verileri bir bütün halinde çok yönlü olarak analiz edebilmesinden dolayı karar verme aracı olarak kullanılabilir. CBS ile konumsal sorgulamalar, konumsal analizler, ağ analizleri, geometrik işlemler, sayısal yükseklik analizleri, grid analizleri ve istatistiksel analizler yapılabilir.
- d) Veri sunumu: Görsel işlemler CBS için önemli bir işlevdir. Bir çok coğrafi işlemin sonunda yapılanlar harita veya grafik gösterimlerle görsel hale getirebilir.

8.3.5 Yazılım Ürünleri

Coğrafi bilgi sistemlerinin hayata geçirilmesindeki önemli unsurlardan biri de sistemin motor görevini üstlenen yazılımlardır. Yazılım, bir çok araştırma ve ticari kuruluş tarafından kullanıcı isteklerini karşılamak üzere uzun uğraşlar neticesinde hazırlanan bir dizi algoritmanın, programlama dilleri ile kodlanıp bilgisayar üzerinde çalışır hale getirilmesiyle oluşur. Bugün piyasada pek çok coğrafi bilgi sistem programı mevcuttur. Burada bu doktora çalışmasında kullanılan MapInfo Professional coğrafi bilgi sistemler programından bahsedilecektir.

MapInfo Professional; harita ve coğrafi analizlerin gerekli olduğu ticari uygulamalar, bilimsel çalışmalar gibi pek çok alanda daha iyi sunumlar ve analizler yapmak için kullanılabilir. Program Windows işletim sistemleri ile çalışabilir. Sunumu geliştirmek amacıyla detaylı haritalar üretilebilir, geniş çaplı analizler yapılabilir, varlıkların coğrafi olarak yönetimi, lojistik planlar ve acil durumlara hazırlık gibi çalışmalar yapılabilir. MapInfo Professional’ın öne çıkan genel özellikleri; internet desteği, tablo/grafik hazırlama işlevleri, üç boyut görüntüleme esnekliği, tematik harita ve şablonlar, raster görüntü desteği, harita objelerine veri eklenmesi ve ilişkilendirilmesi, SQL (Structured query language) sorgulamalar, nesneler etrafında

tampon bölgeler oluşturma, coğrafik aramalar, sunum geliştirmek için farklı yazılımlara (MS Word, Excel, Photoshop) dönüşüm, server tabanlı depolama ve veri yönetimi, bir çok CBS yazılımı formatına dönüşüm sağlaması şeklinde sıralanabilir (Daniel ve diğ., 2002).

MapBasic; MapInfo Professional ortamı için tasarlanmış olan uygulama geliştirme ortamıdır. MapInfo'da kullanıcının rutin olarak yapması gereken işlerin otomatik olarak yaptırılması, birden çok iş adımlarını daha kolay hale getirilmesi ve çok sayıda kayıtlar üzerinde çalışma yapılması için bir programlama ihtiyacı duyulur. MapBasic, Basic diline CBS yeteneklerinin eklenmesi ile oluşmuş zengin fonksiyon kütüphanesiyle gelişmiş bir CBS uygulama geliştirme dilidir.

MapBasic ile kullanıcılar, MapInfo Professional menülerinde değişiklikler yapabilir, kendileri yeni menüler oluşturup ekleyebilirler. Programlarda kullanılan görsel araçlar MapBasic ile programlanabilir ve geliştirilen uygulamalar tam olarak Windows işletim sistemine uyumludur. Ayrıca sorgulama dili olarak dünya standardı olarak kabul edilen SQL MapBasic içinde standart olarak kullanılmaktadır.

Integrated Mapping denilen özellik ile, MapInfo Professional aynı zamanda MapBasic kullanmak istemeyen, uygulamalarını alışmış oldukları VB, Delphi gibi uygulama ortamlarında geliştirmek isteyen kullanıcılar da desteklenmektedir. Bu özellik, OLE ve DDE desteği ile gerçekleştirilmektedir (Daniel ve diğ., 2002; MapInfo, 2004; Başarsoft, 2004).

8.4 Demiryolu Mühendisliğinde CBS'nin Kullanılması

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), coğrafi bilgilerin derlenmesi, depolanması, işletilmesi ve analiz edilmesi için kullanılan bilgisayar esaslı sistemlerdir. CBS'nin sağladığı çoklu fonksiyonellik onu eski teknolojilerden farklı kılmaktadır. Çoklu fonksiyonelliğin tek bir ortamda entegre olarak gerçekleştirilebilmesi, kuruluşların kendilerine özgü uygulamaları için CBS teknolojisini kullanmalarına sebep olmuştur. CBS, 1980'lerin sonundan itibaren ulaştırma alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda üç farklı sınıfta CBS modelinden bahsedilmesi gereklidir (Thill, 2000; Güler ve Kaçmaz, 2003c; Ergun ve diğ., 2004).

- Bir olgunun bir coğrafi yer üzerinde süreklilik arz eden değişimlerini göstermek üzere kullanılan alansal modeller (Arazi yükseltilerinin dijital ortamda gösterilmesi için bu modeller kullanılmaktadır.),
- Coğrafi bir yeri betimleyen farklı karakterdeki bileşenleri (noktalar, çizgiler veya poligonlar) tanımlamak üzere kullanılan ayrık modeller,
- Sürekli bir referans düzlemi üzerinde yerleri sabit olan ve topolojik olarak birbirine bağlı doğrusal bileşenleri (karayolları, demiryolları veya havayolları gibi) betimlemek üzere kullanılan ağ modelleri.

Bütün bu modellerin ulaştırmada kullanım sahası olmasına rağmen yol ağları, yolcu ve yüklerin taşınmasında kullanılan çok önemli bileşenler olduklarından ağ modelleri bu alanda en etkin rolü oynamaktadır. Bilindiği gibi ulaştırma uygulamalarının çoğu, konuyla ilgili verileri betimlemek için sadece bir ağ modeline gerek duymaktadır. Bu konudaki bazı örnekler ise aşağıda verilmektedir.

- Üstyapı ve diğer tesisler için geliştirilen işletme sistemleri,
- Dört aşamalı kentsel ulaştırma planlaması yöntemindeki trafik ataması aşaması ile birlikte gerçek zamanlı güzergah belirleme işlemleri,
- Ağ esaslı trafik bilgi sistemleri ve yolculuk planlama yöntemleri,
- Araç içi kılavuzluk sistemleri,
- Gerçek zamanlı sıkışıklık yönetimi ve trafik kazası tespiti.

Demiryolu ulaştırmasında demiryolu sistemlerinin izlenmesi, yüklerin taşınması için en uygun yolun bulunması, filodaki araçların takip edilmesi ve demiryolu altyapısının bakımının yapılması gibi kavramlara coğrafi bir perspektiften bakılması, kaynakların akılcı bir şekilde kullanılması ve harcanması bakımlarından önemlidir. Dolayısıyla demiryolu ulaşımında demiryolu işlemleri, bakım, varlık yönetimi ve karar destek sistemleri ile ilgili bilgilerin derlenmesi ve işlenmesinde CBS'nin kullanılması büyük faydalar sağlamaktadır. Aşağıdaki liste demiryolu ulaştırmasında CBS'nin başarıyla kullanıldığı başlıca alanları belirtmektedir (Thill, 2000; Güler ve Kaçmaz, 2003c; ESRI, 2004).

- a) Gayrimenkul yönetimi,
- b) Tesis yönetimi,

- c) Fiziksel yapı yönetimi,
- d) Yük akımı analizi,
- e) Acil durum yönetimi,
- f) evre düzenlemesi ve inşaat yönetimi,
- g) Kombine taşımacılık yönetimi,
- h) Yolcu bilgilendirmesi,
- i) Kapasite planlaması,
- j) Pazarlama,
- k) Kaynak tahsisi yönetimi,
- l) Yer seçimi,
- m) Risk yönetimi.

8.5 Bozulma Modelinin CBS Ortamında alıştırılması

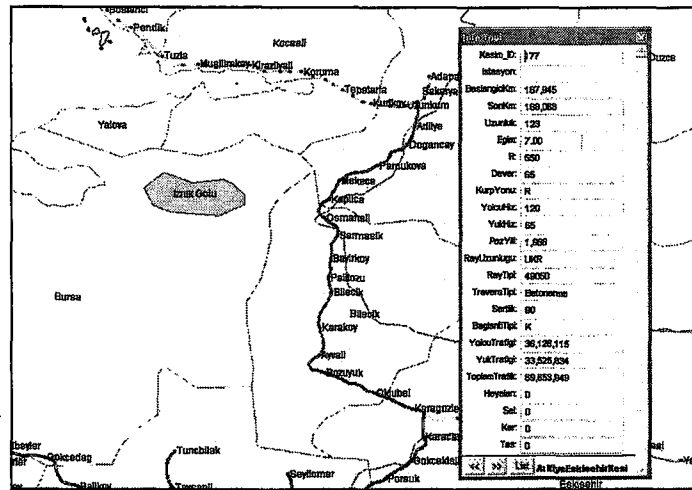
Demiryollarında BY çalışmalarında etkinliğin ve verimliliğin sağlanması için uygun yönetim sistemlerine ihtiyaç vardır. BY çalışmalarında bilgi sistemlerini kullanarak çalışmalardan beklenen etkinlik sağlanabilir. şayet kullanılan bilgi sistemi hem grafik hem de grafik olmayan verileri kapsıyorsa sistemden elde edilecek fayda daha da büyük olacaktır. Konumsal analizler yapan bir bilgi sistemi kullanarak BY alışmaları yapılan demiryolu hattı kesimleri görsel ortamda değerlendirilebilir ve hazırlanan grafik raporlarla her bilgi düzeyindeki insanlara kolay bir şekilde ulaşılabilir. Konumsal bir bilgi sistemi olan Coğrafi Bilgi Sistemleri'ni demiryolu hattı BY çalışmalarında bir karar destek sistemi olarak kullanmak mümkündür. CBS kullanılarak; demiryoluna geçmişte yapılan BY çalışmalarını sorgulamak, kesimleri altyapı ve üstyapı verileriyle değerlendirmek ve kullanılan CBS programının gücüne bağlı olarak ilgili yazılımlar geliştirerek amaç doğrultusunda analizler yapmak mümkündür.

TCDD birinci bölgede bulunan çalışma güzergahı Arifiye-Eskişehir arasındaki 183.2 km uzunluğundaki demiryolu hattı kesimi, BY modelinin oluşturulması düşüncesiyle analiz kesimlerine bölünmüştür. Bu bölme işlemi yapılırken demiryolu hattının aşağıda sıralanan özellikleri dikkate alınmıştı:

1. Boyuna eğim (%)
2. Kurp durumu ve yarıçapı (m)
3. Dever durumu ve miktarı (mm)

4. Hızlar (km/sa)
5. Yaş (yıl)
6. Ray tipi (kg/m)
7. Ray uzunluğu (m)
8. Travers tipi

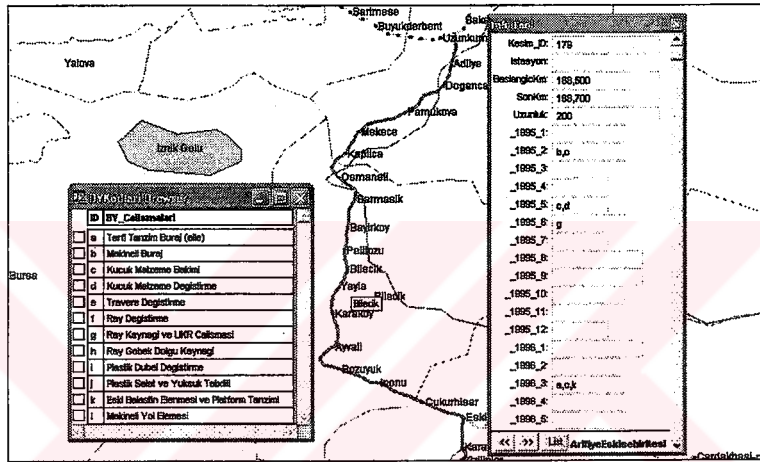
Yukarıda sıralanan özelliklere uygun olarak, Arifiye-Eskişehir arasında 820 tane homojen kesim elde edilmiş ve sayısal ortamda veri tabanı oluşturulmuştur. Çalışma güzergahının CBS ortamında bir BY bilgi sisteminin oluşturulması için, Arifiye-Eskişehir arasındaki demiryolu hattını temsil eden kırıklı çizgi (Polyline), MapBasic'de hazırlanmış bir program kullanılarak 820 adet analiz kesimine bölünmüştür. Analiz kesimlerini temsil eden her bir kırıklı çizgiye veri transferinde kolaylık sağlaması için bir ID numarası verilmiştir. Excel ortamında daha önceden hazırlanmış olan analiz kesimlerine ait verilerin coğrafi bilgi sistemlerine transferi ID numaraları esas alınarak yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucu elde edilen analiz kesimleri bilgi sistemi Şekil 8.11'de görülmektedir. Benzer şekilde Arifiye-Eskişehir arasındaki demiryolu hattı kesimine, 1995-2001 yılları arasında yapılan toplam 84 aylık BY çalışmaları da CBS ortamına aktarılarak bir BY bilgi sistemi oluşturulmuştur. Yapılan BY çalışmaları Tablo 8.1'de görüldüğü gibi harfler kullanılarak kodlanmıştır. Yapılan BY çalışmalarının kodlarını gösteren etiket türünde bir tablo hazırlanmıştır. Bu bilgi sistemini kullanarak istenilen herhangi bir hat kesiminin geçmiş BY verilerine ulaşmak çok kolaydır. Geçmiş tarihlerde yapılan BY çalışmalarına ait bilgi sistemi Şekil 8.12'de görülmektedir.



Şekil 8.11 Analiz kesimleri özelliklerinin CBS ortamında gösterilmesi

Tablo 8.1 Demiryolu hattına yapılan BY çalışmaları

Kod	BY Çalışmaları
a)	Terfi Tanzim Buraj (elle)
b)	Makineli Buraj
c)	Küçük Malzeme Bakımı
d)	Küçük Malzeme Değiştirme
e)	Travers Değiştirme
f)	Ray Değiştirme
g)	Ray Kaynağı ve UKR Çalışması
h)	Ray Göbek Dolgu Kaynağı
i)	Plastik Dübel Değiştirme
j)	Plastik Selet ve Yüksük Tebdili
k)	Eski Balastın Elenmesi ve Platform Tanzimi
l)	Makineli Yol Elemesi



Şekil 8.12 CBS ortamında geçmiş tarihlerde yapılan BY çalışmaları ve kodları

Bölüm 7’de analiz kesimlerine ait veriler kullanılarak yapılan çoklu regresyon analizi sonucu bulunan hat geometrisi bozulma modeli, hattın gelecekteki bozulmasının CBS ortamında tahmin edilmesi için CBS ortamına aktarılmıştır. Bu tahmin analizlerinin gerçekleştirilmesi için MapBasic programı kullanılarak bir dizi programlar hazırlanmıştır. Hazırlanan programda hat geometrisi parametreleri TCDD’de kullanılan terimlerle ifade edilmiştir. Tablo 8.2’de hat geometrisi parametreleri ve TCDD’de kullanılan karşılıkları görülmektedir. Yapılan analiz çalışmalarında her bir bozulma baş harfiyle kodlanmıştır.

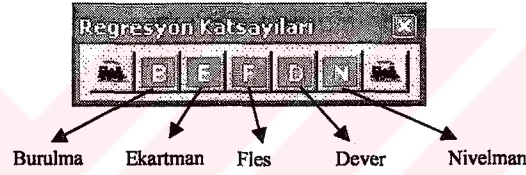
Programda kullanılan ikonlar, PhotoShop programı kullanılarak hazırlanmış, Visual Basic 6.0 programında dll (dynamic link library) dosyalarına dönüştürülerek MapBasic programına tanıtılmıştır.

Tablo 8.2 Hat geometrisi bozulmaları ve TCDD’de kullanılan karşılıkları

No	Bozulma Tipi	TCDD’de karşılığı
1	Burulma	Burulma (B)
2	Hat Genişliği	Ekartman (E)
3	Eksenden sapma	Fleş (F)
4	Dever	Dever (D)
5	Nivelman	Nivelman (N)

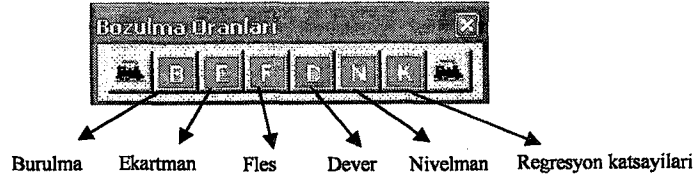
Excel ortamında bulunan hat geometrisi parametrelerine ait bağımsız değişkenler ve regresyon katsayıları MapInfo programına uygun olan formata dönüştürülmüştür.

Yazılan ilk program kullanılarak regresyon katsayıları ekrana çağrılmakta gerekli düzeltme ve değişiklikler yapılabilmektedir. Çoklu regresyon analizi sonucu bulunan bağımsız değişkenlere ait katsayılar bu aşamada görülmekte ve gerekirse bir değişiklik yapılabilmektedir. Geliştirilen araç çubuğu (tool button) ve basma düğmeleri (push button) Şekil 8.13’te görülmektedir.



Şekil 8.13 Regresyon katsayıları araç çubuğu

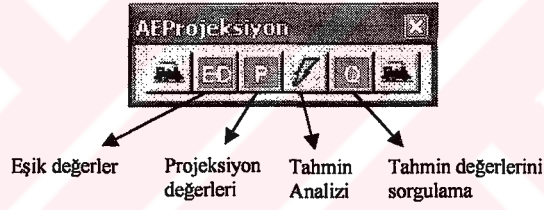
Yazılan ikinci program ilk adımda düzenlenen regresyon katsayıları tablolarını kullanarak her bir geometri bozulması için bozulma oranlarını hesaplamaktadır. Bu aşamada bağımsız değişkenler ilgili katsayılar ile çarpılmakta ve her bir geometri bozulması için bir tablo oluşturmaktadır. Bozulma oranlarının hesaplanması için geliştirilen araç çubuğu ve basma düğmeleri Şekil 8.14’te görülmektedir.



Şekil 8.14 Bozulma oranları araç çubuğu

Yazılan üçüncü program trafiğe bağlı olarak gelişecek bozulma miktarlarını milimetre olarak hesaplamaktadır. Bu program ikinci program tarafından hesaplanan bozulma oranlarını kullanmaktadır. Bu araç çubuğu üzerinde hat geometrisi bozulmaları için bir eşik tablosu gösteren basma düğmesi bulunmaktadır (ED). Bu

tabloyu ekrana çağırarak BY eşik değerlerini değiştirmek mümkündür. Yine bu araç çubuğunda tahmin basma düğmesi bulunmaktadır (P). Bu düğmeye basıldığında trafik artımı milyon ton olarak, incelenecek periyot ise sayı olarak ileriye yönelik projeksiyon değerleri girilmektedir. Tahmin ve BY eşik değerleri girildikten sonra her bir hat geometrisi için ileriye yönelik tahmin yapan basma düğmesine basılır (Üzerinde yıldırım işareti olan düğme). Bu düğme aynı zamanda tahmin verilerini harita bilgisiyle de ilişkilendirmektedir. Analiz işlemi bittikten sonra istenirse her bir geometri parametresinin zamanla nasıl bozulma gösterdiği incelenebilir ve harita üzerinde analizler yapılabilir. Tahmin araç çubuğunda girilen BY eşik değerlerine göre sorgulamayı otomatik olarak gerçekleştiren bir basma düğmesi bulunmaktadır (Q). Bu düğmeye basıldığında her bir geometri parametresinin her bir dönemde eşik değerlerini aşan kesimleri sorgu tabloları olarak elde edilmektedir. Bu sorgu tablolarını kullanarak BY programları hazırlamak ve raporlar oluşturmak mümkündür. İleriye yönelik tahmin hesaplamaları için geliştirilen araç çubuğu ve basma düğmeleri Şekil 8.15'te görülmektedir.



Şekil 8.15 İleriye yönelik tahmin araç çubuğu

Ek H bölümünde TCDD ağının CBS ortamında hazırlanışı ve hat geometrisi bozulma modelinin CBS'de çalıştırılmasıyla ilgili örnek çalışma ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

9. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

TCDD birinci bölgede bulunan çalışma güzergahı Arifiye-Eskişehir arasındaki 183.2 km uzunluğundaki demiryolu hattı kesimi, BY modelinin oluşturulması düşüncesiyle analiz kesimlerine bölünmüştür. Arifiye-Eskişehir arasında 820 tane homojen kesim elde edilmiş ve sayısal ortamda veri tabanı oluşturulmuştur. Analizde kullanılacak bozulma değerleri kağıda dayalı verilerden elde edilmiştir. TCDD’de kullanılan demiryolu kontrol aracının bozulmaları sayısal ortama aktaran bilgisayarının bozuk olmasından dolayı standart sapma değerleri kullanılamamıştır. Sonuç olarak, 183.2 km uzunluğundaki hat kesimi, uzunluğu ortalama 220 metre olan 820 adet analiz kesimine bölünmüştür. Tüm bu işlemler CBS ortamında gerçekleştirilmiş ve ilgili veri tabanı ile ilişkilendirilmiştir.

Bozulma modelinin oluşturulması düşüncesiyle önce her bir hat geometrisi parametresi için bozulma değerleri belirlenmiştir. Hat geometrisi parametreleri şunlardır:

1. Burulma
2. Hat genişliği
3. Eksenden sapma
4. Dever
5. Nivelman

Bozulma değerleri belirlendikten sonra, bozulma oranları (mm/ton) cinsinden tespit edilmiştir. Bozulma oranlarının belirlenmesi için çalışma güzergahından geçen trafiğin yığışimli yükleri 2001 yılına kadar tespit edilmiştir.

Toplam 820 analiz kesim için edilen bozulma oranları kullanılarak her bir hat geometrisi parametresi için bir bozulma modeli, çok değişkenli istatistiksel analiz yapılarak elde edilmiştir. Çalışmada değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı Pearson yöntemiyle belirlenmiştir. Parametrelerin anlamlılık düzeyleri $p < 0.05$ alınmıştır. Bağımlı değişken olan bozulma oranı (mm/ton) bağımsız değişkenler kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan bağımsız değişkenler şunlardır: Yığışimli yük

(x_1); Hız (x_2); Eğrilik (x_3); Boyuna eğim (x_4); Dever miktarı (x_5); Travers tipi (x_6); Ray tipi (x_7); Ray uzunluğu (x_8); Taş düşme (x_9); Heyelan (x_{10}); Kar (x_{11}) ve Sel (x_{12}). Analizlerde nitel ve nicel değişkenlerin her ikisi de kullanılmıştır. Göstermelik değişkenler; x_7 , x_8 , x_9 , x_{10} , x_{11} ve x_{12} bağımsız değişkenleri için kullanılmıştır. Bu çalışmada hattın altyapısı ile ilgili veriler elde edilememiştir. Oysa altyapı ve üstyapının beraber değerlendirildiği sistem altyapısı yönetim sistemleri, sistemin sürekliliğini ve verimliliğinin artıracaktır. Şayet altyapının durumu bilinmiyorsa sistemden beklenen verim elde edilemez. Özellikle hız artırımı çalışmaları yapılmadan önce mutlaka altyapının durumunun belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü artan dinamik kuvvetler altyapıyı daha çok zorlayacak ve istenmeyen durumlara sebep olacaktır. TCDD günümüzde kullanılan modern altyapı kontrol sistemleriyle çok hızlı bir şekilde altyapının durumunu belirleyebilir ve gerekli önlemleri alabilir.

Bu çalışmada, merkezi Şikago’da bulunan ve 1967 yılında kurulmuş olan SPSS şirketi tarafından geliştirilmiş SPSS 12.0 versiyonlu istatistik programı kullanılmıştır.

Yapılan istatistik analizler şunlardır:

1. Korelasyon matrisinin hesaplanması,
2. İlk çoklu regresyon analizinin yapılması,
 - a) Çoklu belirtme katsayısının hesaplanması,
 - b) Regresyon modeli varyans analizi,
 - c) Parametrelerin anlamlılık analizi,
3. Değişkenler arasındaki saçılım grafiklerinin incelenmesi,
4. İlk adımsal çoklu regresyon analizinin yapılması,
 - a) Çoklu belirtme katsayısının hesaplanması,
 - b) Regresyon modeli varyans analizi,
 - c) Parametrelerin anlamlılık analizi,
5. Aykırı gözlemlerin test edilmesi,
 - a) Artıklar,
 - b) Standart artıklar,
 - c) Student türü artıklar,
 - d) DFFIT değerleri,
 - e) P_{ij} değerleri,
 - f) Cook uzaklığı,
 - g) Mahalanobis uzaklığı,

- h) Kovaryans oranları,
- 6. Çoklu bağıntının araştırılması,
 - a) Varyans şişme değerleri,
 - b) Varyans ayrışın oranları,
- 7. Sonuç adımsal çoklu regresyon analizinin yapılması,
 - a) Çoklu belirtme katsayısının hesaplanması,
 - b) Regresyon modeli varyans analizi,
 - c) Parametrelerin anlamlılık analizi.

Her bir hat geometrisi parametresi için yukarıda belirtilen adımlar izlenmiş ve sonuç istatistik modeli adımsal regresyon analiziyle elde edilmiştir. Bulunan modellerde çevresel faktörlerden heyelan ve karın hiçbir geometri parametresinin bozulma oranı üzerine etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ancak sel ve taş düşmenin etkisinin olduğu görülmüştür ve işaretleri pozitifdir. Yani bozulma oranını artırıcı etkileri vardır. Sel ve taş düşmesinin bozulma oranlarıyla olan korelasyon matrisinde de ilişkinin pozitif olduğu görülmektedir.

Eğrilik ve boyuna eğimin tüm hat geometrisi parametrelerinin bozulma oranı üzerine etkisi olduğu tespit edilmiştir ve işaretleri pozitifdir. Her iki bağımsız değişkeninde bozulma oranını artırıcı etkileri vardır. Eğrilik ve boyuna eğimin bozulma oranlarıyla olan korelasyon matrisleri ve saçılım grafikleri incelendiğinde ilişkinin pozitif olduğu görülmektedir.

Dever miktarının hattın düşey geometri parametrelerinin bozulma oranları üzerinde bir etkisi vardır ve işareti negatif olarak bulunmuştur. Oysa korelasyon matrisi incelendiğinde deverin bozulma oranıyla zayıfta olsa pozitif bir ilişkiye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca eğrilikle dever arasında 0.879 gibi çok yüksek bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Bu sebeple analizlere deveri katmak anlamlı değildir. Burulma ve nivelman bozulmalarında deverin etkin görülmesine karşılık, adımsal regresyonda deverin olmadığı ve en yüksek belirtme katsayısına sahip model tercih edilmiştir.

Travers tipinin bozulma oranına etkisinin olduğu ancak bazı parametrelerde pozitif bazılarında ise negatif işarete sahip olduğu tespit edilmiştir. Hattın düşey geometri parametrelerinde yani burulma, dever ve nivelman üzerinde ahşap traversin bozulma oranlarını azaltıcı bir etkisi görülmüştür. Yatay geometri parametreleri yani hat genişliği ve eksenden sapma üzerinde ise ahşap traversin bozulma oranlarını artırıcı

etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda ahşap traverslerin düşey yük altında iyi esneme yaptığı ancak yatay kuvvetlere karşı iyi direnç sağlamadığı söylenebilir.

Ray tipinin yatay geometri parametreleri üzerine bir etkisi olduğu görülmüştür. İncelenen hat kesiminde kullanılan ray tipi iki tanedir. 49.050 kg/m ray yerine 49.430 kg/m ray tipi kullanılması durumunda yatay geometri parametrelerinin bozulma oranları arttığı belirlenmiştir.

Ray uzunluğunun tüm hat geometrisi parametreleri üzerinde bir etkisi olduğu görülmüştür ve işareti negatiftir. UKR ray kullanılması durumunda bozulma oranının azaldığı belirlenmiştir.

Yığılımlı yük ve hız bağımsız değişkenlerinin bozulma oranları üzerinde bir etkisinin olduğu tespit edilmiş ancak beklenilmediği gibi negatif değerler bulunmuştur.

Yığılımlı yükün katsayısının negatif olması yükün artmasıyla birlikte bozulma oranının azaldığı anlamına gelmektedir. İncelenen hat kesimine 1995-2001 yılları arasında yapılan tüm BY çalışma sayıları hattın yaş durumuna göre belirlenmiştir. BY grafikleri incelendiğinde, incelenen hat kesiminde yenileme sayısının arttığı ancak bakım sayısının azaldığı görülmüştür. Bu sebeple demiryolu hattının bozulma oranı yenilemelerin etkisiyle azalmaktadır. Bulunan bozulma modeli aynı zamanda TCDD'nin bir bakıma BY politikasını da göstermektedir. TCDD etkin BY programları ile kullanılan malzemelerin ekonomik ömrünü uzatabilir. Böylece Y politikası yerini B ve Y arasında en uygun çözümü sağlayan politikaya bırakacaktır.

Avrupa ve Türkiye'de ki meslektaşlarımızla yaptığımız görüşmelerde, demiryolu organizasyonlarında BY çalışmalarında iki senaryo ile karşılaşılmaktadır. Birinci senaryoda sürekli bir B politikası vardır. İkinci senaryoda ise sürekli Y politikası vardır. Hattı sürekli modern kontrol sistemleriyle ölçen organizasyonlar özellikle B politikası yürütürler. Modern kontrol sistemlerinden yoksun organizasyonlar ise genellikle Y politikası yürütürler. Yapılan araştırmalar sürekli B yapmak yerine Y yapmanın daha ekonomik olduğunu göstermiştir. Ancak en uygun politika B ve Y arasında en uygun çözümü sağlayan seçeneğin tercih edilmesidir.

Bulunan modelde yine aynı şekilde hız bağımsız değişkeninin katsayısı da beklenilmediği gibi negatif değer bulunmuştur. İncelenen hat kesimde yolun düz giden kesimlerinde ya da büyük yarıçaplı kurplarda hızlar yüksektir. Dolayısıyla hızın

yüksek olduğu bu kesimlerde hatta çok büyük yatay ve düşey yükler etkimemektedir. Bu sebeple hızın işaretinin negatif olması bozulmanın az olduğu düz (alignman) kesimleri göstermektedir. Bir başka deyişle, bu analizlerde yer alan hız değişkeni bilinen anlamda hız olarak değil de hizmet düzeyini gösteren bir değer olarak analizlerde yer almıştır. Burada hız değişkeni demiryolu hattında bulunan köprü, menfez, makas, kesişim, istasyon, altyapı, üstyapı ve çevresel koşullar gibi durumları da yansıtmaktadır. Çünkü bir demiryolu hattında işletim hızı belirlenirken yukarıda sıralan tüm parametreler dikkate alınır. Hızın bozulma oranı üzerine olan etkisinin belirlenebilmesi için aynı kesim üzerinde farklı hızlarda (ΔV) tespit edilen bozulmaların incelenmesi gerekir.

Bu çalışmada hız bağımsız değişkeni ihmal edilerek elde edilen sonuçlar yeniden değerlendirilmiştir;

- Hız değişkeninin analizlere dahil edilmediği çalışmada varyans analizi tüm parametrelerde anlamlı bulunmuş ancak daha düşük çoklu belirtme katsayıları (R^2) bulunmuştur.
- Yığılımlı yükün katsayısı yine negatif işaretli bulunmuştur. “Zaman içinde azalan B çalışmalarının ve artan Y çalışmalarının etkisiyle bozulma oranında bir düşüş meydana gelmektedir” şeklinde bir yorum yapılabilir.
- Travers tipine ait katsayının işareti tüm parametrelerde pozitif bulunmuştur. Bu durumda, ahşap traversin bozulma oranını artırıcı bir etkisinin olduğu söylenebilir.
- Eğrilik, boyuna eğim, taş düşme ve sel gibi değişkenlerin katsayıları diğer analizde olduğu gibi yine pozitif işaretli bulunmuştur ve bozulma oranını artırıcı etkileri vardır.
- Hattın düşey geometri parametrelerinde yani burulma, dever ve nivelman üzerinde ray tipinin bozulma oranlarını artırıcı bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, yatay geometri parametreleri yani hat genişliği ve eksenden sapma üzerinde ray tipinin bozulma oranlarını etkilemediği tespit edilmiştir. 49.050 kg/m ray yerine 49.430 kg/m kullanılması durumunda “Neden bozulma oranı artmaktadır?”. TCDD tarafından kullanılan 49.430 kg/m ray tipi üzerinde ayrıntılı bir çalışma yapılmalıdır.

- Ray uzunluğunun hat genişliği dışında tüm hat geometrisi parametreleri üzerinde bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ancak nivelman dışında tümünün işareti negatiftir. UKR contalı raylara tercih edilmektedir. Ancak bu çalışmada hız değişkeninin analizlere dahil edilmediği durumda, nivelman bozulmasında UKR'nin nivelmanın bozulma oranını (diğerlerinin tersine) artırıcı bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Özellikle nivelman bozulması doğrudan balast ve balast altı tabakayla ilgilidir. Herhangi bir noktada meydana gelen deformasyon (bölgesel kusurlar) UKR tipi kullanılması durumunda diğer noktaları da olumsuz etkileyebilir şeklinde bir açıklama yapmak mümkündür. Yatay ve düşey geometrinin bozulmasıyla ilgili ayrıntı açıklamalar Bölüm 2'de bulunmaktadır.

Bu çalışmada bozulma üzerinde etkili olan altyapı ve bağlantı malzemesi gibi parametrelerin etkisi incelenememiştir. TCDD'nin elinde demiryolu hattının altyapı durumuyla ilgili hiç bir veri bulunmamaktadır. Çalışılan kesimde (Arifiye-Eskişehir) tek bir bağlantı tipi (K tipi) kullanılmasından dolayı bağlantı malzemelerinin bozulma mekanizmasına etkisi araştırılamamıştır.

Malzeme değişimi (ray, travers, balast, bağlantı malzemesi gibi) ile ilgili bir çalışma yapılarak, kullanılan malzemelerin ekonomik ömürleri belirlenmeye çalışılmıştır. Weibul dağılımlarını kullanarak, malzemelerin ekonomik ömürlerini belirlemek mümkündür. Ancak TCDD'den geçmiş tarihlere ait yenileme çalışmaları tespit edilememiştir. İleriye yönelik bu konuda ayrıntılı çalışmalar yapılabilir.

Elde edilen bozulma modelleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak çalıştırılmıştır. CBS'nin gücünü kullanarak elde edilen modellerle, kısa ve uzun dönemlerde BY programları hazırlanabilir ve CBS bir karar destek sistemi olarak kullanılabilir. Görsel bir ortamda verilerin değerlendirilmesi özellikle uzman olmayan kullanıcılar için faydalıdır.

Elde edilen bozulma modelleriyle kısa ve uzun dönemlerde BY çalışmaları belirlenmiş ancak “ Ne? ve Ne kadar?” sorusu tespit edilememiştir. Çünkü bu sorunun cevaplandırılması hattı oluşturan tüm malzemeler için bir kural(lar) tabanının oluşturulmasını gerektirir. Bu kural tabanı ancak eldeki ölçülmüş verilerin çokluğu ve doğruluğuyla oluşturulabilir. Bu sebeple TCDD'nin her bir malzeme ile ilgili tüm ölçüm kayıtlarını düzenli bir şekilde tutması gerekmektedir.

Bu çalışmada, elde edilen sonuçların mevcut verilerden kaynaklandığının özellikle belirtilmesi gerekmektedir. Bulunan bozulma modeli ancak mevcut şartlar, politikalar devam ettiği ve korunduğu sürece geçerlidir. Hattı oluşturan bileşenlerin ekonomik ömürlerinin artırılmasına yönelik önlemler alındığında bozulma modelinde yer alan değişkenlerin etkinliği değişecektir. Bu önlemlerin başında modern teknolojiye sahip BY araçlarının ve demiryolu kontrol sistemlerinin kullanılması gelmektedir. Bu çalışmada çok değişkenli istatistik analiz teknikleri kullanılarak hat geometrisi bozulması modellenmeye çalışılmıştır. Diğer yöntemler kullanılarak hat geometrisi bozulmasının davranışının tespit edilmesine yönelik ayrıntılı çalışmalar yapılabilir.

Yapılan bu çalışmada hat geometrisi bozulması mevcut şartlarda en iyi şekilde tespit edilmeye çalışılmış ve aşağıda belirtilen konularda katkı sağlanmıştır:

a) Hat geometrisinin bozulma modelinin belirlenmesinde homojen analiz kesimleri dikkate alınmıştır.

Demiryolu hat geometrisi bozulmasının matematiksel olarak modellenmesi oldukça zor bir çalışmadır. Çünkü pek çok değişken olayı etkilemektedir. Bu çalışmada demiryolu hattı homojen özellikler taşıyan analiz kesimlerine bölünerek incelemeye alınmıştır. Geçmişte hat geometrisi bozulmasının istatistik modelinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ancak bu çalışmalarda demiryolu kontrol araçlarından elde edilen 100 ya da 200 m uzunluğunda birim kesimlerden elde edilen uzunluklar dikkate alınarak yapılmıştır. Günümüzde çoğu demiryolu organizasyonu hala demiryolu kontrol araçlarından elde edilen sabit uzunlukta analiz kesimlerinden elde edilen sonuçları esas alarak BY programlarını hazırlamaktadır.

b) Bozulma modelinin belirlenmesinde çevresel faktörler dikkate alınmıştır.

Hat geometrisi bozulmasını etkileyen faktörlerden birisi de çevresel faktörlerdir. Bu çalışmada heyelan, taş düşmesi, sel baskını, kar gibi çevresel faktörler dikkate alınmıştır. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda çevresel faktörler dikkate alınmamıştır.

c) Kağıda dayalı veriler mümkün olduğunca etkin bir şekilde kullanılmıştır.

Demiryolu hatları yüzlerce yıl yaşlarında olduğundan verilerin çoğu kağıda dayalıdır. Demiryollarında eski teknoloji kullanan demiryolu organizasyonlarının kayıtları hala kağıt üzerindedir. TCDD’de hat geometrisi verileri ve demiryolu hattına yapılan BY

alışmalarının tümü kağıt üzerindedir. Bu çalışmada kağıda dayalı veriler etkin bir şekilde kullanılmıştır. Kağıt zerindeki verilerin değerlendirilebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve çeşitli programlar yazılmıştır. Günümüzde demiryolu organizasyonları tarafından kullanılan demiryolu BY programları ancak belirli nitelikteki sayısal verileri (standart sapma, kalite indeksleri vb.) kullanarak çalışabilmektedirler.

d) BY alışmaları gruplandırılmış ve istatistik modele dahil edilmiştir.

Bu alışmada BY alışmaları etkin olduğu hat geometrisi dikkate alınarak gruplandırılmış ve daha sonra istatistik analizlere dahil edilmiştir. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda böyle bir gruplandırma yapılmamıştır.

e) Yapılan alışmalarda CBS teknolojisi kullanılmıştır.

CBS kullanılarak hatla ilgili görsel bir veri tabanı oluşturulmuştur. Dağınık ve anlaşılmaması zor olan veriler bir araya getirilmiş ve görsel analizler yapılmıştır. Elde edilen bozulma modeli CBS ortamında çalıştırılmıştır. Bunun için CBS ortamında çalışan programlar yazılmıştır. Bu konuda CBS'nin kullanıldığı bir çalışma yapılmamıştır.

KAYNAKLAR

Başarsoft, 2004. <http://www.basarsoft.com.tr/>

CEN prEN 13848-1, 2003. Railway Applications-Track-Track geometry quality-Part 1: Characterization of track geometry, *European Committee for Standardization*, December, Brussels.

CEN prEN 13848-2.13, 2003. Railway Applications-Track-Track Geometry Quality-Part 2: Measuring devices-Track recording vehicles, *European Committee for Standardization*, July, Brussels.

Crye, L., 2001. Low-Altitude Laser Surveys Provide Flexibility and Savings, *Public Roads, Federal Highway Administration (FHWA)*, **65**, 2-7.

Daniel, L., Loree, P. and Whitener, A., 2002. MapInfo Professional, 3rd Edition, MapInfo Corporation Press, Vancouver, BC, Canada.

Ecotrack, 1998. Report ERRI D187/ECOTRACK User Manuel (Version 1.1), European Rail Research Institute, Utrecht.

Edwards, R.S., Dixon S., Jian, X., 2004. Non-Contact Ultrasonic Testing of The Railhead, *Railway Engineering-2004 the Seventh International Conference, "Maintenance & Renewal of Permanent Way; Power & Signaling; Structures & Earthworks"*, London, July 6-7, pp. 13-81.

Ercan, M., 1997. Bilimsel Araştırmalarda İstatistik, Orman Bakanlığı Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 2.Baskı, İzmit.

Ergun, M., Guler, H., Delice, Y., Caliskan, N., 2004. GIS-Based Transportation Infrastructure Management Systems of Istanbul: Case of Sariyer Municipality, *24th Urban Data Management Symposium*, Venice, Italy, October 27-29, pp. 8.33-8.43.

ESRI, 2004. <http://www.esri.com/industries/transport/rail.html/>

Esveld, C., 1989. Modern Railway Track, First Edition, MRT Productions, The Netherlands.

Esveld, C., 1997. Innovation for The Control of Infrastructure Maintenance, *Rail International*, February, pp. 23-26.

Esveld, C., 2001. Modern Railway Track, Second Edition, MRT Productions, The Netherlands.

- Fateh, M.**, 2000. Fractal Analysis of Geometry Data for Railroad Track Condition Assessment (Research Results), *US Department of Transportation-Federal Railroad Administration, RR00-06*, December.
- FLI-MAP**, 2004. <http://www.flimap.com/>
- Girardi, L., Berthier, Y., Chollet, H.**, 2001. Rail Maintenance Oriented Wheel-Rail Contact Knowledge, *4th World Congress on Railway Research (WCRR 2001)*, Köln, Germany, November 26-28, pp. 26-38.
- Göksel, Ç.**, 1996. Elmalı ve Alibeyköy Su Havzalarının Uydu Görüntü Verileriyle İzlenmesi ve Bilgi Sistemi Oluşturulması Olanakları, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kasım, İstanbul, s. 16-28.
- Guler, H.**, 2003a. Demiryolu Hattına Yapılan Bakım-Yenileme Çalışmaları İle Meydana Gelen Kazalar Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, IV.Ulaşım ve Trafik Kongre ve Sergisi*, Ankara, 26-27 Eylül, s. 421-427.
- Guler, H., Akad, M., Ergun, M.**, 2004a. Railway Asset Management System in Turkey: A GIS Application, *FIG Working Week 2004, Intercontinental Athenaeum Athens*, Greece, May 22-27, pp. TS20-3.1-TS20-3.11.
- Guler, H., Evren, G., Jovanovic, S.**, 2004b. Application of Geographic Information Systems for Railway Track Maintenance and Renewal Management, *10th World Conference on Transport Research*, Istanbul, Turkey, July 4-8, pp. 158.1-158.14.
- Guler, H., Jovanovic, S.**, 2003b. Getting More Efficient Railway Track By Using ECOTRACK System, *Technical Congress of Kucukcekmece and Its Periphery*, Istanbul, May 22-24, pp. 547-560.
- Guler, H., Jovanovic, S.**, 2004c. The Application of Modern GIS Technology in the Development of Railway Asset Management Systems, *International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE-SMC)*, The Hague, The Netherlands, October 10-13, pp. 4153-4158.
- Güler, H., Kaçmaz, S.**, 2003c. Demiryollarında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması, *İMO Ulaştırma Politikaları Kongresi*, 16-17 Ekim, s. 183-191.
- Guler, H., Kacmaz, S.E., Alpkokin, P.**, 2004d. Evaluation of Railway Accidents by Using Geographic Information Systems, *6th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Bogazici University, Istanbul, Turkey, October 6-8, pp. 1713-1719.
- Güler, H., Seçkin, İ.**, 2002. Demiryolu Hat Bakımının İncelenmesi İçin Yapılması Gereken Ön Belirlemeler, *Balıkesir Üniversitesi 4. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu*, Eylül 11-13, s. 213-223.
- Günoral, Ş.**, 2002. Balastlı Üstyapılarda Yol Bakım ve Tamirâtı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım A.Ş. Yayınları, Temmuz, İstanbul.

- Hanowa, M.**, 1999. TC Type Low-Maintenance Track for Existing Lines, *Rail International*, March, pp. 32-42.
- Herkes, M.C.**, 2004. Development of POSS monitoring technology, Innovation: driver of change or driven by change?, *Switch to Delft 2004 Conference*, Delft, March 16-18, pp. 22.1-22.15.
- Hyslip, J. P., Selig, E. T., Smith, S. S., Olhoeft G. R.**, 2004. Ground penetrating radar for railway Substructure condition assessment, *Railway Engineering-2004 the Seventh International Conference, "Maintenance & Renewal of Permanent Way; Power & Signaling; Structures & Earthworks"*, London, July 6-7, pp. 13-81.
- iMAR**, 2004. <http://www.imar-navigation.de/>
- Jovanovic, S.**, 2004. Kişisel görüşme.
- Jovanovic, S., Korpanec, I.**, 2000. Three Years of Experience with ECOTRACK Implementation and Use, *International Railway Journal (IRJ)*, August, pp. 5-20.
- Lau, A., Keefe, R., Ravitharan, S.S.S.**, 2000. Improving Rail Performance, *Conference on Railway Engineering CORE2000*, Adelaide, May 21-23, pp. 39.1-19.7.
- LEVI, D.**, 2001. Optimisation of Track Renewal Policy, 4th *World Congress on Railway Research (WCRR 2001)*, Köln, Germany, November 26-28, pp. 345-353.
- Levi, D.**, 2004. Kişisel görüşme.
- Manacorda, G., Morandi, D., Sarri, A.**, 2002. A customized GPR system for railroad tracks verification, *Ninth International Conference on Ground Penetrating Radar, Proceedings of SPIE*, 4758, pp. 719-722.
- MapInfo**, 2004. <http://www.mapinfo.com/>
- Markine V.L., Esveld C.**, 2000. Determination of Train Speed Limits on Renewal Tracks Using Tamping Machines and Numerical Optimization, *Railway Engineering 2000, 3rd International Conference*, London, July 5-6, pp. 150-164.
- Mer Mec**, 2004. <http://www.mermec.it/>
- Mintsis, G., Basbas, S. Papaioannou, P., Taxiltaris, C., Tziavos, I.N.**, 2004. Application of GPS Technology in The Land Transportation System, *European Journal of Operational Research*, 152, 399-409.
- Miura, S., Takai H, Uchida M., Fukada Y.**, 1998. The Mechanism of Railway Tracks, *Japan Railway & Transport Review (JRTR)*, Tokyo, Japan, March, 15, pp. 38-45.
- Montgomery, D. C. and Peck, E. A.**, 1982. Introduction to Linear Regression Analysis, Wiley, New York.

- M-PV7**, 1987. Rail Recording Railcar User Manuel, Office for M-PV7 of MATISA, Swiss.
- Murthy, T.K.S, Lawrence, L.S and Rivier, R.E**, 1987. Computers in Railway Management, *British Library Cataloguing in Publication Data*, Great Britain, pp. 161-178 and pp. 203-216.
- NASA**, 2004. <http://www.nasa.gov/>
- Omnicom Engineering**, 2004. <http://omnieng.co.uk/>
- Özdamar, K.**, 1999. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi, Kaan Kitap Evi, 2. Baskı, Eskişehir, Ağustos.
- Plasser & Theurer**, 2004. <http://www.deutscheplasser.de/>
- Profillidis, V. A.**, 1995. Railway Engineering, Avebury Technical Ashgate Publishing Limited, England.
- Rasmussen, S., Krarup, J. and Hildebrand, G.**, 2002. Non-contact Deflection Measurement at High Speed. *6th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways, and Airports*, Lissabon, Portugal, June 24-26, pp. 255-263.
- Reha, A.**, 2003. Uygulamalı Çok değişkenli İstatistiksel Yöntemler Giriş 1, 2. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ocak.
- Report D148, No. 5**, 1982. Means for Improving Rails, Office for Research and Experiments of The International Union of Railways, Utrecht.
- Report D161, No. 1**, 1987. Dynamic Vehicle/Track Interaction Phenomena from The Point of View of Track Maintenance, Office for Research and Experiments of The International Union of Railways, Utrecht, April, 17-47.
- Report ERRI D 187/RP 1**, 1993. Decision Support System for Permanent Way Maintenance and Renewal, Specification for A Prototype Based on Expert Systems, European Rail Research Institute Utrecht, January.
- Report ERRI D187/DT 299**, 1994. Decision Support System for Track Maintenance and Renewal-ECOTRACK, European Rail Research Institute, Utrecht, April.
- Ripple, J.W.**, 1989. Fundamentals of Geographic Information Systems: A compendium, American Congress Press, Bethesda, Md, USA.
- RouteWare**, 2004. <http://www.routeware.dk/>
- Sawley, K.J**, 2001. Wheel/Rail Profile Maintenance, *4th World Congress on Railway Research (WCRR 2001)*, Köln, Germany, November 26-28, pp. 320-332.
- Schilder, R., Piereder, F.**, 2000. Formation Rehabilitation on Austrian Federal Railways-Five Years of Operation Experience with the AHM 800-R, *Rail Engineering International*, 4, 11-16.

- Schramm, G.**, 1961. Permanent Way Technique and Permanent Way Economy, 1st Edition, Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Darmstadt.
- Suiker, A. S. J.**, 2002. The Mechanical Behavior of Ballasted Railway Tracks, *A PhD thesis in Civil Engineering*, Faculty of and Geosciences and the Faculty of Aerospace Engineering at Delft University of Technology, Delft University Press, June 24, pp. 1-11.
- Sussmann, T., Kish, A., and Trosino, M.**, 2003. Investigation of the Influence of Track Maintenance on the Lateral Resistance of Concrete Tie Track, *Transportation Research Board Conference*, January 12-16, Washington, pp. 4.1-4.18.
- Tahtacı, M.**, 1997. M-PV7 Demiryolu Kontrol Aracı Notları, *TCDD 1. Bölge Yol Müdürlüğü*, İstanbul.
- TCDD İstatistik Yıllığı**, 2000. TCDD Yol Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- TCDD Kaza/İstatistikleri**, 1997-2000. Tesisler Dairesi Başkanlığı Kaza/Olaylar Değerlendirme ve Mevzuat Şubesi, Ankara.
- Thill, J.C.**, 2000. Geographic Information Systems for Transportation in Perspective, *Transportation Research Part C*, **8**, 3-12.
- Uddin, W., Al-Turk, E.**, 2001. Airborne LIDAR Digital Terrain Mapping for Transportation Infrastructure Asset Management, *5th International Conference on Managing Pavements*, Seattle, August 10-14, pp. 178.1-178.14.
- Uddin, W., Yiqin, L., L. Phillips, D.**, 2001. Integration of Remote Sensing and Geospatial Technologies for Managing Transportation Infrastructure Assets, *2nd International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control*, Auburn, Alabama, July 29-August 1, pp. 01-053.1-01-053.15.
- Van Ginkel, W.J., Van Veen, H.P.M.**, 2004. Practical maintenance specifications for switches, *Switch to Delft 2004 Conference*, Delft, March 16-18, pp. 4.1-4.4.
- Vitosoglu, Y., Guler, H., Caliskan, N.**, 2004. Analysing Rail Freight Transportation in Turkey: A GIS Application, *9th International Conference on Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Railway and Other Advanced Transit Systems, COMPRAIL 2004*, Dresden, Germany, May 17 – 19, pp. 380-390.
- White, D.L.**, 1998. Statistical Characterizations of Vehicle and Track Interaction Using Rail Vehicle Response and Track Geometry Measurements, *A Master of Science in Mechanical Engineering*, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, July, pp. 5-22.
- Wilfert, B., Pfarrer, H., Steininger, U., Karff, H.**, 2001. Safety Management During Construction and Maintenance of Infrastructure-A Field Experience Report, *4th World Congress on Railway Research (WCRR 2001)*, Köln, Germany, November 26-28, pp. 55-64.

Wittwer, E., Bittner J., Switzer, A., 2002. The Fourth National Transportation Asset Management Workshop, *International Journal of Transport Management*, **1**, 87-99.

Yomrahoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri, Seçil Ofset, 1.Baskı, İstanbul.



EKLER LİSTESİ	Sayfa No
EK A: ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL ANALİZ	165
A.1 Çoklu Doğrusal Regresyon Analizinin Yapılması	168
A.2 Regresyon Modelin Yeterliliği İle İlgili Ölçüler	175
EK B: BURULMA BOZULMA MODELİ	181
EK C: HAT GENİŞLİĞİ BOZULMA MODELİ	195
EK D: EKSEN BOZULMA MODELİ	207
EK E: DEVER BOZULMA MODELİ	219
EK F: NİVELMAN BOZULMA MODELİ	232
EK G: BY GRAFİKLERİ	245
EK H: TÜRKİYE CUMHURİYETİ DEVLET DEMİRYOLLARI AĞININ CBS'YE AKTARILMASI	250
H.1 TCDD Ağının Geometrik Düzeltmesi	250
H.2 TCDD Ağının Vektörel Haritasının Oluşturulması	251
H.3 TCDD Ağının Grafik Olmayan Verilerinin Hazırlanması ve CBS Ortamına Aktarılması	252
H.4 CBS Ortamında Bulunan TCDD Ağı Üzerinde Yapılan Analizler	254
H.5 Bozulma Modelinin CBS Ortamında Çalıştırılmasıyla İlgili Örnek Çalışma	259

A. ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Bu bölümde, çalışmada kullanılan istatistik analizler ve çoklu regresyon analizi ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Varyans, Kovaryans ve Varyans-Kovaryans Matrisleri: Tek değişkenli analizde, dağılımın yaygınlığı hakkında bilgi veren ölçülerden biri olan ve daha çok simetrik yapıdaki dağılımların yaygınlığını tanımlamakta kullanılan standart sapma genellikle s ile gösterilirken, standart sapmanın karesi olan varyans s^2 ile gösterilir. Varyans aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

$$s^2_j = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{ij}\right)^2}{n}}{n-1} \quad (\text{A.1})$$

Varyansın çok değişkenli analizdeki karşılığı ise $p \times p$ boyutlu simetrik varyans-kovaryans matrisidir ve çoğunlukla $S=(s_{ij})_{p \times p}$ ile gösterilir. Varyans-kovaryans matrisinde, s_{ii} yani $(i=j)$ elemanları değişkenlere ilişkin varyansları verirken, s_{ij} yani $(i \neq j)$ elemanları kovaryans değerini verir. P tane değişken için S matrisi aşağıdaki gibi olur;

$$S = \begin{bmatrix} \text{Var}(x_1) & \text{Kov}(x_1x_2) & \text{Kov}(x_1x_3) & \dots & \text{Kov}(x_1x_p) \\ \text{Kov}(x_2x_1) & \text{Var}(x_2) & \text{Kov}(x_2x_3) & \dots & \text{Kov}(x_2x_p) \\ \text{Kov}(x_3x_1) & \text{Kov}(x_3x_2) & \text{Var}(x_3) & \dots & \text{Kov}(x_3x_p) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \text{Kov}(x_px_1) & \text{Kov}(x_px_2) & \text{Kov}(x_px_3) & \dots & \text{Var}(x_p) \end{bmatrix} \quad (\text{A.2})$$

veya;

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & \dots & s_{1p} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} & \dots & s_{2p} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} & \dots & s_{3p} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ s_{p1} & s_{p2} & s_{p3} & \dots & s_{pp} \end{bmatrix} \quad (A.3)$$

Ölçümle belirtilen (sürekli sayısal veri tipindeki) iki değişken arasındaki doğrusal ilişki ölçülerden biri olan kovaryans değerinin formülü, ilk iki değişken için aşağıda verilmiştir;

$$s_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i1} - \bar{x}_1)(x_{i2} - \bar{x}_2)}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i1}x_{i2})}{n-1} - \frac{(\sum_{i=1}^n x_{i1})(\sum_{i=1}^n x_{i2})}{n} \quad (A.4)$$

Çok değişkenli analizde tek bir ortalama değil, p tane ortalama vardır ve gösterimi ortalama vektörü yardımıyla yapılır. j. değişkene ilişkin ortalama;

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (A.5)$$

ile gösterilirken, p tane değişkene ilişkin ortalama vektörü (j=1,.....,p), için;

$$\bar{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \bar{x}_p \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad (A.6)$$

Değişkenlerden birinin değeri artarken diğerinin değeri de artıyor ya da biri azalırken diğeri de azalıyorsa iki değişken arasında kovaryans değeri pozitif olacaktır. Değişkenlerden birinin değeri artarken diğerinin değeri azalıyorsa ya da birinin değeri azalırken diğerinin değeri artıyorsa kovaryans değeri negatif çıkacaktır. Eğer değişkenler arasında belirgin bir ilişki yoksa, kovaryans sıfıra yakın bir değer olur. Yukarıdakinin dışında, kovaryansın bir diğer tanımı da; “her iki değişkendeki gözlemlerin, kendi ortalamalarından ayrılışlar çarpımının ortalamasıdır” şeklinde yapılabilir. Diğer bir deyişle kovaryans, ortalamaya göre düzeltilmiş değişkenlerin

çarpımlar toplamının serbestlik derecesine bölünmesi ile hesaplanır. Gözlem sayısı fazla olduğunda, paydada n-1 yerine n'nin kullanılması tercih edilir. Eşitlik A.4 'den anlaşılacağı üzere, bir değişkenin kendisi ile yaptığı kovaryans, o değişkenin varyansına eşittir. Kovaryans değeri değişkenlerin birimlerinden etkilenir (Reha, 2003; Ercan, 1997; Özdamar, 1999). Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için varyans-kovaryans matrisleri elde edilerek değişkenler arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

Korelasyon (ilişki) Katsayısı ve Korelasyon Matrisi: Kovaryans değeri gibi korelasyon katsayısı da (Pearson's Product Moment Correlation Coefficient), iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin ölçüsüdür ve r ile gösterilir. r, incelenen değişkenlerin birimlerinden bağımsızdır ve -1 ile +1 arasında değişir ($-1 \leq r \leq +1$). Korelasyon katsayısı -1 ve +1'e yaklaştıkça ilişkinin kuvveti artarken, 0'a yaklaştıkça ilişkinin kuvveti azalır. -1 tam negatif ilişkiyi, +1 ise tam pozitif ilişkiyi tanımlar. Korelasyon katsayısı değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi tanımladığı için, doğrusal olmayan ilişkiler korelasyon katsayısında temsil edilmeyecektir. İki değişken arasındaki korelasyon katsayısı kovaryans değerine bağlı olarak da bulunabilir ve;

$$r_{x_i x_j} = \frac{\text{Kov}(x_i x_j)}{\sqrt{\text{Var}(x_i)} \sqrt{\text{Var}(x_j)}} \quad (\text{A.7})$$

ile verilir. Değişkenler arasındaki korelasyon matris şeklinde özetlenebilir ve korelasyon matrisi $R=(r_{ij})_{p \times p}$ ile gösterilir. Aşağıda p değişken için bir örnek korelasyon matrisi verilmiştir;

$$R = \begin{bmatrix} r_{x_1 x_1} & r_{x_1 x_2} & r_{x_1 x_3} & \dots & r_{x_1 x_p} \\ r_{x_2 x_1} & r_{x_2 x_2} & r_{x_2 x_3} & \dots & r_{x_2 x_p} \\ r_{x_3 x_1} & r_{x_3 x_2} & r_{x_3 x_3} & \dots & r_{x_3 x_p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{x_p x_1} & r_{x_p x_2} & r_{x_p x_3} & \dots & r_{x_p x_p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2p} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \dots & r_{3p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & r_{p3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{A.8})$$

Korelasyon matrisinin asıl köşegen öğeleri 1'e eşittir. Çünkü, bir değişkenin kendisi ile yaptığı korelasyon 1'dir. Örneğin r_{12} ya da r_{21} ; birinci değişken ile ikinci değişken arasındaki korelasyon katsayısını ifade etmektedir. Çünkü, bu matris de kovaryans matrisi gibi simetriktir.

Korelasyon ve kovaryans değerlerinin işaretleri aynı olmakla birlikte, korelasyon katsayısını yorumlamak kolaydır. Çünkü r 'nin büyüklüğü sınırlıdır ve yukarıda belirtildiği gibi -1 ile +1 arasında değişir. Gerek korelasyon katsayısı gerekse de kovaryans değeri, iki değişken arasındaki ilişki hakkında bilmek istediklerimizin çoğunu taşır. Ancak, iki değişken arasında doğrusal olmayan bir ilişki varsa gerek s gerekse de r , ilişki hakkında daha az bilgi vermektedir. Ayrıca, bu ölçüler aşırı değerlere karşı çok duyarlı olabilirler ve iki değişken arasında ilişki yok ya da yok denecek kadar az iken, böylesi bir ya da birkaç gözlem nedeniyle değişkenler arasında kuvvetli ilişki olduğu sonucuna ulaşılabilir. Bunun tersi durumlarla da karşılaşılabilir. Örneğin, iki değişken arasında kuvvetli bir ilişki var iken bir ya da birkaç gözlem nedeniyle olduğundan düşük bir ilişki miktarı elde edilebilir. Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için korelasyon matrisleri elde edilerek değişkenler arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

Saçılım Grafikleri: İlişkilerin yapısı hakkında bir bilgi elde etmek için en iyi yöntem değişkenlerin saçılım (nokta) grafiklerini incelemektir. Saçılım grafiklerinde, iki değişkenin birlikte dağılımı incelenir. Saçılım grafiği oluşturulurken; gözlem çiftlerinin kesiştiği yere bir nokta (ya da başka işaret) konur. Değişken sayısı fazla olduğunda, tüm ikişerli grafikleri tek tek çizmek bilgisayar ortamında bile vakit alacağından, tüm ikişerli saçılım grafiklerinin tek bir grafik üzerinde gösterilmesi daha uygun olacaktır. Bu amaçla, matris şeklindeki saçılım grafiklerinden yararlanılır (Reha, 2003; Ercan, 1997; Özdamar, 1999). Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için saçılım grafikleri elde edilerek ilişkilerin yapısı belirlenmiştir.

A.1 Çoklu Doğrusal Regresyon Analizinin Yapılması

Çoklu regresyon çözümlemesinde bağımlı değişken y , bağımsız değişkenler $x_1, x_2, \dots, x_p$ ile gösterilir. Verilere ilişkin genel gösterim Tablo A.1'de verilmiştir. Çoklu doğrusal regresyonda y bağımlı değişkeni ile $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_p$ bağımsız değişkenleri arasında ilişki gözlemler cinsinden;

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_j x_{ij} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i \quad (A.9)$$

ile verilir.

Tablo A.1 Çoklu regresyon modelinde verilerin gösterimi

Gözlem	Bağımlı Değişkenler	Bağımsız değişkenler						
	y	x ₁	x ₂	x ₃	...	x _j	...	x _p
1	y ₁	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	...	x _{1j}	...	x _{1p}
2	y ₂	x ₂₁	x ₂₂	x ₂₃	...	x _{2j}	...	x _{2p}
3	y ₃	x ₃₁	x ₃₂	x ₃₃	...	x _{3j}	...	x _{3p}
...	.	...	...	...	...	...	...	...
i	y _i	x _{i1}	x _{i2}	x _{i3}	...	x _{ij}	...	x _{ip}
n	y _n	x _{n1}	x _{n2}	x _{n3}	...	x _{nj}	...	x _{np}

Denklem (A.9)'da sadece değişkenler dikkate alınarak,

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_j x_{ij} + \dots + \beta_p x_{ip} + \epsilon_i \quad (\text{A.10})$$

olarak yazılabilir. Burada $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j, \dots, \beta_p$ bilinmeyenlerine regresyon katsayıları denir. Herhangi bir β_j regresyon katsayısı, diğer değişkenler sabit tutulduğunda (diğer değişkenlerin etkisi ortadan kaldırıldığında) x_j değişkeninde meydana gelen bir birimlik değişmeye karşılık y değişkenindeki beklenen değişiklik miktarını verir. Diğer bir deyişle $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j, \dots, \beta_p$ bağımsız değişkenlerinin y 'nin kestirimine yaptıkları göreceli katkıya ilişkin ağırlıklardır. Bu nedenle, β_j ($j=1,2,\dots,p$) parametreleri genellikle kısmi regresyon katsayıları olarak adlandırılır. β_0 'a ise kesim noktası ya da sabit terim denir ve tüm x_j değişken değerleri sıfır olduğunda bağımlı değişkenin aldığı değeri gösterir. ϵ_i hata (yanılgı) terimidir. Buradan, regresyon kestirim denklemi (gözlemler cinsinde);

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \dots + b_p x_{ip} \quad (\text{A.11})$$

ile verilir. Çoklu regresyon denklemi yardımıyla, bağımlı değişkenin belirlenmesinde “her bir bağımsız değişkenin göreceli önemi” belirlenmiş olur. Bu bağlamda, çoklu doğrusal regresyonu basit doğrusal regresyondan ayıran özellik; her bir bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişkinin eşanlı olarak belirlenmesidir. i.artık (ϵ_i);

$$\epsilon_i = y_i - \hat{y}_i \quad (\text{A.12})$$

olarak yazılır. e_i 'ler çoğunlukla modelin yeterliliğini değerlendirmekle ve gerekli varsayımların araştırılmasında kullanılır. Çoklu doğrusal regresyon denkleminin matrislerle elde edilmesi aşağıda gösterilmiştir;

$$Y = X\beta + \epsilon \quad (A.13)$$

ile verilir. Burada;

Y : $n \times 1$ boyutlu bağımsız değişken vektörü

X : $n \times (p+1)$ boyutlu girdi matrisi olup bu matrisin ilk sütunu 1'lerden, diğer sütunları değişken değerlerden oluşur.

β : $(p+1) \times 1$ boyutlu katsayılar vektörü

ϵ : $n \times 1$ boyutlu hata vektörü

olmak üzere yukarıdaki eşitliği n gözlem için aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ . \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{11} & \dots & x_{2p} \\ 1 & x_{32} & x_{11} & \dots & x_{3p} \\ 1 & . & . & \dots & . \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ . \\ \beta_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ . \\ \epsilon_n \end{bmatrix} \quad (A.14)$$

ile verilen örneklem kestirim denklemi ise;

$$\hat{Y} = X\hat{\beta} \quad (A.15)$$

olarak verilir. Burada β' : $b_0, b_1, b_2, \dots, b_p$ 'den oluşan $(p+1) \times 1$ boyutlu katsayılar vektörüdür. Çoklu regresyon çözümlemesinde, regresyon katsayılarının en küçük kareler yöntemi ile bulunması için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır.

$$\hat{\beta} = [X'X]^{-1}X'Y \quad (A.16)$$

Yukarıdaki eşitlikte $[X'X]$ matrisinin tersinin alınabilmesi gerekir. Bunun için ise bağımsız değişkenler doğrusal bağımsız olmalıdır. Eğer bir bağımsız değişken bir diğer bağımsız değişken ya da değişkenlerin bir doğrusal fonksiyonu olarak yazılabiliyorsa, $[X'X]$ matrisinin tersi alınmayacaktır. Yukarıdaki eşitlikte, $\hat{\beta}$ ile $X'X$ ve $X'Y$ çarpımlarına ilişkin sonuç matrisler boyutları ile birlikte aşağıda verilmiştir (Reha, 2003; Ercan, 1997; Özdamar, 1999).

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix}_{[(p+1) \times 1]} \quad (A.17)$$

$$X'X = \begin{bmatrix} n & \sum x_1 & \sum x_2 & \dots & \sum x_p \\ & \sum x_1^2 & \sum x_1 x_2 & \dots & \sum x_1 x_p \\ & & \sum x_2^2 & \dots & \sum x_2 x_p \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ & \text{sim.} & & & \sum x_p^2 \end{bmatrix}_{[(p+1) \times (p+1)]} \quad (A.18)$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum x_1 y \\ \sum x_2 y \\ \vdots \\ \sum x_p y \end{bmatrix}_{[(p+1) \times 1]} \quad (A.19)$$

Çoklu regresyon modelinin elde edilmesinde üç temel yöntemden söz edilebilir. Bunlar; standart çoklu regresyon, aşamasıralı (hiyerarşik) regresyon ve adımsal (stepwise) regresyondur. Standart regresyonda tüm bağımsız değişkenler modelde yer alır.

Çoklu doğrusal regresyonda en iyi regresyon denklemi elde etmek için kullanılan ve tercih edilen yöntem adımsal (stepwise) regresyondur. İleriye doğru seçim yönteminin daha gelişmiş bir şekli olarak düşünülebilir. İleriye doğru seçim ve geriye doğru çıkarma yöntemlerinin her ikisini de kapsamaktadır. İlk adımında bağımlı değişkenle en yüksek korelasyonlu bağımsız değişken işleme alınır. Her adımda kısmi F testi denklem içindeki bütün bağımsız değişkenler için hesaplanır. Bir önceki adımda önemli bulunan bir değişken bir sonraki adımda işleme katılmayabilir. Her adımda denkleme hangi yeni değişkenin katılması kısmi korelasyon katsayısı ile belirlenir (Montgomery ve Peck, 1982).

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için standart ve adımsal çoklu doğrusal regresyon analizi yapılarak regresyon katsayıları elde edilmiştir.

Çoklu regresyonda hipotez testleri: Çoklu regresyon denklemi elde edildikten sonra, çeşitli hipotezler testleriyle test edilebilir. Öncelikle, varyans analizi yapılarak, bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından açıklanıp açıklanmadığı, diğer bir deyişle, bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler kümesi arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığı test edilir. F dağılışı yardımıyla yapılan bu testte H_0 hipotezi, tüm regresyon katsayılarının sıfıra eşit olduğu ($H_0: \beta_1=\beta_2=\dots=\beta_p=0$) şeklinde kurulurken, H_1 hipotezi, en az bir β_j 'nin sıfırdan farklı olduğu şeklinde kurulur. F_H istatistiği; $p, n-1-p-1$ serbestlik dereceli F tablo değeri (F_T) ile karşılaştırılır. Eğer, $F_H < F_{T(Sd=p, n-p-1; \alpha)}$ ise H_0 hipotezi kabul edilir (Reha, 2003; Ercan, 1997; Özdamar, 1999). Çoklu regresyonla ilgili varyans analiz tablosunun matris gösterimi Tablo A.2'de gösterilmiştir (RKT=Regresyon kareler toplamı, AKT=Artık kareler toplamı).

Tablo A.2 Çoklu regresyonda varyans analiz tablosu

Değişim kaynağı (DK)	Kareler toplamı (KT)	Serbestlik derecesi (Sd)	Kareler ortalaması (KO)	F değeri
Toplam	$Y' - Yn\bar{y}^2$	$n-1$		
R	$\hat{\beta}'X'Y - n\bar{y}^2$	p	RKT/p	RKO/AKO
Artık (A)	$Y'Y - \hat{\beta}'X'Y$	$n-p-1$	$AKT/(n-p-1)$	

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için varyans analizi yapılarak bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından açıklanıp açıklanmadığı test edilmiştir.

Regresyon katsayılarının test edilmesi: F istatistiğine ilişkin H_0 hipotezinin reddedilmesi durumunda, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin varlığından söz edilmekle birlikte, katsayılarla ilişkin sadece “en az bir regresyon katsayısının sıfırdan farklı olduğu” yorumu yapılır. Bu durumda hangi regresyon katsayısı ya da katsayılarının sıfırdan farklı olduğu ya da hangilerinin sıfıra eşit olduğu test edilebilir. β_j regresyon katsayısının β_j^0 gibi bir değere eşit olup olmadığı aşağıdaki denklemle kontrol edilir:

$$t = \frac{t_j - \beta_j}{s(b_j)} \quad (A.20)$$

$s(b_j)$, j. regresyon katsayısına ilişkin standart hatadır ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla tespit edilebilir;

$$S(b_j) = s \sqrt{[X'X]_{jj}^{-1}} = \sqrt{AKO} \sqrt{[X'X]_{jj}^{-1}} \quad (A.21)$$

Bulunan t_H değeri, seçilen yanılma düzeyinde $n-p-1$ serbestlik dereceli t tablo değeri ile karşılaştırılır. $H_0:\beta_j=0$ ve $H_1:\beta_j \neq 0$ ise ve test sonucunda H_0 hipotezi kabul edilirse

($t_H < t_{T(Sd=p, n-p-1; \alpha)}$ ise); ilgili regresyon katsayısına ilişkin değişkenin modele katkısının önemli olmadığı ve istenirse modelden çıkartılabileceği anlaşılr (Reha, 2003; Ercan, 1997; Özdamar, 1999).

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için regresyon katsayılarının modele olan katkıları %5 güvenliğinde test edilmiştir.

Standartlaştırılmış regresyon katsayıları: Bağımlı ve bağımsız tüm değişkenleri standartlaştırıp tek ölçü birimi durumuna getirmek ve elde edilen standartlaştırılmış regresyon katsayılarının büyüklüğünü inceleyerek değişkenlerin modele yaptıkları katkı konusunda bir fikir elde edilebilir. Standartlaştırılmış regresyon katsayılarından en büyüğüne ilişkin değişkenin, modele en fazla katkıyı yapan değişken olduğuna karar verilir. Standartlaştırılmış regresyon katsayısı b_j^* ;

$$b_j^* = b_j \frac{s_j}{s_y} \quad (A.22)$$

s_j : j. Değişkene ilişkin standart sapma

s_y : Bağımlı değişkene ilişkin standart sapma

Standartlaştırılmış regresyon katsayılarına BETA katsayıları da denir (Reha, 2003; Ercan, 1997; Özdamar, 1999).

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için standartlaştırılmış regresyon katsayıları tespit edilmiştir.

Çoklu Korelasyon Katsayısı (R): Y ile x_1 gibi iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin miktarı basit korelasyon katsayısı ile verilir. Benzer şekilde, birden fazla bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında ne derecede bir ilişki olduğunu gösteren ölçüye çoklu korelasyon katsayısı denir ve R ile gösterilir. Çoklu korelasyon katsayısı gözlenen y_i değerleri ile kestirilen $\hat{y}_i$ değeri arasındaki

korelasyon katsayısıdır. Bu nedenle, R'nin değeri her zaman pozitifdir ve 0 ile 1 arasında değişir ($0 \leq R \leq 1$) (Reha, 2003; Ercan, 1997; Özdamar, 1999).

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için çoklu korelasyon katsayıları tespit edilmiştir.

Çoklu belirtme katsayısı (R^2): Çoklu belirtme katsayısı, R^2 , birden çok bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni açıklama miktarını verir. Regresyon denkleminin uygunluk ölçüsü olarak da kullanılır. Çoklu belirtme katsayısı 0 ile +1 arasında değişir. R^2 değeri 0'a yaklaşırsa modelin veriye uyum göstermediği anlaşılır.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{RKT}{KT_Y} = \frac{\hat{\beta}'X'Y - n\bar{y}^2}{Y'Y - n\bar{y}^2} \quad (A.23)$$

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için çoklu belirtme katsayıları tespit edilmiştir.

Düzeltilmiş R^2 , ($\bar{R}^2$): Regresyon denkleminde konu ile ilgisi olmayan bir bağımsız değişkenin eklenmesi durumunda bile R^2 'de bir miktar artış olacağı için R^2 belli miktarda azaltılarak düzeltilir ve düzeltilmiş R^2 , ($\bar{R}^2$) elde edilir. R^2 ile $\bar{R}^2$ arasındaki fark edilir şekilde farklı ise belirtme katsayısı olarak $\bar{R}^2$ 'nin kullanılması önerilmektedir (Reha, 2003; Ercan, 1997; Ercan, 1997; Özdamar, 1999). $\bar{R}^2$ aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur;

$$\bar{R}^2 = (R^2 - \frac{p}{n-1}) \left(\frac{n-1}{n-p-1} \right) \quad (A.24)$$

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için düzeltilmiş R^2 katsayıları tespit edilmiştir.

Kısmi korelasyon (ilişki) katsayıları: İkincil ilişkilerin etkisi ortadan kaldırıldıktan sonra iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin miktarı incelenmek istenebilir. Bu inceleme kısmi korelasyon katsayılarının yardımı ile yapılır. Çoklu doğrusal regresyon çözümlemesinde, genellikle y bağımlı değişkeni ve herhangi bir x_i bağımsız değişkeni arasındaki kısmi korelasyon katsayısı ile ilgilenir. y, x_1 ve x_2 gibi üç değişken varsa, x_2 sabit tutulduğunda (x_2 'nin hem y hem de x_1 üzerindeki etkisi

ortadan kaldırıldığında) y ile x_1 arasındaki korelasyon katsayısına kısmi korelasyon katsayısı denir ve $r_{y,1.2}$ ile gösterilir. $r_{y,1.2}$ 'nin alt indisinde noktanın sağındaki sayı, sabit tutulan değişkeni ifade eder. $r_{y,1.2}$;

$$r_{y,1.2} = \frac{r_{y1} - r_{y2.3} r_{12.3}}{\sqrt{(1 - r_{y2.3}^2)(1 - r_{12.3}^2)}} \quad (\text{A.25})$$

Kısmi korelasyon katsayıları -1 ile +1 arasında değişir (Reha, 2003; Ercan, 1997; Ercan, 1997; Özdamar, 1999).

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi kısmi korelasyon katsayıları tespit edilmiştir.

Kısmi belirtme katsayısı: Kısmi belirtme katsayısının karesine kısmi belirtme katsayısı denir. $r_{y,1.2}^2$, y'de ki toplam değişimin x_2 tarafından açıklanabildiği kadarı açıklandıktan sonra, y'de geriye kalan değişimin ne kadarının x_1 tarafından açıklanmakta olduğu hakkında bilgi verir.

Yarı kısmi korelasyon katsayısı: Yarı kısmi korelasyon katsayısı, diğer bütün bağımsız değişkenlerin x_i bağımsız değişkeni üzerindeki etkisi ortadan kaldırıldıktan sonra x_i bağımsız değişkeni ile y bağımlı değişkeni arasındaki korelasyon katsayısı olarak tanımlanır. Bir bağımlı iki bağımsız değişken olduğunda x_2 'nin x_1 üzerindeki etkisi artırıldıktan sonra y ile x_1 arasındaki yarı kısmi korelasyon katsayısı $r_{y,x_1(x_2)}$ olarak gösterilir (Reha, 2003; Ercan, 1997; Özdamar, 1999).

$$r_{y,x_1(x_2)} = \frac{r_{yx_1} - r_{yx_2} r_{x_1x_2}}{\sqrt{1 - r_{x_1x_2}^2}} \quad (\text{A.26})$$

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için yarı kısmi korelasyon katsayıları tespit edilmiştir.

A.2 Regresyon Modelin Yeterliliği İle İlgili Ölçüler

Regresyon çözümlemesi sonucu ulaşılan modelin doğru olduğu biliniyorsa, daha ileri bir analize gerek kalmadan çalışma sonlandırılabilir. Ancak, yine de elde edilen sonuçlar üzerinde dikkatli bir denetim yapmadan sonuç modeli kullanmamak gerekir. Bu denetim süreci, genellikle, modelin yeterliliğinin saptanması süreci olarak bilinir. Modelin yeterliliğinin saptanmasına ilişkin çeşitli ölçülerden yararlanılır. Bunlar

arasında, belirtme katsayısının bulunması, artıkların incelenmesi (etkili, uzak ve aykırı gözlemlerin belirlenmesi), artık grafiklerinin çizimi, çoklu bağıntı sorununun olup olmadığının,...vb. işlemler yer alır.

Regresyon çözümlemesinin bu ikinci aşamasında, verideki her bir gözlem için değişik istatistikler elde edilir. Bu istatistiklere, gözlem istatistikleri, yapılan işleme ise gözlem analizi adı verilir (Reha, 2003; Ercan, 1997; Özdamar, 1999).

Gözlem uzaklıklarının araştırılması: x uzayında aykırı değer olan bir nokta, büyük gözlem uzaklığına sahiptir. Çoğunlukla p_{ii} ile gösterilen gözlem uzaklığı değeri, i.gözlem noktasının, değişkenlerin oluşturduğu elipsoid merkezine uzaklığının bir ölçüsü olup 0 ile 1 arasında değişir. Gözlem uzaklığı 1'e yaklaştıkça, ilgili gözlemin veri merkezine uzaklığı artar. X matrisi, ilk kolunu 1'lerden, diğer kollarını x_i değişken değerlerinden oluşan veri matrisi olmak üzere $n \times n$ boyutlu P matrisi,

$$P=p_{ij}=X(X'X)^{-1}X' \quad (A.27)$$

olarak yazılırsa, p_{ii} köşegen elemanların i.gözlem noktasına ilişkin gözlem uzaklığını verir. Genellikle, $2(p+1)/n$ den büyük p_{ii} değerlerine sahip gözlemler, büyük gözlem uzaklığına sahip noktalar olarak bilinir. Bazı kaynaklarda, bağımsız değişken sayısının 10'dan az ya da gözlem sayısının 50'den az olduğu durumlarda kesim noktası olarak $3(p+1)/n$; değişken sayısının 10'dan fazla ve gözlem sayısının 50'nin üzerinde olduğu durumlarda ise kesim noktası olarak $2(p+1)/n$ önerilmektedir (Reha, 2003). Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için p_{ii} gözlem uzaklıkları tespit edilmiştir.

Mahalanobis uzaklığı: Diğer gözlemlere göre büyük Mahalanobis uzaklığına sahip gözlemler, bağımsız değişken ya da değişkenler kümesi aşırı (aykırı) gözlemlerin varlığı konusunda bilgi verir (Reha, 2003).

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için Mahalanobis uzaklıkları tespit edilmiştir.

Artıkların incelenmesi: Regresyon çözümlemesinde model bozukluklarını araştırmak ve aykırı değerleri belirlemek için basit ve etkin yöntem artıkların incelenmesidir. Artıklar hataların gerçekleşen ya da gözlenen değerleri olarak düşünülebilir. Bu nedenle, hatalar için söz konusu olan varsayımlara ilişkin bozulmalar artıklar yardımıyla incelenir (Reha, 2003).

1. Ham artıklar (e_i)

i.ham artık;

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (A.28)$$

olarak tanımlanırlar.

2. Standartlaştırılmış artıklar (e_{is})

e_i artıkları s' 'ye bölünerek standartlaştırılmış artıklar (e_{is}) elde edilir (Reha, 2003).

$$e_{is} = \frac{e_i}{\sqrt{AKO}} = \frac{e_i}{s} \quad i=1,2,\dots,n \quad (A.29)$$

e_{is} artıklarının %95'inin çoğunlukla $[-2 +2]$ sınırları arasında değiştiği kabul edilir.

3. Student türü artıklar (r_i)

İçsel Student türü artık r_i ;

$$r_i = \frac{e_i}{\sqrt{s^2(1-p_{ii})}} = \frac{e_i}{s\sqrt{1-p_{ii}}} \quad i=1,2,\dots,n \quad (A.30)$$

ile verilir. r_i değerleri model doğru olduğunda ve gözlem sayısı fazla olduğunda genellikle $[-2 +2]$ sınırları arasında ve sıfır etrafında bir dağılım gösterirler.

i.gözlemi veriden çıkardıktan sonra geriye kalan veri kümesine dayalı olarak σ^2 'nin bir kestiricisi olarak kullanmak ise bir diğer yaklaşım olabilir. Böylece, σ^2 'nin kestiricisi olarak $s_{(i)}^2$ elde edilir (Reha, 2003).

$$s_{(i)}^2 = \frac{(n-p-1)s^2 - e_i^2/(1-p_{ii})}{n-p-2} \quad (A.31)$$

Dışsal Student türü olarak adlandırılan r_i^* ;

$$r_i^* = \frac{e_i}{\sqrt{s_{(i)}^2(1-p_{ii})}} = \frac{e_i}{s_{(i)}\sqrt{1-p_{ii}}} \quad i=1,2,\dots,n \quad (A.32)$$

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için ham artıklar, standardize edilmiş atıklar ve Student atıkları tespit edilmiştir.

Etkili gözlemlerin araştırılması: Bazı gözlemlerin veriye eklenmesi ya da veriden çıkartılması, elde edilen modeldeki regresyon katsayılarında ve $\hat{y}_i$ kestirim değerlerinde önemli değişikliklere neden olabilir. Bu gözlemler etkili gözlemler olarak bilinir. Bu gözlemlerin etkili olup olmadığını test etmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Reha, 2003).

1. Cook uzaklığı (C_i^2)

Cook uzaklığı ölçüsü, gözlem uzaklığı ve Student türü artıklara dayanır ve C_i^2 ile gösterilir.

$$C_i^2 = \frac{1}{p+1} r_i^2 \left(\frac{p_{ii}}{1-p_{ii}} \right) \quad i=1,2,\dots,n \quad (\text{A.33})$$

Gözlemlerin etkili olup olmadığını anlamanın kolay bir yolu C_i^2 değeri 1 ve daha büyük olan gözlemleri etkili gözlem olarak nitelemektir.

2. DFBETA

DFBETA_{j,i} istatistiği, i. gözlem veriden çıkartıldığında β_j 'nin ne kadar değiştiğini belirtmek amacıyla geliştirilmiştir. DFBETA_{j,i}'nin büyük değerleri, i.gözlemin j.regresyon katsayısı üzerine dikkate değer bir şekilde etkili olduğunu gösterir. $|DFBETAS_{j,i}| > 2/\sqrt{n}$ olması bu gözlemin dikkatlice incelenmesi konusunda bilgi verir (Reha, 2003).

$$DFBETAS_{j,i} = \frac{r_{ji}}{\sqrt{r_j' r_j}} \frac{r_i^*}{\sqrt{1-p_{ii}}} \quad (\text{A.34})$$

ile verilir.

3. DFITS ölçütü

DFITS_i ölçütü de C_i^2 ölçütüne benzer. Özellikle, i.gözlemin $\hat{y}_i$ kestirim değeri üzerine etkisini incelemek için kullanılan DFITS_i değeri;

$$DFITS_i = \frac{\hat{y}_i - \hat{y}_{(i)}}{\sqrt{s_{(i)}^2 p_{ii}}} \quad i=1,2,\dots,n \quad (\text{A.35})$$

ile verilir. $\hat{y}_{(i)}$ değeri, i.gözlem veriden çıkarıldıktan sonra elde edilen regresyon denkleminde, çıkartılan gözleme ilişkin x_i değerleri konularak $\hat{y}_{(i)}$ ile gösterilen kestirim değeri elde edilir. $|DFITS_{j,i}| > 2/\sqrt{(p+1)/(n-p-1)}$ koşulunu sağlayan gözlemler, genellikle etkili gözlem olarak sınıflandırılır. Bazı kaynaklarda $|DFITS_{j,i}| > 2/\sqrt{(p+1)/n}$ koşulu önerilmektedir (Reha, 2003).

4. Kovaryans oranı (KO_i)

Kovaryans oranı, kestirilen regresyon katsayılarının tümü üzerine bir gözlemin etkisinin ölçüsü şeklinde tanımlanabilir.

$$KO_i = \frac{|(X'_{(i)} X_{(i)})^{-1} s_{(i)}^2|}{|(X'X)^{-1} AKO|} \quad i=1,2,\dots,n \quad (A.36)$$

i.gözlemin kovaryans oranı 1'e yakın ise, i.gözlemin, kestirim doğruluğu üzerine etkisinin az olduğunu gösterir. $KO_i > 1$ ise i.gözlemin kestirimin doğruluğunu artırdığı, $KO_i < 1$ ise i.gözlemin veriye alınmasının kestirimin doğruluğunu azalttığı söylenir.

Kovaryans oranı için de kesim noktaları vardır. Eğer i.gözlem için $KO_i > 1+3(p+1)/n$ ya da $KO_i < 1-3(p+1)/n$ ise i.gözlemin etkili olduğu söylenir (Reha, 2003).

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için artıkların incelemesi sonucu atılacak verilerin etkili gözlem araştırması Cook uzaklığı, DFITS ve Kovaryans oranları incelemesi yapılmıştır.

Çoklu bağıntının belirlenmesi: Çoklu regresyon denkleminin yorumu, bağımsız değişkenlerin kuvvetli bir şekilde ilişkili olmaması varsayımına bağlıdır. Bu varsayımının bozulması, yani bağımsız değişkenler arasında bir ya da daha fazla doğrusal bağıntının olması çoklu bağıntı sorununu gündeme getirir. Çoklu bağıntı şu şekilde belirlenir;

1. Bağımsız değişkenler arasındaki çoklu belirtme katsayısı

Herhangi bir x_i bağımsız değişkeni ile geriye kalan diğer bağımsız değişkenler arasında bulunacak R_i^2 'nin 1'e yaklaşması durumunda x_i bağımsız değişkenleri ile diğer değişkenler ya da diğer değişkenlerin herhangi bir alt kümesi arasında güçlü bağıntı olduğu söylenir.

2. Bağımsız değişkenlere ilişkin korelasyon katsayılarının incelenmesi

Eğer x_i ve x_j gibi herhangi iki değişken arasında korelasyon katsayısının mutlak değeri 1'e yaklaşıyorsa x_i ve x_j 'nin yakın doğrusal bağımlı olduğu söylenir (Reha, 2003).

3. Varyans şişme değerleri

Bağımsız değişkenlere ilişkin korelasyon matrisinin tersinin köşegen öğelerine varyans şişme değerleri denir ve VIF_i ile gösterilir. VIF_i değerleri tolerans değeri ile ilgili olarak;

$$VIF_i = \frac{1}{(1 - R_i^2)} \quad (A.37)$$

ile de hesaplanabilir. Uygulamada, VIF_i değerlerinin 5 ya da 10'un üzerinde olması güçlü çoklu bağıntının göstergesidir (Reha, 2003).

4. Korelasyon matrisine ilişkin özdeğerlerin incelenmesi

Özvektörler, değerlerin doğrusal bileşenleri olup p değişken için p tane özvektör bulunur. Özdeğerler ise özvektörlerce açıklanan varyans olarak tanımlanır. Bağımsız değişkenlere ilişkin korelasyon matrisinin özdeğerleri olan $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$; verideki çoklu bağıntının derecesini ölçmede kullanılabilir. Korelasyon matrislerinden elde edilen özdeğerlerden, en büyüğün en küçüğe bölünmesiyle koşul indeksi bulunur.

$$\kappa = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_i} \quad i=1,2,\dots,p \quad (A.38)$$

$\sqrt{\kappa}$ değerinin 15'i geçmesi, çoklu bağıntıya ilişkin olumsuz etkilerin varlığı konusunda bilgi verirken, bu değer 30'un üzerinde olması çoklu bağıntıyı giderici önlemlerin alınması konusunda bir bilgi verir. Koşul indeksi büyük olduğu satır belirlendikten sonra varyans ayrışım matrislerinden aralarında çoklu bağıntı olan parametreler belirlenebilir. Varyans ayrışım oranları 0.90'ın üzerinde olan değişkenler arasında çoklu bağıntı olduğu kabul edilebilir.

Ekler bölümünde her bir hat geometrisi parametresi için bağımsız değişkenler arasında çoklu bağıntının olup olmadığının belirlenmesi için VIF ve varyans ayrışım matrisleri incelenmesi yapılmıştır.

Burulma Bozulma Modeli

Tablo B.1 Parametreler korelasyon matrisi

	Boz.Orani	Egim	1000/R	Dever	Hiz	RayUzun.	RayTipi	TraversTipi	TopTrafikMil.	Heyalan	Sel	Kar	Taş
Boz.Orani	1	0.444	0.273	0.124	-0.363	-0.455	0.067	0.542	-0.211	-0.022	0.265	0.031	0.317
Egim		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054	0.000	0.000	0.535	0.000	0.381	0.000
	0.444	1	0.184	0.040	-0.257	-0.462	-0.193	0.604	0.063	-0.107	0.115	-0.039	0.234
	0.000	0.000	0.000	0.257	0.000	0.000	0.000	0.000	0.073	0.002	0.001	0.262	0.000
1000/R		0.273	1	0.879	-0.354	-0.067	-0.154	0.275	0.109	-0.093	0.086	-0.049	0.203
	0.000	0.000		0.000	0.000	0.057	0.000	0.000	0.002	0.007	0.014	0.158	0.000
Dever		0.124	0.040	0.879	1	0.027	-0.111	0.087	0.091	-0.096	0.088	-0.035	0.101
	0.000	0.000	0.000		0.000	0.432	0.001	0.012	0.009	0.006	0.011	0.316	0.004
Hiz		-0.363	-0.257	-0.354	-0.202	-0.071	0.404	-0.484	-0.400	0.278	-0.075	0.129	-0.311
	0.000	0.000	0.000	0.000		0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000
RayUzun.		-0.455	-0.462	-0.067	0.027	1	-0.118	-0.696	0.158	-0.225	-0.051	-0.097	-0.297
	0.000	0.000	0.057	0.432	0.041		0.001	0.000	0.000	0.000	0.141	0.006	0.000
RayTipi		0.067	-0.193	-0.154	0.404	-0.118	1	-0.315	-0.692	0.374	-0.019	0.133	-0.208
	0.054	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001		0.000	0.000	0.000	0.597	0.000	0.000
TraversTipi		0.542	0.604	0.275	0.087	-0.696	-0.315	1	0.131	-0.112	0.185	-0.053	0.480
	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000		0.000	0.001	0.000	0.129	0.000
TopTrafikMil.		-0.211	0.063	0.109	0.091	0.158	-0.692	0.131	1	-0.211	-0.061	-0.089	0.114
	0.000	0.073	0.002	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.079	0.011	0.001
Heyalan		-0.022	-0.107	-0.093	-0.096	-0.225	0.374	-0.112	-0.211	1	-0.152	0.217	-0.075
	0.535	0.002	0.007	0.006	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000		0.000	0.000	0.032
Sel		0.265	0.115	0.086	0.088	-0.051	-0.019	0.185	-0.061	-0.152	1	-0.062	0.043
	0.000	0.001	0.014	0.011	0.032	0.141	0.597	0.000	0.079	0.000		0.076	0.215
Kar		0.031	-0.039	-0.049	-0.035	-0.097	0.133	-0.053	-0.089	0.217	-0.062	1	-0.035
	0.381	0.262	0.158	0.316	0.000	0.006	0.000	0.129	0.011	0.000	0.076		0.316
Taş		0.317	0.234	0.203	-0.311	-0.297	-0.208	0.480	0.114	-0.075	0.043	-0.035	1
	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.032	0.215	0.316	

Burulma Bozulma Modeli

Tablo B.2 Regresyon modeli sonucu bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart Hata
1	0.734	0.539	0.532	2.626

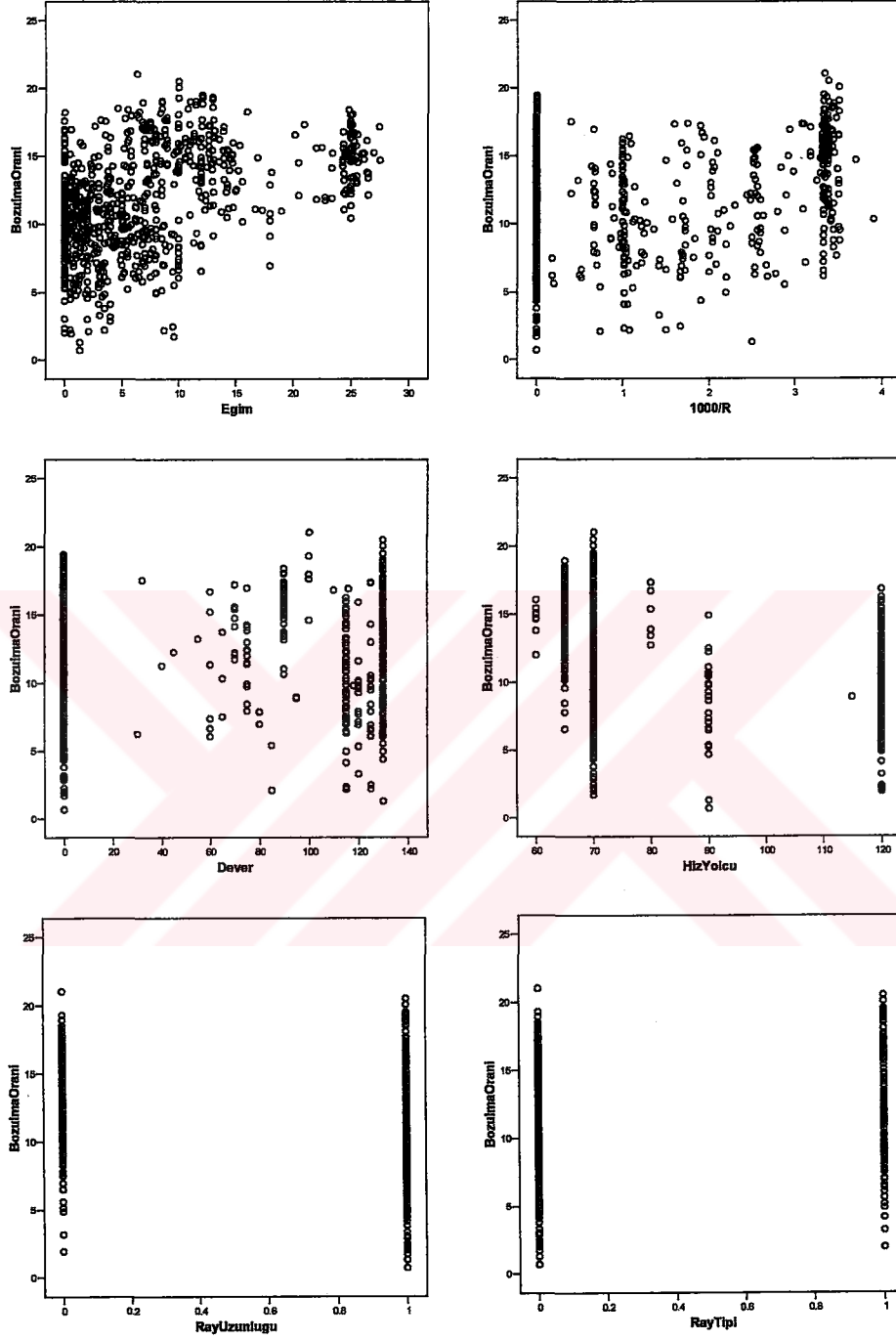
Tablo B.3 Regresyon modeli varyans analizi

Model	Regresyon	KT	Sd	KO	F	p
1	Artıklar	5,563.538	807	6.894		
	Toplam	12,065.203	819			

Tablo B.4 Parametrelerin anlamlılık analizi

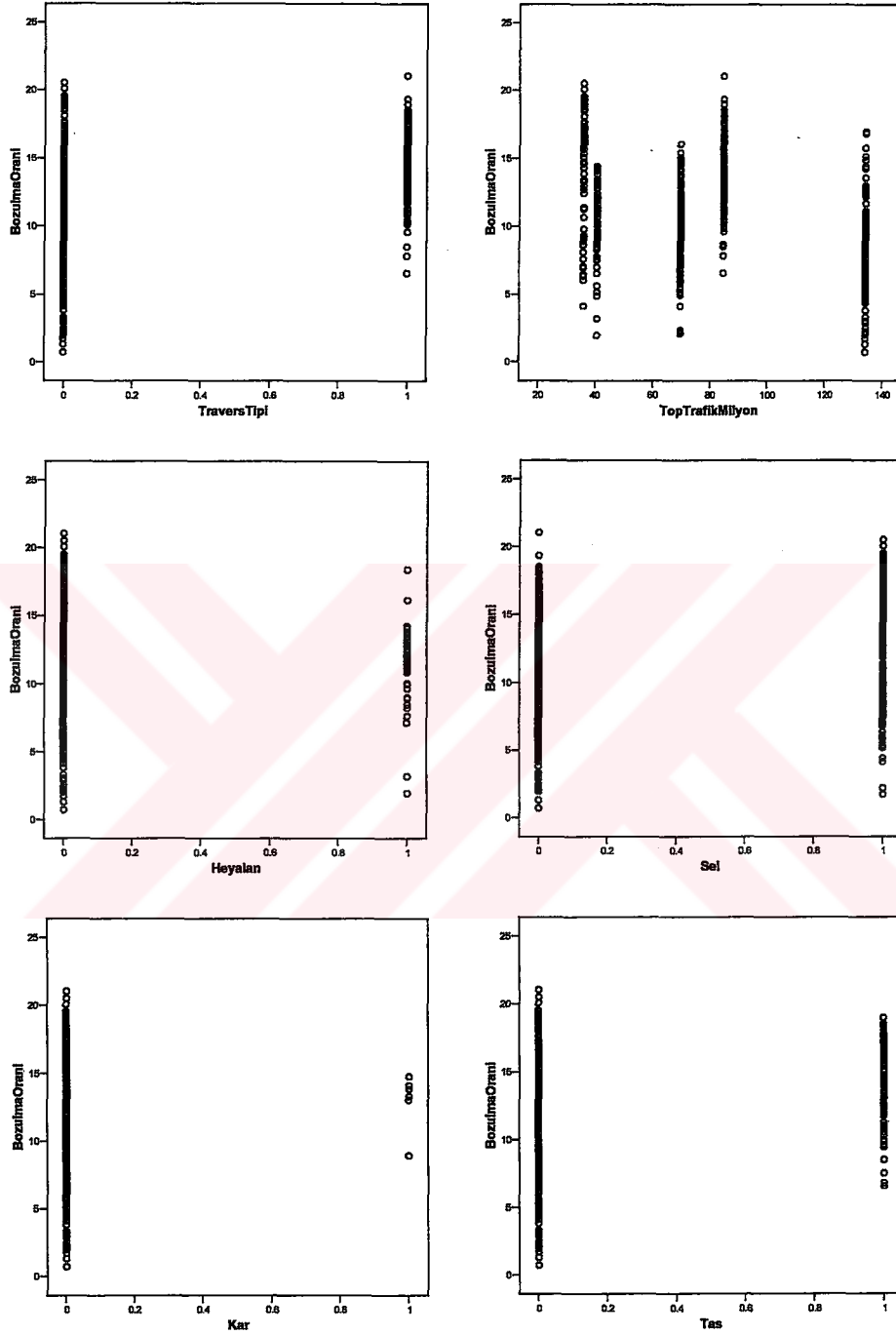
Model	Parametreler	Katsayılar		Standardlaştırılmış Katsayılar		t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA				Sıfır derece	Kısmi	Y. Kısmi
1	Sabit	21.858	1.033			21.153	0.000			
	Eğim	0.089	0.016	0.171		5.606	0.000	0.444	0.194	0.134
	1000/R	0.597	0.165	0.208		3.611	0.000	0.273	0.126	0.086
	Değer	-0.009	0.004	-0.130		-2.374	0.018	0.124	-0.083	-0.057
	Yolcu	-0.075	0.006	-0.461		-11.817	0.000	-0.363	-0.384	-0.282
	Ray Uzunluğu	-3.088	0.398	-0.400		-7.750	0.000	-0.455	-0.263	-0.185
	Ray Tipi	0.097	0.376	0.010		0.258	0.797	0.067	0.009	0.006
	Travers Tipi	-1.168	0.543	-0.136		-2.150	0.032	0.542	-0.075	-0.051
	Top Trafik Milyon	-0.043	0.005	-0.328		-9.255	0.000	-0.211	-0.310	-0.221
	Heyalan	-0.353	0.446	-0.022		-0.791	0.429	-0.022	-0.028	-0.019
	Sel	1.499	0.203	0.185		7.364	0.000	0.265	0.251	0.176
	Kar	2.029	1.110	0.045		1.829	0.068	0.031	0.064	0.044
	Tas	0.904	0.303	0.082		2.988	0.003	0.317	0.105	0.071

Burulma Bozulma Modeli



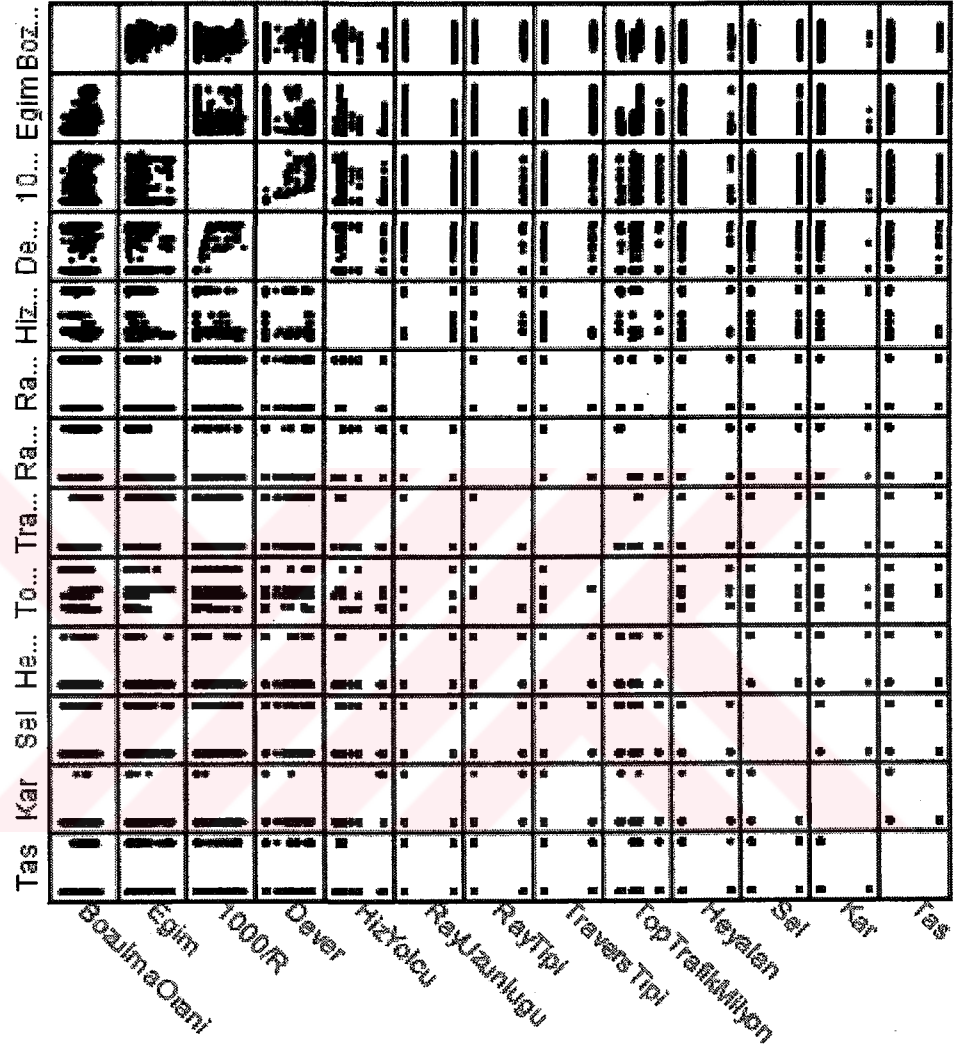
Şekil B.1 Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri

Burulma Bozulma Modeli



Şekil B.1 Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri

Burulma Bozulma Modeli



Şekil B.2 Verilerilerin matris saçılım grafiği

Burulma Bozulma Modeli

Tablo B.5 Adımsal regresyon analizi sonucu bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.542	0.294	0.293	3.227
2	0.612	0.375	0.374	3.038
3	0.659	0.435	0.433	2.891
4	0.687	0.471	0.469	2.797
5	0.709	0.502	0.499	2.717
6	0.708	0.502	0.499	2.716
7	0.721	0.520	0.517	2.666
8	0.726	0.527	0.524	2.649
9	0.729	0.531	0.527	2.640
10	0.731	0.534	0.529	2.634
11	0.733	0.537	0.532	2.627

Tablo B.6 Adımsal regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regresyon	3,549.215	1	3,549.215	340.918	0.000
	Artık	8,515.988	818	10.411		
	Toplam	12,065.203	819			
2	Regresyon	4,525.813	2	2,262.906	245.218	0.000
	Artık	7,539.390	817	9.228		
	Toplam	12,065.203	819			
3	Regresyon	5,243.962	3	1,747.987	209.105	0.000
	Artık	6,821.241	816	8.359		
	Toplam	12,065.203	819			
4	Regresyon	5,687.756	4	1,421.939	181.715	0.000
	Artık	6,377.447	815	7.825		
	Toplam	12,065.203	819			
5	Regresyon	6,056.804	5	1,211.361	164.112	0.000
	Artık	6,008.399	814	7.381		
	Toplam	12,065.203	819			
6	Regresyon	6,055.397	4	1,513.849	205.296	0.000
	Artık	6,009.806	815	7.374		
	Toplam	12,065.203	819			
7	Regresyon	6,278.656	5	1,255.731	176.645	0.000
	Artık	5,786.547	814	7.109		
	Toplam	12,065.203	819			
8	Regresyon	6,359.476	6	1,059.913	151.025	0.000
	Artık	5,705.727	813	7.018		
	Toplam	12,065.203	819			
9	Regresyon	6,404.807	7	914.972	131.255	0.000
	Artık	5,660.396	812	6.971		
	Toplam	12,065.203	819			
10	Regresyon	6,438.594	8	804.824	116.005	0.000
	Artık	5,626.609	811	6.938		
	Toplam	12,065.203	819			
11	Regresyon	6,476.448	9	719.605	104.295	0.000
	Artık	5,588.755	810	6.900		
	Toplam	12,065.203	819			

Burulma Bozulma Modeli

Tablo B.7 Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi

Model	Parametreler	Katsayılar		Stan. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA			Sfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
1	Sabit	10.330	0.132		77.964	0.000			
	TraversTipi	4.650	0.252	0.542	18.464	0.000	0.542	0.542	0.542
2	Sabit	13.180	0.304		43.381	0.000			
	TraversTipi	4.972	0.239	0.580	20.790	0.000	0.542	0.588	0.575
	TopTrafikMil.	-0.037	0.004	-0.287	-10.287	0.000	-0.211	-0.339	-0.285
3	Sabit	18.690	0.661		28.272	0.000			
	TraversTipi	3.833	0.259	0.447	14.816	0.000	0.542	0.460	0.390
	TopTrafikMil.	-0.051	0.004	-0.391	-13.558	0.000	-0.211	-0.429	-0.357
	Hız	-0.049	0.005	-0.303	-9.269	0.000	-0.363	-0.309	-0.244
4	Sabit	23.121	0.869		26.605	0.000			
	TraversTipi	0.952	0.457	0.111	2.083	0.038	0.542	0.073	0.053
	TopTrafikMil.	-0.047	0.004	-0.361	-12.821	0.000	-0.211	-0.410	-0.327
	Hız	-0.078	0.006	-0.479	-12.181	0.000	-0.363	-0.392	-0.310
	RayUzunlugu	-2.740	0.364	-0.355	-7.531	0.000	-0.455	-0.255	-0.192
5	Sabit	23.179	0.844		27.461	0.000			
	TraversTipi	0.199	0.457	0.023	0.437	0.662	0.542	0.015	0.011
	TopTrafikMil.	-0.044	0.004	-0.339	-12.319	0.000	-0.211	-0.396	-0.305
	Hız	-0.082	0.006	-0.503	-13.124	0.000	-0.363	-0.418	-0.325
	RayUzunlugu	-3.180	0.359	-0.412	-8.863	0.000	-0.455	-0.297	-0.219
	Sel	1.466	0.207	0.181	7.071	0.000	0.265	0.241	0.175
6	Sabit	23.450	0.572		40.982	0.000			
	TopTrafikMil.	-0.044	0.004	-0.338	-12.343	0.000	-0.211	-0.397	-0.305
	Hız	-0.084	0.004	-0.515	-18.966	0.000	-0.363	-0.553	-0.469
	RayUzunlugu	-3.312	0.194	-0.429	-17.110	0.000	-0.455	-0.514	-0.423
	Sel	1.487	0.202	0.184	7.380	0.000	0.265	0.250	0.182
7	Sabit	21.993	0.619		35.529	0.000			
	TopTrafikMil.	-0.045	0.004	-0.343	-12.771	0.000	-0.211	-0.409	-0.310
	Hız	-0.077	0.005	-0.470	-16.919	0.000	-0.363	-0.510	-0.411
	RayUzunlugu	-2.704	0.219	-0.350	-12.354	0.000	-0.455	-0.397	-0.300
	Sel	1.393	0.199	0.172	7.014	0.000	0.265	0.239	0.170
	Egim	0.085	0.015	0.163	5.604	0.000	0.444	0.193	0.136
8	Sabit	21.317	0.647		32.969	0.000			
	TopTrafikMil.	-0.045	0.003	-0.341	-12.778	0.000	-0.211	-0.409	-0.308
	Hız	-0.072	0.005	-0.440	-15.140	0.000	-0.363	-0.469	-0.365
	RayUzunlugu	-2.667	0.218	-0.345	-12.246	0.000	-0.455	-0.395	-0.295
	Sel	1.359	0.198	0.168	6.876	0.000	0.265	0.234	0.166
	Egim	0.082	0.015	0.157	5.430	0.000	0.444	0.187	0.131
	1000/R	0.253	0.075	0.088	3.394	0.001	0.273	0.118	0.082
9	Sabit	20.881	0.667		31.320	0.000			
	TopTrafikMil.	-0.045	0.003	-0.344	-12.915	0.000	-0.211	-0.413	-0.310
	Hız	-0.068	0.005	-0.420	-13.987	0.000	-0.363	-0.441	-0.336
	RayUzunlugu	-2.495	0.227	-0.323	-10.985	0.000	-0.455	-0.360	-0.264
	Sel	1.358	0.197	0.168	6.894	0.000	0.265	0.235	0.166
	Egim	0.082	0.015	0.158	5.463	0.000	0.444	0.188	0.131
	1000/R	0.239	0.075	0.083	3.198	0.001	0.273	0.112	0.077
	Tas	0.754	0.296	0.069	2.550	0.011	0.317	0.089	0.061

Tablo B.7 Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi

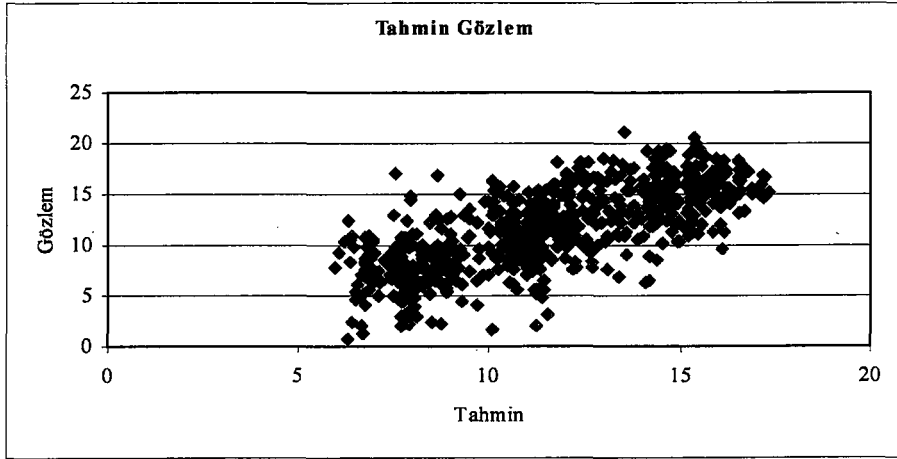
Model	Parametreler	Katsayılar		Stan. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA			Sfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
10	Sabit	22.013	0.840		26.208	0.000			
	TraversTipi	-1.057	0.479	-0.123	-2.207	0.028	0.542	-0.077	-0.053
	TopTrafikMil.	-0.044	0.003	-0.339	-12.709	0.000	-0.211	-0.408	-0.305
	Hız	-0.077	0.006	-0.471	-12.411	0.000	-0.363	-0.400	-0.298
	RayUzunlugu	-3.080	0.348	-0.399	-8.838	0.000	-0.455	-0.296	-0.212
	Sel	1.456	0.201	0.180	7.227	0.000	0.265	0.246	0.173
	Egim	0.093	0.016	0.178	5.891	0.000	0.444	0.203	0.141
	1000/R	0.245	0.075	0.085	3.293	0.001	0.273	0.115	0.079
	Tas	0.910	0.303	0.083	3.000	0.003	0.317	0.105	0.072
11	Sabit	21.986	0.838		26.246	0.000			
	TraversTipi	-1.220	0.483	-0.142	-2.528	0.012	0.542	-0.088	-0.060
	TopTrafikMil.	-0.043	0.003	-0.333	-12.463	0.000	-0.211	-0.401	-0.298
	Hız	-0.075	0.006	-0.463	-12.186	0.000	-0.363	-0.394	-0.291
	RayUzunlugu	-3.120	0.348	-0.404	-8.967	0.000	-0.455	-0.301	-0.214
	Sel	1.504	0.202	0.186	7.449	0.000	0.265	0.253	0.178
	Egim	0.090	0.016	0.172	5.660	0.000	0.444	0.195	0.135
	1000/R	0.589	0.165	0.205	3.582	0.000	0.273	0.125	0.086
	Tas	0.902	0.303	0.082	2.983	0.003	0.317	0.104	0.071
	Dever	-0.008	0.004	-0.127	-2.342	0.019	0.124	-0.082	-0.056

Burulma Bozulma Modeli

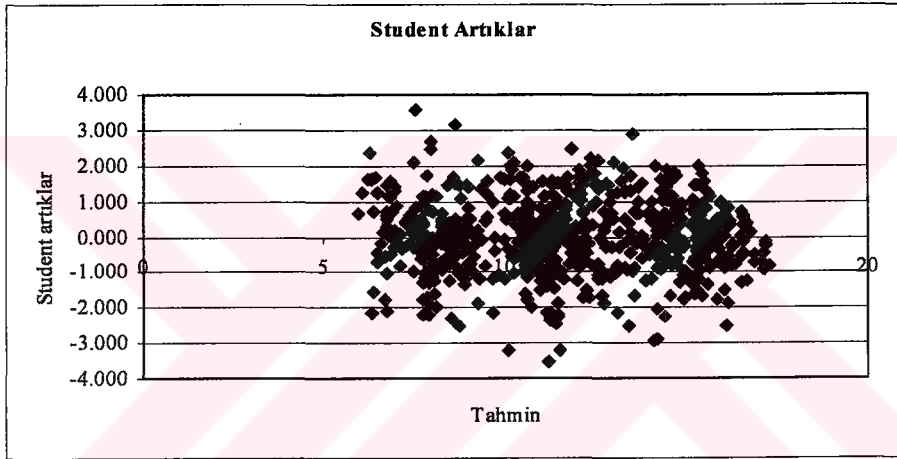
Tablo B.8 Aykırı gözlemlerin test edilmesi

	Gözlem	Tahmin	Artıklar	Stan. Artıklar	Student Artıklar	DFFIT	pil	Cook Uzaklığı	Maha. Uzaklığı	Kov. Oranı
1	0.708	6.358	-5.650	-2.151	-2.161	-0.053	0.008	0.004	6.556	0.964
2	1.300	6.745	-5.445	-2.073	-2.085	-0.062	0.010	0.005	8.158	0.970
12	14.902	7.976	6.926	2.637	2.654	0.088	0.011	0.009	9.288	0.940
17	12.487	6.328	6.159	2.345	2.356	0.058	0.008	0.005	6.621	0.954
18	2.247	7.791	-5.544	-2.111	-2.120	-0.049	0.007	0.004	6.118	0.966
22	2.482	8.536	-6.054	-2.305	-2.319	-0.074	0.011	0.007	8.913	0.959
27	16.966	7.567	9.400	3.579	3.596	0.090	0.008	0.012	6.787	0.870
29	12.975	7.513	5.462	2.079	2.089	0.053	0.008	0.004	6.897	0.969
40	2.023	7.747	-5.724	-2.179	-2.189	-0.051	0.008	0.004	6.237	0.963
44	1.720	10.112	-8.393	-3.195	-3.216	-0.113	0.012	0.014	9.862	0.902
62	14.408	7.954	6.454	2.457	2.467	0.054	0.007	0.005	5.810	0.947
77	16.858	8.649	8.209	3.125	3.156	0.165	0.018	0.020	15.123	0.913
82	15.789	10.272	5.516	2.100	2.117	0.092	0.015	0.007	12.377	0.974
86	14.911	9.251	5.660	2.155	2.169	0.075	0.012	0.006	9.670	0.968
107	2.211	7.901	-5.690	-2.166	-2.179	-0.068	0.011	0.006	8.618	0.966
161	2.189	8.748	-6.559	-2.497	-2.518	-0.113	0.016	0.011	12.863	0.952
260	7.516	13.054	-5.537	-2.108	-2.130	-0.115	0.019	0.009	15.666	0.977
261	6.787	13.369	-6.583	-2.506	-2.531	-0.133	0.019	0.013	15.178	0.954
373	5.154	11.320	-6.166	-2.348	-2.354	-0.037	0.005	0.003	3.859	0.951
387	6.568	14.158	-7.590	-2.890	-2.908	-0.097	0.011	0.011	9.289	0.923
388	8.504	14.368	-5.864	-2.232	-2.249	-0.089	0.014	0.008	11.259	0.965
410	9.600	16.095	-6.495	-2.473	-2.490	-0.094	0.013	0.009	10.704	0.951
605	18.070	12.369	5.701	2.170	2.184	0.071	0.011	0.006	9.043	0.966
606	21.047	13.504	7.543	2.871	2.895	0.123	0.015	0.014	12.148	0.927
608	18.191	12.555	5.636	2.146	2.158	0.064	0.010	0.005	8.187	0.967
610	18.234	11.802	6.433	2.449	2.471	0.114	0.016	0.011	13.236	0.955
619	18.506	12.992	5.514	2.099	2.111	0.063	0.010	0.005	8.208	0.969
651	6.358	14.066	-7.708	-2.934	-2.951	-0.089	0.010	0.010	8.304	0.919
656	8.915	14.177	-5.262	-2.003	-2.018	-0.076	0.013	0.006	10.683	0.977
682	4.131	9.688	-5.556	-2.115	-2.134	-0.101	0.017	0.008	13.651	0.974
704	16.244	10.100	6.145	2.339	2.361	0.112	0.017	0.010	13.640	0.962
728	1.945	11.221	-9.277	-3.532	-3.548	-0.088	0.008	0.012	6.712	0.874
729	3.189	11.526	-8.338	-3.174	-3.188	-0.073	0.007	0.009	6.066	0.900
768	5.153	11.239	-6.086	-2.317	-2.328	-0.057	0.008	0.005	6.655	0.956
770	5.162	11.275	-6.113	-2.327	-2.338	-0.057	0.008	0.005	6.548	0.955
814	5.625	11.168	-5.543	-2.110	-2.120	-0.054	0.008	0.004	6.898	0.967
815	5.625	11.239	-5.615	-2.138	-2.148	-0.053	0.008	0.004	6.655	0.965
816	5.625	11.275	-5.651	-2.151	-2.161	-0.053	0.008	0.004	6.548	0.964
817	5.625	11.437	-5.812	-2.213	-2.222	-0.051	0.008	0.004	6.185	0.961
818	4.885	11.392	-6.507	-2.477	-2.488	-0.058	0.008	0.006	6.266	0.946
819	5.625	11.455	-5.830	-2.219	-2.229	-0.051	0.008	0.004	6.156	0.960
820	5.625	11.437	-5.812	-2.213	-2.222	-0.051	0.008	0.004	6.185	0.961
Top.	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42

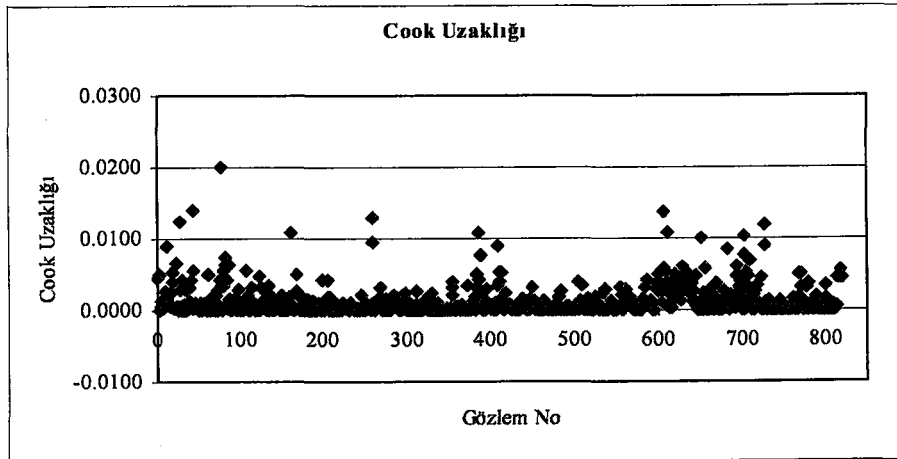
Burulma Bozulma Modeli



Şekil B.3 Tahmin ve gözlem değerleri



Şekil B.4 Student türü artıklar



Şekil B.5 Cook uzaklığı

Tablo B.9 Varyans şişme değerleri

Parametreler	Çoklu Bağntı İstatistiği	
	Tolerans	VIF
Sabit		
Eğim	0.613	1.630
1000/R	0.172	5.810
Dever	0.191	5.231
Yolcu	0.375	2.665
RayUzunluğu	0.215	4.657
RayTipi	0.364	2.750
TraversTipi	0.142	7.025
TopTrafikMilyon	0.456	2.192
Heyalan	0.738	1.355
Sel	0.901	1.109
Kar	0.940	1.064
Tas	0.750	1.333

Tablo B.10 Varyans ayrışım oranları

Sayı	Özdeğerler	Koşul İndeksl	Varyans Ayrışım Oranları												
			Sabit	Eğim	1000/R	Dever	Hız	RayUz.	RayTipi	Trav.Tipi	TopTraf.Mil.	Heyalan	Sel	Kar	Tas
1	6.032	1.000	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
2	1.764	1.849	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.07	0.00	0.04	0.05
3	1.284	2.167	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.12	0.00	0.14	0.05
4	0.925	2.554	0.00	0.02	0.04	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.19	0.00
5	0.829	2.698	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.12	0.01	0.59	0.00
6	0.673	2.995	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.08	0.38	0.02	0.17
7	0.563	3.273	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.00	0.07	0.06	0.01	0.59
8	0.479	3.550	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.41	0.42	0.00	0.00
9	0.212	5.339	0.00	0.76	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.11	0.02	0.05	0.03	0.00	0.10
10	0.124	6.981	0.00	0.02	0.05	0.08	0.06	0.25	0.09	0.16	0.00	0.04	0.01	0.01	0.03
11	0.056	10.370	0.00	0.00	0.05	0.05	0.08	0.13	0.20	0.13	0.59	0.02	0.03	0.00	0.00
12	0.054	10.613	0.00	0.02	0.85	0.81	0.06	0.03	0.07	0.05	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00
13	0.006	32.340	1.00	0.01	0.00	0.00	0.79	0.53	0.29	0.52	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00

Burulma Bozulma Modeli

Tablo B.11 Sonuç adimsal regresyon modelinde bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.560	0.313	0.312	3.000
2	0.655	0.429	0.427	2.737
3	0.700	0.490	0.488	2.589
4	0.738	0.545	0.543	2.446
5	0.738	0.544	0.542	2.447
6	0.762	0.581	0.579	2.348
7	0.775	0.600	0.598	2.294
8	0.781	0.609	0.606	2.270
9	0.785	0.617	0.613	2.249
10	0.790	0.624	0.620	2.229
11	0.792	0.628	0.624	2.220

Tablo B.12 Sonuç adimsal regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regresyon	3,184.234	1	3,184.234	353.826	0.000
	Artık	6,983.555	776	8.999		
	Toplam	10,167.789	777			
2	Regresyon	4,360.849	2	2,180.425	291.002	0.000
	Artık	5,806.940	775	7.493		
	Toplam	10,167.789	777			
3	Regresyon	4,977.953	3	1,659.318	247.467	0.000
	Artık	5,189.836	774	6.705		
	Toplam	10,167.789	777			
4	Regresyon	5,541.863	4	1,385.466	231.514	0.000
	Artık	4,625.926	773	5.984		
	Toplam	10,167.789	777			
5	Regresyon	5,533.598	3	1,844.533	308.073	0.000
	Artık	4,634.191	774	5.987		
	Toplam	10,167.789	777			
6	Regresyon	5,907.860	4	1,476.965	268.008	0.000
	Artık	4,259.929	773	5.511		
	Toplam	10,167.789	777			
7	Regresyon	6,105.124	5	1,221.025	232.023	0.000
	Artık	4,062.665	772	5.263		
	Toplam	10,167.789	777			
8	Regresyon	6,195.523	6	1,032.587	200.421	0.000
	Artık	3,972.266	771	5.152		
	Toplam	10,167.789	777			
9	Regresyon	6,273.333	7	896.190	177.192	0.000
	Artık	3,894.456	770	5.058		
	Toplam	10,167.789	777			
10	Regresyon	6,348.462	8	793.558	159.778	0.000
	Artık	3,819.327	769	4.967		
	Toplam	10,167.789	777			
11	Regresyon	6,384.253	9	709.361	143.990	0.000
	Artık	3,783.536	768	4.926		
	Toplam	10,167.789	777			

Burulma Bozulma Modeli

Tablo B.13 Sonuç adimsal regresyon modeli anlamlılık analizi

M.	Parametreler	Katsayılar		Stan. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA			Sfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
1	Sabit	10.509	0.127		82.749	0.000			
	TraversTipi	4.492	0.239	0.560	18.810	0.000	0.560	0.560	0.560
2	Sabit	13.787	0.286		48.184	0.000			
	TraversTipi	4.889	0.220	0.609	22.204	0.000	0.560	0.624	0.603
	TopTrafikMil.	-0.043	0.003	-0.344	-12.531	0.000	-0.256	-0.410	-0.340
3	Sabit	18.972	0.604		31.387	0.000			
	TraversTipi	3.816	0.236	0.475	16.138	0.000	0.560	0.502	0.414
	TopTrafikMil.	-0.056	0.004	-0.443	-15.858	0.000	-0.256	-0.495	-0.407
	Hız	-0.047	0.005	-0.304	-9.593	0.000	-0.363	-0.326	-0.246
4	Sabit	24.070	0.776		31.026	0.000			
	TraversTipi	0.482	0.410	0.060	1.175	0.240	0.560	0.042	0.029
	TopTrafikMil.	-0.052	0.003	-0.410	-15.408	0.000	-0.256	-0.485	-0.374
	Hız	-0.079	0.006	-0.514	-13.920	0.000	-0.363	-0.448	-0.338
	RayUzunlugu	-3.171	0.327	-0.436	-9.707	0.000	-0.505	-0.330	-0.236
5	Sabit	24.753	0.513		48.240	0.000			
	TopTrafikMil.	-0.051	0.003	-0.408	-15.359	0.000	-0.256	-0.483	-0.373
	Hız	-0.084	0.004	-0.545	-20.674	0.000	-0.363	-0.596	-0.502
	RayUzunlugu	-3.493	0.178	-0.480	-19.608	0.000	-0.505	-0.576	-0.476
6	Sabit	23.731	0.508		46.743	0.000			
	TopTrafikMil.	-0.049	0.003	-0.389	-15.200	0.000	-0.256	-0.480	-0.354
	Hız	-0.080	0.004	-0.524	-20.612	0.000	-0.363	-0.596	-0.480
	RayUzunlugu	-3.396	0.171	-0.466	-19.824	0.000	-0.505	-0.581	-0.462
	Sel	1.471	0.178	0.194	8.241	0.000	0.289	0.284	0.192
7	Sabit	22.342	0.546		40.954	0.000			
	TopTrafikMil.	-0.050	0.003	-0.396	-15.818	0.000	-0.256	-0.495	-0.360
	Hız	-0.074	0.004	-0.480	-18.577	0.000	-0.363	-0.556	-0.423
	RayUzunlugu	-2.797	0.194	-0.384	-14.427	0.000	-0.505	-0.461	-0.328
	Sel	1.393	0.175	0.183	7.962	0.000	0.289	0.275	0.181
	Egim	0.081	0.013	0.168	6.122	0.000	0.465	0.215	0.139
8	Sabit	21.666	0.563		38.458	0.000			
	TopTrafikMil.	-0.051	0.003	-0.400	-16.154	0.000	-0.256	-0.503	-0.364
	Hız	-0.069	0.004	-0.447	-16.743	0.000	-0.363	-0.516	-0.377
	RayUzunlugu	-2.541	0.201	-0.349	-12.620	0.000	-0.505	-0.414	-0.284
	Sel	1.399	0.173	0.184	8.086	0.000	0.289	0.280	0.182
	Egim	0.082	0.013	0.168	6.192	0.000	0.465	0.218	0.139
	Tas	1.092	0.261	0.106	4.189	0.000	0.350	0.149	0.094
9	Sabit	23.435	0.718		32.657	0.000			
	TraversTipi	-1.645	0.419	-0.205	-3.922	0.000	0.560	-0.140	-0.087
	TopTrafikMil.	-0.050	0.003	-0.392	-15.933	0.000	-0.256	-0.498	-0.355
	Hız	-0.082	0.005	-0.532	-15.571	0.000	-0.363	-0.489	-0.347
	RayUzunlugu	-3.444	0.305	-0.473	-11.304	0.000	-0.505	-0.377	-0.252
	Sel	1.557	0.176	0.205	8.840	0.000	0.289	0.304	0.197
	Egim	0.098	0.014	0.203	7.165	0.000	0.465	0.250	0.160
	Tas	1.350	0.267	0.131	5.064	0.000	0.350	0.180	0.113

Burulma Bozulma Modeli

Tablo B.13 Sonuç adimsal regresyon modeli anlamlılık analizi

M.	Parametreler	Katsayılar		Stan. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
10	Sabit	22.866	0.726		31.494	0.000			
	TraversTipi	-1.704	0.416	-0.212	-4.098	0.000	0.560	-0.146	-0.091
	TopTrafikMil.	-0.049	0.003	-0.390	-15.969	0.000	-0.256	-0.499	-0.353
	Hız	-0.078	0.005	-0.505	-14.612	0.000	-0.363	-0.466	-0.323
	RayUzunlugu	-3.456	0.302	-0.475	-11.445	0.000	-0.505	-0.382	-0.253
	Sel	1.534	0.175	0.202	8.788	0.000	0.289	0.302	0.194
	Egim	0.096	0.014	0.199	7.073	0.000	0.465	0.247	0.156
	Tas	1.284	0.265	0.124	4.850	0.000	0.350	0.172	0.107
	1000/R	0.250	0.064	0.093	3.889	0.000	0.282	0.139	0.086
11	Sabit	22.870	0.723		31.628	0.000			
	TraversTipi	-1.879	0.419	-0.234	-4.481	0.000	0.560	-0.160	-0.099
	TopTrafikMil.	-0.048	0.003	-0.384	-15.713	0.000	-0.256	-0.493	-0.346
	Hız	-0.076	0.005	-0.498	-14.407	0.000	-0.363	-0.461	-0.317
	RayUzunlugu	-3.513	0.301	-0.482	-11.653	0.000	-0.505	-0.388	-0.257
	Sel	1.582	0.175	0.208	9.053	0.000	0.289	0.311	0.199
	Egim	0.092	0.014	0.190	6.761	0.000	0.465	0.237	0.149
	Tas	1.273	0.264	0.123	4.829	0.000	0.350	0.172	0.106
	1000/R	0.591	0.142	0.220	4.165	0.000	0.282	0.149	0.092
	Dever	-0.008	0.003	-0.135	-2.695	0.007	0.130	-0.097	-0.059

Hat Genişliği Bozulma Modeli

Tablo C.1 Parametreler korelasyon matrisi

	BozOranl	Egim	1000/R	Dever	Hız	RayUzun.	RayTipi	TraversTipi	TopTrafikMil.	Heyalan	Sel	Kar	Taş
BozOranl	1	0.501	0.344	0.178	-0.525	-0.442	-0.014	0.661	-0.077	-0.079	0.270	-0.016	0.372
Egim		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.694	0.000	0.028	0.024	0.000	0.642	0.000
1000/R		1	0.184	0.040	-0.257	-0.462	-0.193	0.604	0.063	-0.107	0.115	-0.039	0.234
Dever		0.000	0.000	0.257	0.000	0.000	0.000	0.000	0.073	0.002	0.001	0.262	0.000
Hız		0.344	0.184	1	0.879	-0.067	-0.154	0.275	0.109	-0.093	0.086	-0.049	0.203
RayUzun.		0.000	0.000	0.000	0.000	0.057	0.000	0.000	0.002	0.007	0.014	0.158	0.000
RayTipi		0.178	0.040	0.879	1	0.027	-0.111	0.087	0.091	-0.096	0.088	-0.035	0.101
TraversTipi		0.000	0.257	0.000	0.000	0.432	0.001	0.012	0.009	0.006	0.011	0.316	0.004
TopTrafikMil.		-0.525	-0.257	-0.202	1	-0.071	0.404	-0.484	-0.400	0.278	-0.075	0.129	-0.311
Heyalan		0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000
Sel		-0.442	-0.462	0.027	-0.071	1	-0.118	-0.696	0.158	-0.225	-0.051	-0.097	-0.297
Kar		0.000	0.000	0.432	0.041	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.141	0.006	0.000
Taş		-0.014	-0.193	-0.111	0.404	-0.118	1	-0.315	-0.692	0.374	-0.019	0.133	-0.208
		0.694	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.597	0.000	0.000
		0.661	0.604	0.275	-0.484	-0.696	-0.315	1	0.131	-0.112	0.185	-0.053	0.480
		0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.129	0.000
		-0.077	0.063	0.109	-0.400	0.158	-0.692	0.131	1	-0.211	-0.061	-0.089	0.114
		0.028	0.073	0.002	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.079	0.011	0.001
		-0.079	-0.107	-0.093	-0.096	-0.225	0.374	-0.112	-0.211	1	-0.152	0.217	-0.075
		0.024	0.002	0.007	0.006	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032
		0.270	0.115	0.086	-0.075	-0.051	-0.019	0.185	-0.061	-0.152	1	-0.062	0.043
		0.000	0.001	0.014	0.032	0.141	0.597	0.000	0.079	0.000	0.000	0.076	0.215
		-0.016	-0.039	-0.049	-0.035	-0.097	0.133	-0.053	-0.089	0.217	-0.062	1	-0.035
		0.642	0.262	0.158	0.316	0.006	0.000	0.129	0.011	0.000	0.076	0.043	0.316
		0.372	0.234	0.203	0.101	-0.297	-0.208	0.480	0.114	-0.075	0.043	-0.035	1
		0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.001	0.032	0.215	0.316	

Hat Genişliği Bozulma Modeli

Tablo C.2 Regresyon modeli sonucu bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.806	0.650	0.645	7.599

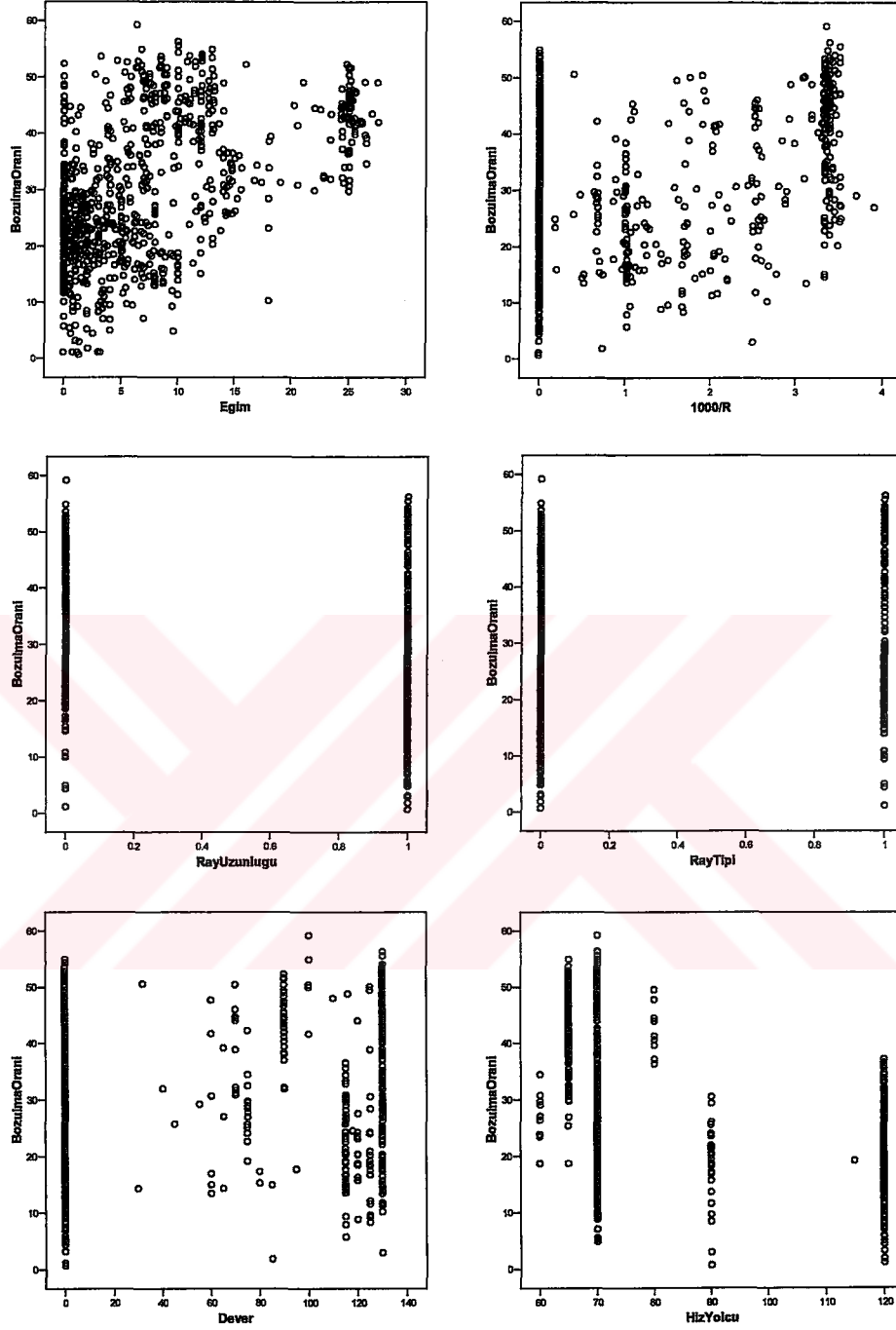
Tablo C.3 Regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regresyon	86,518.794	12	7,209.899	124,867	0.000
	Artıklar	46,596.779	807	57.741		
	Toplam	133,115.572	819			

Tablo C.4 Parametrelerin anlamlılık analizi

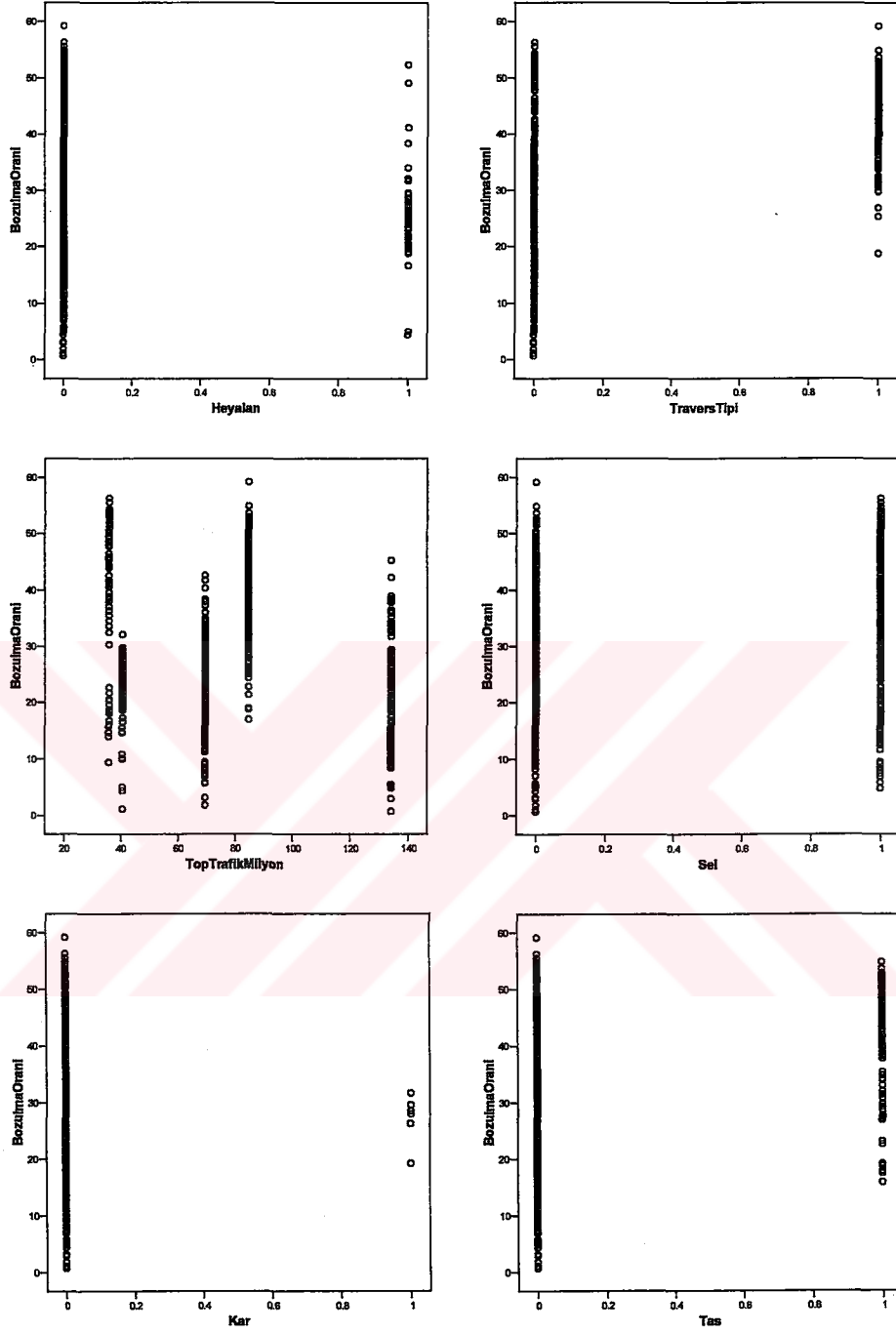
Model	Parametreler	Katsayılar		Standardlaştırılmış Katsayılar		t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA				Sıfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
1	Sabit	52.349	2.990			17.506	0.000			
	Eğim	0.295	0.046	0.170		6.395	0.000	0.501	0.220	0.133
	1000/R	1.375	0.479	0.144		2.871	0.004	0.344	0.101	0.060
	Değer	-0.010	0.010	-0.047		-0.989	0.323	0.178	-0.035	-0.021
	Hız	-0.254	0.018	-0.470		-13.813	0.000	-0.525	-0.437	-0.288
	RayUzunluğu	-5.080	1.153	-0.198		-4.405	0.000	-0.442	-0.153	-0.092
	RayTipi	5.080	1.088	0.161		4.669	0.000	-0.014	0.162	0.097
	TraversTipi	4.783	1.572	0.168		3.043	0.002	0.661	0.107	0.063
	TopTrafikMilyon	-0.072	0.013	-0.166		-5.377	0.000	-0.077	-0.186	-0.112
	Heyalan	-1.037	1.291	-0.019		-0.803	0.422	-0.079	-0.028	-0.017
	Sel	4.137	0.589	0.154		7.024	0.000	0.270	0.240	0.146
	Kar	3.878	3.211	0.026		1.208	0.228	-0.016	0.042	0.025
	Tas	2.464	0.876	0.068		2.813	0.005	0.372	0.099	0.059

Hat Genişliği Bozulma Modeli



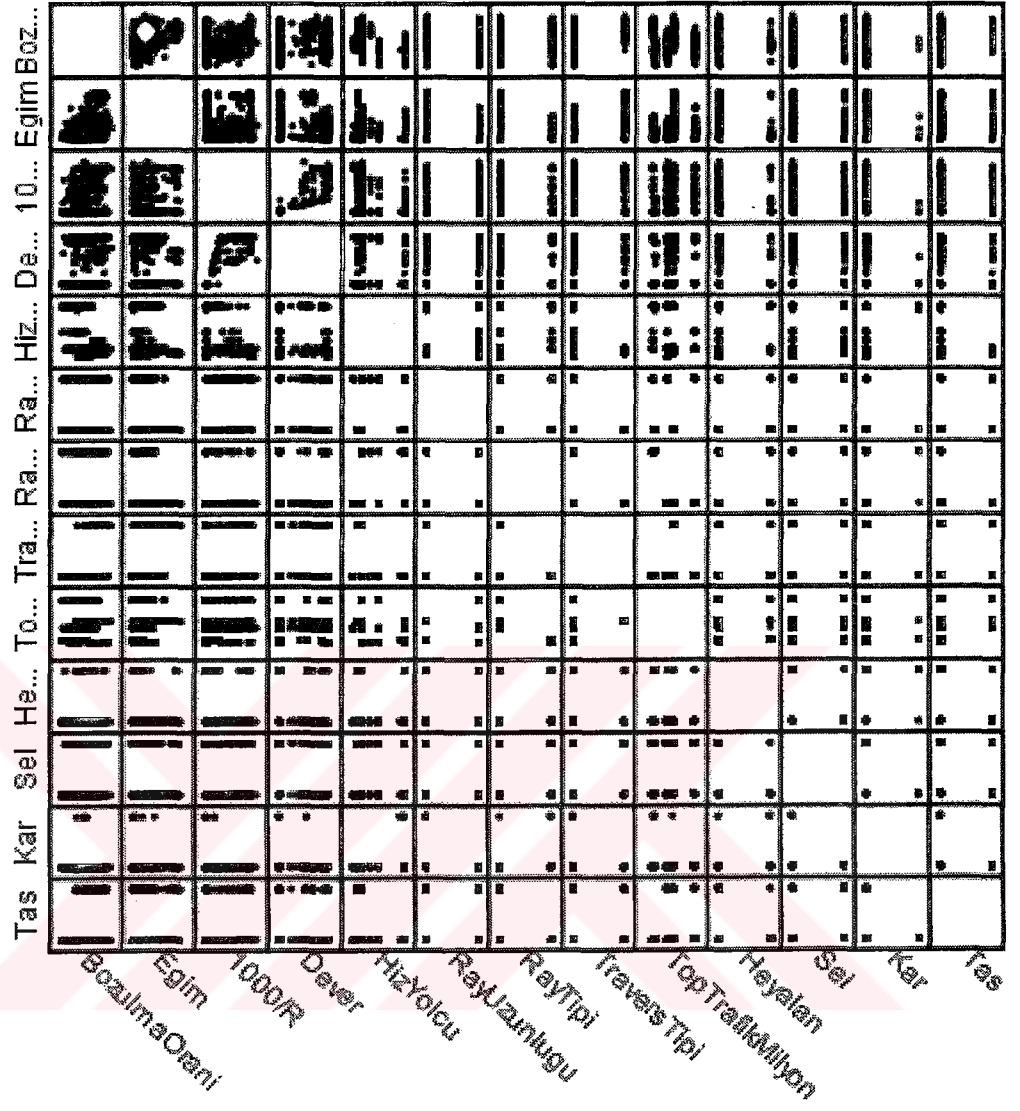
Şekil C.1 Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri

Hat Genişliği Bozulma Modeli



Şekil C.1 Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri

Hat Genişliği Bozulma Modeli



şekil C.2 Verilerilerin matris saçılım grafiği

Hat Genişliği Bozulma Modeli

Tablo C.5 Adımsal regresyon analizi sonucu bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.661	0.436	0.436	9.576
2	0.701	0.492	0.490	9.102
3	0.758	0.575	0.574	8.323
4	0.772	0.597	0.595	8.116
5	0.785	0.617	0.615	7.915
6	0.792	0.627	0.625	7.810
7	0.798	0.637	0.633	7.719
8	0.803	0.645	0.642	7.630
9	0.805	0.649	0.645	7.597

Tablo C.6 Adımsal regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regresyon	58,097.368	1	58,097.368	633.495	0.000
	Artık	75,018.204	818	91.709		
	Toplam	133,115.572	819			
2	Regresyon	65,432.098	2	32,716.049	394.912	0.000
	Artık	67,683.474	817	82.844		
	Toplam	133,115.572	819			
3	Regresyon	76,584.168	3	25,528.056	368.484	0.000
	Artık	56,531.405	816	69.279		
	Toplam	133,115.572	819			
4	Regresyon	79,430.773	4	19,857.693	301.464	0.000
	Artık	53,684.799	815	65.871		
	Toplam	133,115.572	819			
5	Regresyon	82,125.429	5	16,425.086	262.208	0.000
	Artık	50,990.143	814	62.641		
	Toplam	133,115.572	819			
6	Regresyon	83,523.070	6	13,920.512	228.207	0.000
	Artık	49,592.503	813	60.999		
	Toplam	133,115.572	819			
7	Regresyon	84,728.944	7	12,104.135	203.125	0.000
	Artık	48,386.628	812	59.589		
	Toplam	133,115.572	819			
8	Regresyon	85,899.418	8	10,737.427	184.430	0.000
	Artık	47,216.154	811	58.220		
	Toplam	133,115.572	819			
9	Regresyon	86,361.430	9	9,595.714	166.243	0.000
	Artık	46,754.142	810	57.721		
	Toplam	133,115.572	819			

Hat Genişliği Bozulma Modeli

Tablo C.7 Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi

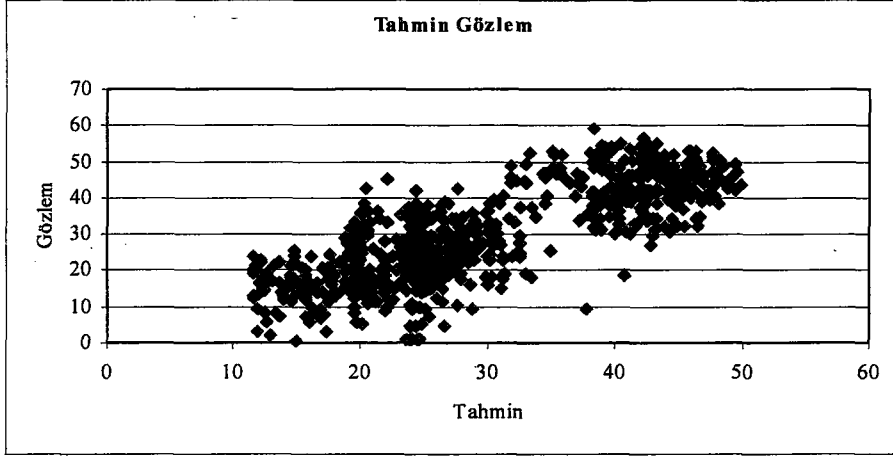
M.	Parametreler	Katsayılar		Standart. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA			Sıfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
1	Sabit	24.398	0.393		62.040	0.000			
	TraversTipi	18.812	0.747	0.661	25.169	0.000	0.661	0.661	0.661
2	Sabit	37.600	1.452		25.896	0.000			
	TraversTipi	15.114	0.812	0.531	18.616	0.000	0.661	0.546	0.464
	Hız	-0.145	0.015	-0.268	-9.409	0.000	-0.525	-0.313	-0.235
3	Sabit	39.890	1.340		29.769	0.000			
	TraversTipi	16.540	0.751	0.581	22.027	0.000	0.661	0.611	0.502
	Hız	-0.202	0.015	-0.373	-13.644	0.000	-0.525	-0.431	-0.311
	RayTipi	10.078	0.794	0.320	12.688	0.000	-0.014	0.406	0.289
4	Sabit	38.961	1.314		29.645	0.000			
	TraversTipi	13.273	0.885	0.466	15.000	0.000	0.661	0.465	0.334
	Hız	-0.207	0.014	-0.383	-14.331	0.000	-0.525	-0.449	-0.319
	RayTipi	10.181	0.775	0.323	13.141	0.000	-0.014	0.418	0.292
	Egim	0.319	0.049	0.184	6.574	0.000	0.501	0.224	0.146
5	Sabit	37.936	1.291		29.382	0.000			
	TraversTipi	12.455	0.872	0.437	14.285	0.000	0.661	0.448	0.310
	Hız	-0.207	0.014	-0.384	-14.724	0.000	-0.525	-0.459	-0.319
	RayTipi	9.986	0.756	0.317	13.207	0.000	-0.014	0.420	0.286
	Egim	0.318	0.047	0.183	6.717	0.000	0.501	0.229	0.146
	Sel	3.890	0.593	0.145	6.559	0.000	0.270	0.224	0.142
6	Sabit	45.432	2.019		22.505	0.000			
	TraversTipi	11.763	0.872	0.413	13.482	0.000	0.661	0.427	0.289
	Hız	-0.225	0.014	-0.417	-15.651	0.000	-0.525	-0.481	-0.335
	RayTipi	6.899	0.986	0.219	6.995	0.000	-0.014	0.238	0.150
	Egim	0.314	0.047	0.181	6.716	0.000	0.501	0.229	0.144
	Sel	3.659	0.587	0.136	6.230	0.000	0.270	0.213	0.133
	TopTrafikMil.	-0.064	0.013	-0.149	-4.787	0.000	-0.077	-0.166	-0.102
7	Sabit	43.071	2.063		20.877	0.000			
	TraversTipi	11.487	0.865	0.403	13.287	0.000	0.661	0.423	0.281
	Hız	-0.209	0.015	-0.386	-14.182	0.000	-0.525	-0.446	-0.300
	RayTipi	6.966	0.975	0.221	7.146	0.000	-0.014	0.243	0.151
	Egim	0.306	0.046	0.176	6.621	0.000	0.501	0.226	0.140
	Sel	3.554	0.581	0.132	6.117	0.000	0.270	0.210	0.129
	TopTrafikMil.	-0.063	0.013	-0.145	-4.712	0.000	-0.077	-0.163	-0.100
	1000/R	0.981	0.218	0.103	4.498	0.000	0.344	0.156	0.095
8	Sabit	52.852	2.986		17.699	0.000			
	TraversTipi	5.876	1.515	0.206	3.878	0.000	0.661	0.135	0.081
	Hız	-0.259	0.018	-0.479	-14.093	0.000	-0.525	-0.444	-0.295
	RayTipi	4.897	1.068	0.155	4.583	0.000	-0.014	0.159	0.096
	Egim	0.291	0.046	0.168	6.357	0.000	0.501	0.218	0.133
	Sel	4.026	0.584	0.150	6.896	0.000	0.270	0.235	0.144
	TopTrafikMil.	-0.073	0.013	-0.169	-5.486	0.000	-0.077	-0.189	-0.115
	1000/R	0.988	0.215	0.104	4.587	0.000	0.344	0.159	0.096
	RayUzunlugu	-5.018	1.119	-0.196	-4.484	0.000	-0.442	-0.156	-0.094
9	Sabit	52.258	2.981		17.531	0.000			
	TraversTipi	5.050	1.537	0.177	3.286	0.001	0.661	0.115	0.068
	Hız	-0.256	0.018	-0.472	-13.933	0.000	-0.525	-0.440	-0.290
	RayTipi	5.030	1.065	0.160	4.724	0.000	-0.014	0.164	0.098
	Egim	0.301	0.046	0.174	6.592	0.000	0.501	0.226	0.137
	Sel	4.104	0.582	0.153	7.052	0.000	0.270	0.240	0.147
	TopTrafikMil.	-0.073	0.013	-0.168	-5.469	0.000	-0.077	-0.189	-0.114
	1000/R	0.949	0.215	0.099	4.413	0.000	0.344	0.153	0.092
	RayUzunlugu	-4.929	1.115	-0.192	-4.422	0.000	-0.442	-0.154	-0.092
	Tas	2.478	0.876	0.068	2.829	0.005	0.372	0.099	0.059

Hat Genişliği Bozulma Modeli

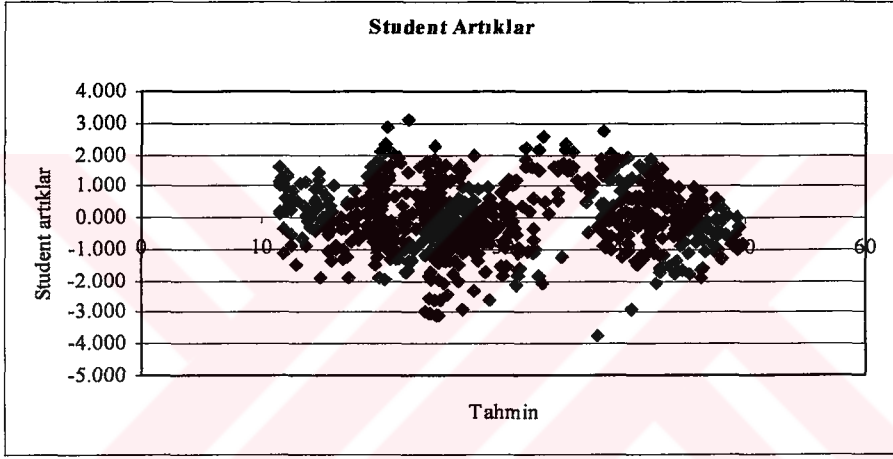
Tablo C.8 Aykırı gözlemlerin test edilmesi

	Gözlem	Tahmin	Artıklar	Stan. Artıklar	Student Artıklar	DFFIT	pji	Cook Uzaklığı	Mahalanobis Uzaklığı	Kovaryans Oranı
27	42.265	20.470	21.795	2.869	2.881	0.185	0.007	0.007	5.904	0.921
44	4.881	26.653	-21.773	-2.866	-2.885	-0.298	0.012	0.011	10.072	0.926
62	38.132	20.353	17.780	2.340	2.351	0.158	0.008	0.005	6.227	0.954
69	10.251	27.611	-17.360	-2.285	-2.305	-0.302	0.016	0.009	13.012	0.964
77	45.273	22.135	23.139	3.046	3.077	0.483	0.019	0.020	15.764	0.919
223	9.220	28.832	-19.612	-2.581	-2.595	-0.200	0.009	0.007	7.274	0.941
224	15.129	31.092	-15.963	-2.101	-2.112	-0.168	0.009	0.005	7.527	0.968
261	17.913	33.350	-15.437	-2.032	-2.054	-0.338	0.020	0.009	16.557	0.982
331	41.774	24.367	17.408	2.291	2.300	0.135	0.006	0.004	5.286	0.956
366	7.061	25.391	-18.330	-2.413	-2.421	-0.130	0.006	0.004	4.770	0.948
387	18.765	40.620	-21.855	-2.877	-2.895	-0.274	0.011	0.010	9.125	0.924
388	26.925	42.707	-15.782	-2.077	-2.088	-0.165	0.009	0.005	7.460	0.969
605	51.627	35.154	16.473	2.168	2.182	0.203	0.011	0.006	8.976	0.966
606	59.202	38.328	20.874	2.748	2.767	0.303	0.013	0.011	10.703	0.934
608	51.658	35.779	15.878	2.090	2.102	0.178	0.010	0.005	8.101	0.969
610	52.392	33.248	19.144	2.520	2.542	0.338	0.016	0.011	13.219	0.951
611	48.688	31.853	16.835	2.216	2.230	0.223	0.012	0.007	9.711	0.965
619	52.736	35.108	17.628	2.320	2.338	0.265	0.014	0.008	11.125	0.960
624	49.289	32.938	16.351	2.152	2.166	0.211	0.011	0.006	9.414	0.968
632	54.380	38.971	15.409	2.028	2.044	0.242	0.014	0.007	11.651	0.976
651	9.439	37.765	-28.327	-3.728	-3.755	-0.405	0.013	0.020	10.540	0.862
670	35.505	20.222	15.283	2.012	2.032	0.310	0.019	0.008	15.275	0.981
682	9.410	25.089	-15.679	-2.064	-2.084	-0.309	0.018	0.009	14.810	0.978
703	36.516	20.710	15.806	2.080	2.097	0.255	0.015	0.007	12.023	0.974
704	36.535	20.472	16.063	2.114	2.131	0.252	0.014	0.007	11.649	0.972
705	35.995	20.057	15.939	2.098	2.115	0.263	0.015	0.007	12.292	0.974
728	4.429	23.846	-19.416	-2.556	-2.568	-0.185	0.008	0.006	6.731	0.942
729	4.993	24.870	-19.878	-2.616	-2.628	-0.177	0.008	0.006	6.217	0.938
814	1.134	23.665	-22.531	-2.966	-2.980	-0.219	0.008	0.009	6.893	0.916
815	1.134	23.906	-22.772	-2.997	-3.011	-0.216	0.008	0.009	6.682	0.913
816	1.134	24.027	-22.893	-3.013	-3.027	-0.214	0.008	0.009	6.590	0.912
817	1.134	24.569	-23.435	-3.085	-3.098	-0.211	0.008	0.009	6.297	0.907
818	4.446	24.418	-19.972	-2.629	-2.641	-0.181	0.008	0.006	6.359	0.937
819	1.134	24.629	-23.495	-3.093	-3.106	-0.211	0.008	0.009	6.276	0.906
820	1.134	24.569	-23.435	-3.085	-3.098	-0.211	0.008	0.009	6.297	0.907
Top.	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35

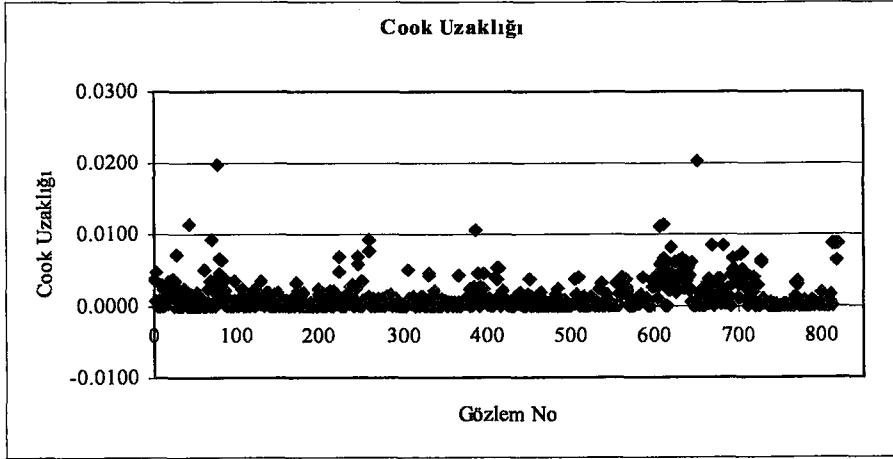
Hat Genişliği Bozulma Modeli



Şekil C.3 Tahmin ve gözlem değerleri



Şekil C.4 Student türü artıklar



Şekil C.5 Cook uzaklığı

Tablo C.9 Varyans şişme değerleri

Parametreler (Constant)	Çoklu Bağntı İstatistikleri	
	Tolerans	VIF
Eğim	0.613	1.630
1000/R	0.172	5.810
Dever	0.191	5.231
HızYolcu	0.375	2.665
RayUzunluğu	0.215	4.657
RayTipi	0.364	2.750
TraversTipi	0.142	7.025
TopTrafikMilyon	0.456	2.192
Heyalan	0.738	1.355
Sel	0.901	1.109
Kar	0.940	1.064
Tas	0.750	1.333

Tablo C.10 Varyans ayrışım oranları

Sayı	Özdeğerler	Kosul İndeksi	Varyans Ayrışım Oranları												
			Sabit	Eğim	1000/R	Dever	Hız	RayUz.	RayTipi	Trav.Tipi	TopTraf.Mil.	Heyalan	Sel	Kar	Tas
1	6.032	1.000	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
2	1.764	1.849	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.07	0.00	0.04
3	1.284	2.167	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.12	0.00	0.14
4	0.925	2.554	0.00	0.02	0.04	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.19	0.00
5	0.829	2.698	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.12	0.01	0.59
6	0.673	2.995	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.08	0.38	0.02	0.17
7	0.563	3.273	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.00	0.07	0.06	0.01	0.59
8	0.479	3.550	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.41	0.42	0.00	0.00
9	0.212	5.339	0.00	0.76	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.11	0.02	0.05	0.03	0.00	0.10
10	0.124	6.981	0.00	0.02	0.05	0.08	0.06	0.25	0.09	0.16	0.00	0.04	0.01	0.01	0.03
11	0.056	10.370	0.00	0.00	0.05	0.05	0.08	0.13	0.20	0.13	0.59	0.02	0.03	0.00	0.00
12	0.054	10.613	0.00	0.02	0.85	0.81	0.06	0.03	0.07	0.05	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00
13	0.006	32.340	1.00	0.01	0.00	0.00	0.79	0.53	0.29	0.52	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00

Hat Genişliği Bozulma Modeli

Tablo C.11 Sonuç adımsal regresyon analizinde bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.684	0.468	0.467	8.959
2	0.728	0.531	0.529	8.420
3	0.792	0.627	0.626	7.509
4	0.808	0.653	0.651	7.247
5	0.822	0.676	0.674	7.007
6	0.830	0.688	0.686	6.880
7	0.838	0.702	0.699	6.732
8	0.844	0.712	0.709	6.617
9	0.848	0.718	0.715	6.551

Tablo C.12 Sonuç adımsal regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regression	55,246.913	1	55,246.913	688.370	0.000
	Residual	62,841.699	783	80.258		
	Total	118,088.613	784			
2	Regression	62,653.260	2	31,326.630	441.910	0.000
	Residual	55,435.352	782	70.889		
	Total	118,088.613	784			
3	Regression	74,054.651	3	24,684.884	437.819	0.000
	Residual	44,033.962	781	56.382		
	Total	118,088.613	784			
4	Regression	77,125.202	4	19,281.301	367.143	0.000
	Residual	40,963.410	780	52.517		
	Total	118,088.613	784			
5	Regression	79,845.634	5	15,969.127	325.287	0.000
	Residual	38,242.979	779	49.092		
	Total	118,088.613	784			
6	Regression	81,267.146	6	13,544.524	286.182	0.000
	Residual	36,821.467	778	47.328		
	Total	118,088.613	784			
7	Regression	82,876.101	7	11,839.443	261.249	0.000
	Residual	35,212.511	777	45.319		
	Total	118,088.613	784			
8	Regression	84,108.888	8	10,513.611	240.101	0.000
	Residual	33,979.725	776	43.788		
	Total	118,088.613	784			
9	Regression	84,829.189	9	9,425.465	219.629	0.000
	Residual	33,259.424	775	42.915		
	Total	118,088.613	784			

Tablo C.13 Sonuç adimsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi

M.	Parametreler	Katsayılar		Standart. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA			Sıfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
1	Sabit	24,551	0,377		65,083	0,000			
	TraversTipi	18,653	0,711	0,684	26,237	0,000	0,684	0,684	0,684
2	Sabit	22,340	0,415		53,792	0,000			
	TraversTipi	20,864	0,702	0,765	29,708	0,000	0,684	0,728	0,728
	RayTipi	8,150	0,797	0,263	10,221	0,000	0,028	0,343	0,250
3	Sabit	39,157	1,239		31,598	0,000			
	TraversTipi	16,764	0,690	0,615	24,313	0,000	0,684	0,656	0,531
	RayTipi	11,240	0,744	0,363	15,116	0,000	0,028	0,476	0,330
	Hız	-0,194	0,014	-0,372	-14,220	0,000	-0,529	-0,454	-0,311
4	Sabit	38,183	1,203		31,746	0,000			
	TraversTipi	15,765	0,678	0,578	23,247	0,000	0,684	0,640	0,490
	RayTipi	10,987	0,718	0,355	15,294	0,000	0,028	0,480	0,323
	Hız	-0,197	0,013	-0,376	-14,889	0,000	-0,529	-0,470	-0,314
	Sel	4,238	0,554	0,165	7,646	0,000	0,298	0,264	0,161
5	Sabit	37,279	1,169		31,883	0,000			
	TraversTipi	12,410	0,796	0,455	15,597	0,000	0,684	0,488	0,318
	RayTipi	11,037	0,695	0,356	15,889	0,000	0,028	0,495	0,324
	Hız	-0,202	0,013	-0,386	-15,789	0,000	-0,529	-0,492	-0,322
	Sel	4,272	0,536	0,166	7,971	0,000	0,298	0,275	0,163
	Egim	0,318	0,043	0,193	7,444	0,000	0,526	0,258	0,152
6	Sabit	44,994	1,817		24,769	0,000			
	TraversTipi	11,713	0,792	0,429	14,798	0,000	0,684	0,469	0,296
	RayTipi	7,886	0,892	0,255	8,841	0,000	0,028	0,302	0,177
	Hız	-0,221	0,013	-0,422	-16,956	0,000	-0,529	-0,519	-0,339
	Sel	4,057	0,528	0,158	7,689	0,000	0,298	0,266	0,154
	Egim	0,313	0,042	0,189	7,448	0,000	0,526	0,258	0,149
	TopTrafikMil.	-0,066	0,012	-0,157	-5,480	0,000	-0,112	-0,193	-0,110
7	Sabit	56,714	2,651		21,392	0,000			
	TraversTipi	4,913	1,379	0,180	3,562	0,000	0,684	0,127	0,070
	RayTipi	5,312	0,974	0,172	5,454	0,000	0,028	0,192	0,107
	Hız	-0,280	0,016	-0,535	-17,320	0,000	-0,529	-0,528	-0,339
	Sel	4,603	0,524	0,179	8,778	0,000	0,298	0,300	0,172
	Egim	0,297	0,041	0,180	7,215	0,000	0,526	0,251	0,141
	TopTrafikMil.	-0,079	0,012	-0,188	-6,577	0,000	-0,112	-0,230	-0,129
	RayUzunlugu	-6,068	1,018	-0,245	-5,958	0,000	-0,496	-0,209	-0,117
8	Sabit	54,295	2,646		20,522	0,000			
	TraversTipi	4,557	1,357	0,167	3,357	0,001	0,684	0,120	0,065
	RayTipi	5,311	0,957	0,172	5,548	0,000	0,028	0,195	0,107
	Hız	-0,262	0,016	-0,502	-16,175	0,000	-0,529	-0,502	-0,311
	Sel	4,508	0,516	0,175	8,740	0,000	0,298	0,299	0,168
	Egim	0,291	0,041	0,176	7,176	0,000	0,526	0,249	0,138
	TopTrafikMil.	-0,077	0,012	-0,183	-6,530	0,000	-0,112	-0,228	-0,126
	RayUzunlugu	-6,132	1,001	-0,248	-6,125	0,000	-0,496	-0,215	-0,118
9	1000/R	1,006	0,190	0,110	5,306	0,000	0,357	0,187	0,102
	Sabit	53,565	2,625		20,404	0,000			
	TraversTipi	3,454	1,371	0,127	2,520	0,012	0,684	0,090	0,048
	RayTipi	5,478	0,949	0,177	5,775	0,000	0,028	0,203	0,110
	Hız	-0,258	0,016	-0,494	-16,054	0,000	-0,529	-0,500	-0,306
	Sel	4,624	0,511	0,180	9,042	0,000	0,298	0,309	0,172
	Egim	0,305	0,040	0,184	7,572	0,000	0,526	0,262	0,144
	TopTrafikMil.	-0,076	0,012	-0,181	-6,528	0,000	-0,112	-0,228	-0,124
	RayUzunlugu	-6,029	0,991	-0,244	-6,081	0,000	-0,496	-0,213	-0,116
	Tas	0,958	0,188	0,105	5,094	0,000	0,357	0,180	0,097
		3,161	0,772	0,090	4,097	0,000	0,399	0,146	0,078

Eksen Bozulma Modeli

Tablo D.1 Parametreler korelasyon matrisi

	Boz.Orani	Egim	1000/R	Dever	Hiz	RayUzun.	RayTipi	TraversTipi	TopTrafikMil.	Heyalan	Sel	Kar	Taş
Boz.Orani	1	0.498	0.354	0.191	-0.488	-0.458	0.000	0.645	-0.081	-0.069	0.271	-0.009	0.358
Egim		1	0.184	0.040	-0.257	-0.462	-0.193	0.604	0.063	-0.107	0.115	-0.039	0.234
1000/R			1	0.879	-0.354	-0.067	-0.154	0.275	0.109	-0.093	0.086	-0.049	0.203
Dever				1	0.000	0.057	0.000	0.000	0.002	0.007	0.014	0.158	0.000
Hiz					1	0.027	-0.111	0.087	0.091	-0.096	0.088	-0.035	0.101
RayUzun.						1	0.404	-0.484	-0.400	0.278	-0.075	0.129	-0.311
RayTipi							1	-0.696	0.158	-0.225	-0.051	-0.097	-0.297
TraversTipi								1	0.000	0.000	0.141	0.006	0.000
TopTrafikMil.									1	0.374	-0.019	0.133	-0.208
Heyalan										1	0.597	0.000	0.000
Sel											1	-0.062	0.043
Kar												1	-0.035
Taş													1

Eksen Bozulma Modeli

Tablo D.2 Regresyon modeli sonucu bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.790	0.624	0.618	5.784

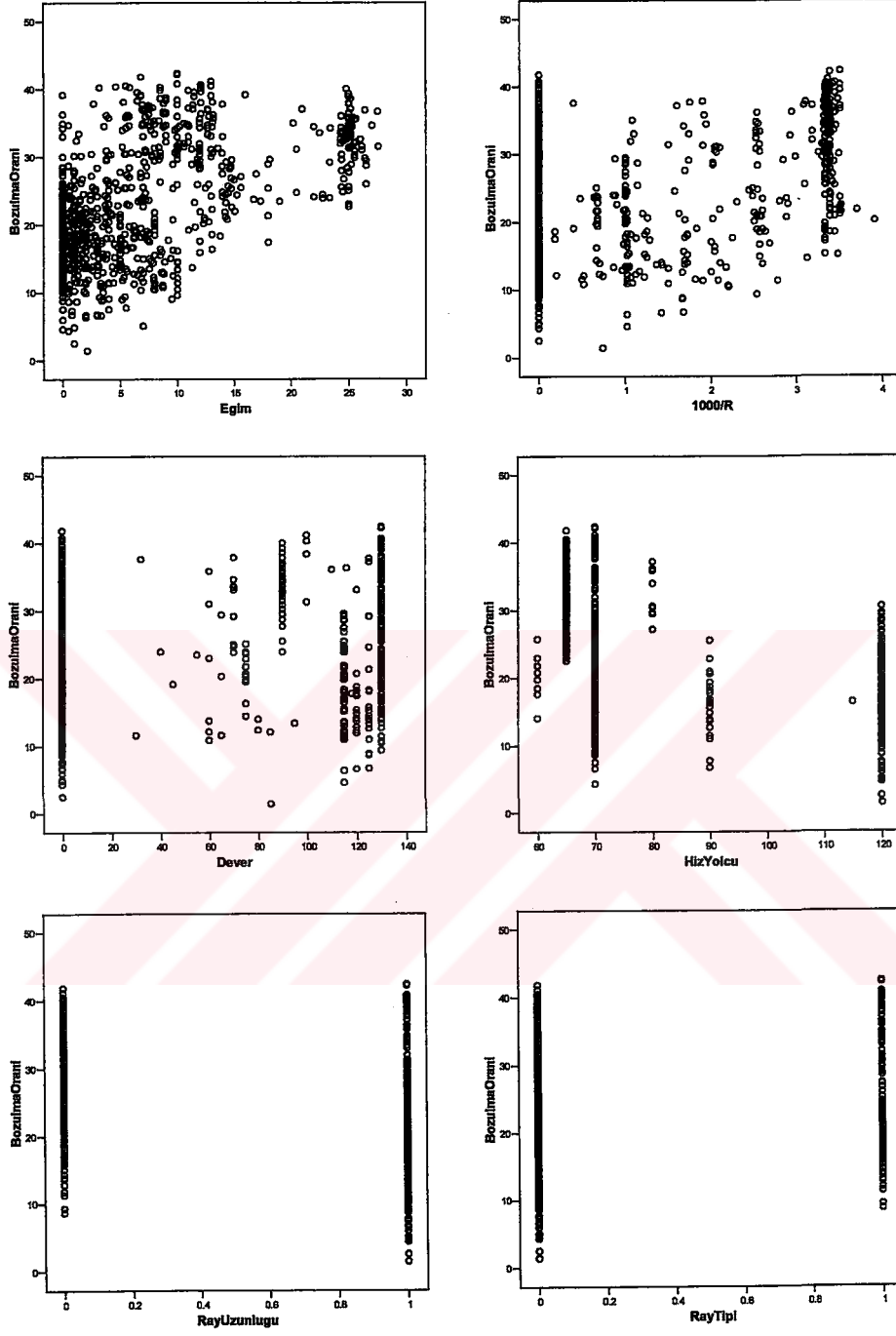
Tablo C.3 Regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regresyon	44.792.691	12	3.732.724	111.594	0.000
	Artiklar	26.993.511	807	33.449		
	Toplam	71.786.202	819			

Tablo D.4 Parametrelerin anlamlılık analizi

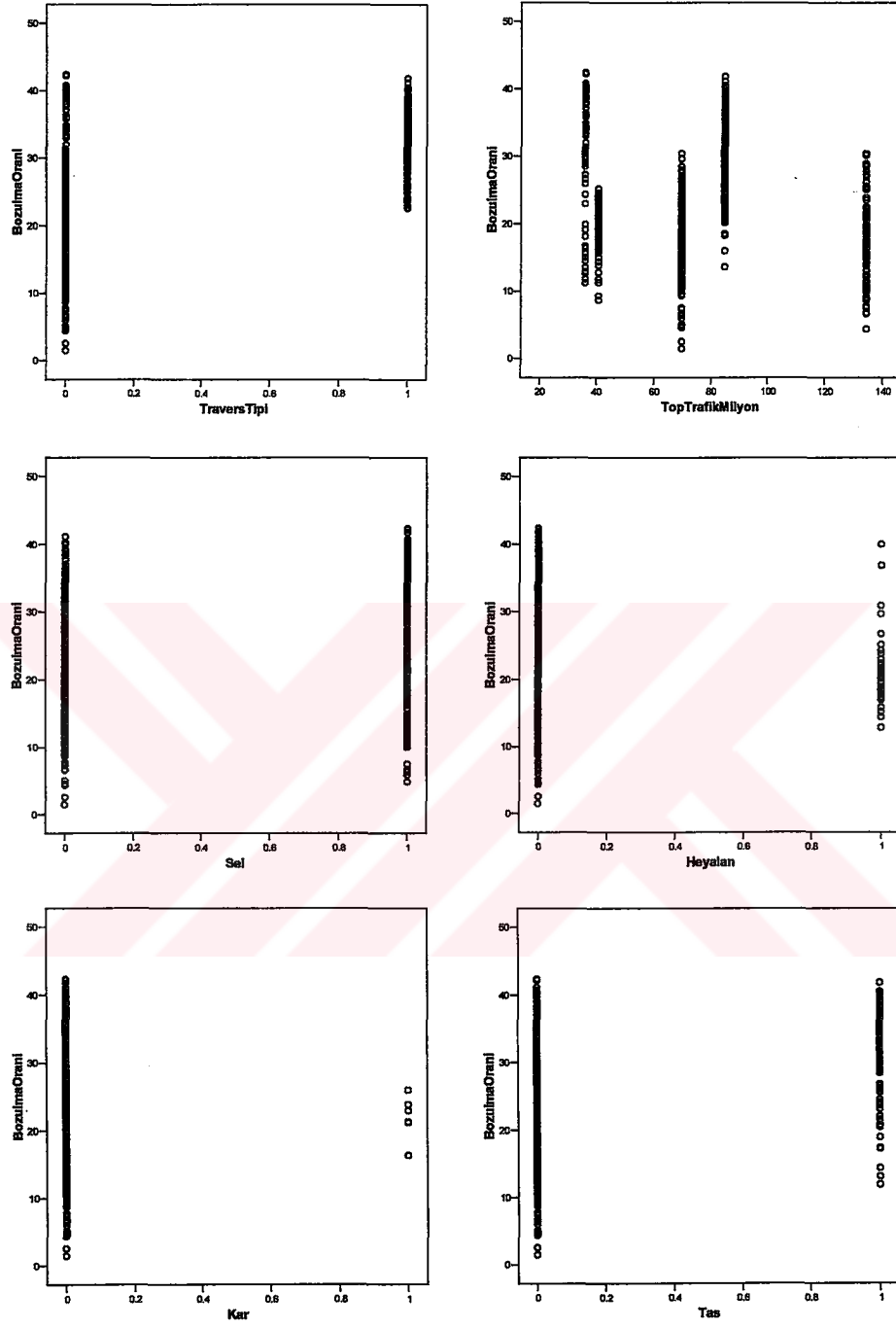
Model	Parametreler	Katsayılar		Standardlaştırılmış Katsayılar		t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA				Sifir derece	Kismi	Y.Kismi
1	Sabit	38.872	2.276			17.079	0.000			
	Egim	0.220	0.035	0.172		6.252	0.000	0.498	0.215	0.135
	1000/R	1.293	0.364	0.185		3.547	0.000	0.354	0.124	0.077
	Dever	-0.010	0.008	-0.061		-1.235	0.217	0.191	-0.043	-0.027
	Yolcu	-0.175	0.014	-0.441		-12.510	0.000	-0.488	-0.403	-0.270
	RayUzunlugu	-4.704	0.878	-0.250		-5.359	0.000	-0.458	-0.185	-0.116
	RayTipi	3.680	0.828	0.159		4.444	0.000	0.000	0.155	0.096
	Travers Tipi	2.436	1.196	0.116		2.036	0.042	0.645	0.071	0.044
	TopTrafikMilyon	-0.047	0.010	-0.149		-4.663	0.000	-0.081	-0.162	-0.101
	Heyalan	-1.070	0.982	-0.027		-1.090	0.276	-0.069	-0.038	-0.024
	Sel	3.196	0.448	0.162		7.130	0.000	0.271	0.243	0.154
	Kar	2.987	2.444	0.027		1.222	0.222	-0.009	0.043	0.026
	Tas	1.652	0.667	0.062		2.477	0.013	0.358	0.087	0.053

Eksen Bozulma Modeli



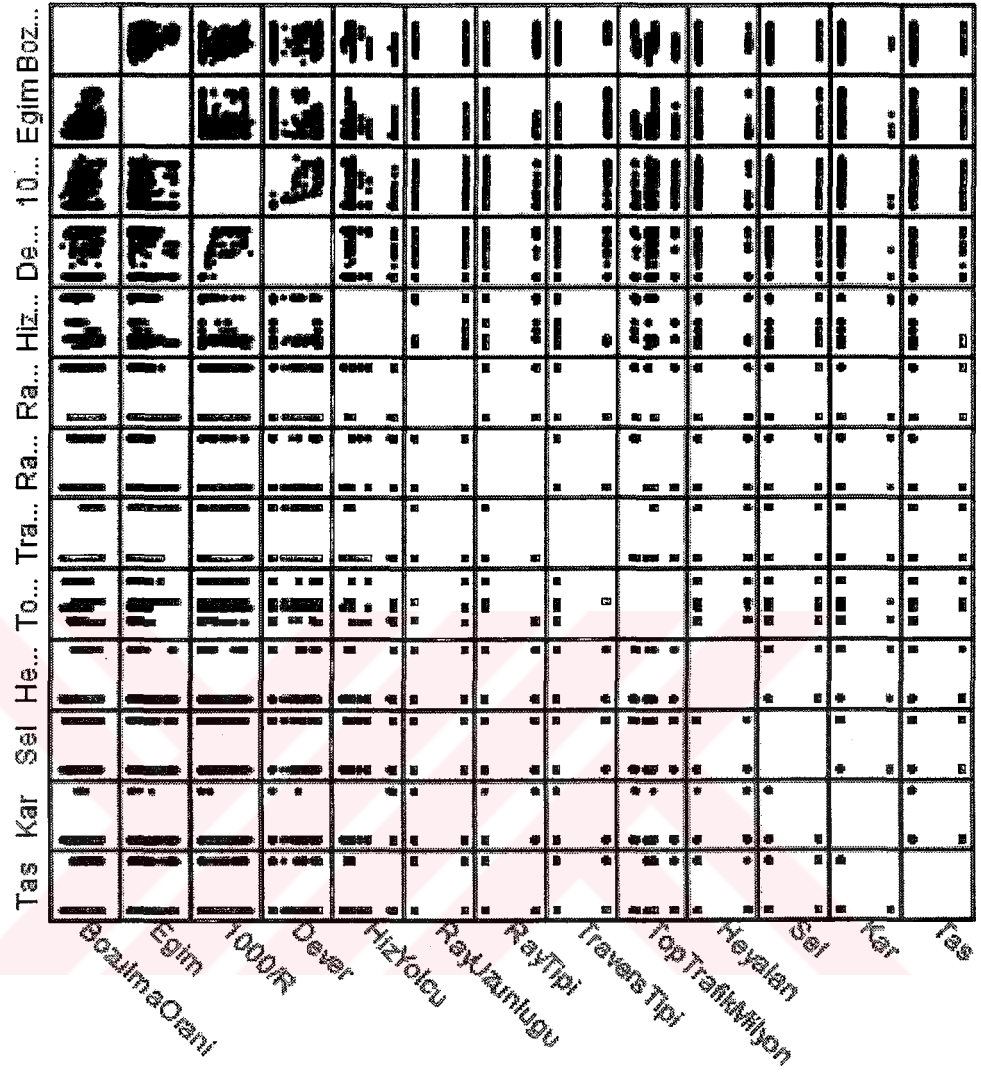
Şekil D.1 Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri

Eksen Bozulma Modeli



Şekil D.1 Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri

Eksen Bozulma Modeli



Şekil D.2 Verilerilerin matris saçılım grafiği

Eksen Bozulma Modeli

Tablo D.5 Adımsal regresyon analizi sonucu bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.645	0.416	0.415	7.160
2	0.679	0.461	0.460	6.879
3	0.734	0.539	0.538	6.367
4	0.750	0.562	0.560	6.209
5	0.764	0.584	0.581	6.059
6	0.774	0.599	0.596	5.953
7	0.780	0.609	0.605	5.883
8	0.787	0.619	0.616	5.805
9	0.789	0.622	0.618	5.786

Tablo D.6 Adımsal regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regresyon	29,845.417	1	29,845.417	582.096	0.000
	Artık	41,940.785	818	51.272		
	Toplam	71,786.202	819			
2	Regresyon	33,123.138	2	16,561.569	349.967	0.000
	Artık	38,663.064	817	47.323		
	Toplam	71,786.202	819			
3	Regresyon	38,709.515	3	12,903.172	318.321	0.000
	Artık	33,076.688	816	40.535		
	Toplam	71,786.202	819			
4	Regresyon	40,365.839	4	10,091.460	261.758	0.000
	Artık	31,420.363	815	38.553		
	Toplam	71,786.202	819			
5	Regresyon	41,898.654	5	8,379.731	228.226	0.000
	Artık	29,887.548	814	36.717		
	Toplam	71,786.202	819			
6	Regresyon	42,973.777	6	7,162.296	202.098	0.000
	Artık	28,812.425	813	35.440		
	Toplam	71,786.202	819			
7	Regresyon	43,686.429	7	6,240.918	180.344	0.000
	Artık	28,099.773	812	34.606		
	Toplam	71,786.202	819			
8	Regresyon	44,461.353	8	5,557.669	164.951	0.000
	Artık	27,324.850	811	33.693		
	Toplam	71,786.202	819			
9	Regresyon	44,670.017	9	4,963.335	148.262	0.000
	Artık	27,116.185	810	33.477		
	Toplam	71,786.202	819			

Eksen Bozulma Modeli

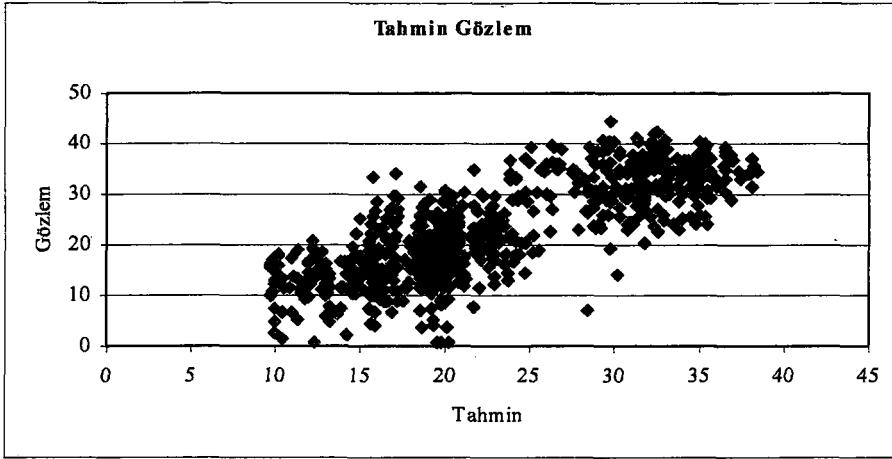
Tablo D.7 Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi

Model	Parametreler	Katsayılar		Standart. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA			Sfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
1	Sabit	19.170	0.294		65.195	0.000			
	TraversTipi	13.484	0.559	0.645	24.127	0.000	0.645	0.645	0.645
2	Sabit	17.686	0.334		52.939	0.000			
	TraversTipi	14.968	0.566	0.716	26.456	0.000	0.645	0.679	0.679
	RayTipi	5.208	0.626	0.225	8.322	0.000	0.000	0.280	0.214
3	Sabit	29.158	1.025		28.447	0.000			
	TraversTipi	12.196	0.574	0.583	21.234	0.000	0.645	0.597	0.505
	RayTipi	7.365	0.608	0.318	12.121	0.000	0.000	0.391	0.288
	Hız	-0.133	0.011	-0.334	-11.739	0.000	-0.488	-0.380	-0.279
4	Sabit	28.450	1.005		28.295	0.000			
	TraversTipi	9.704	0.677	0.464	14.335	0.000	0.645	0.449	0.332
	RayTipi	7.443	0.593	0.322	12.558	0.000	0.000	0.403	0.291
	Hız	-0.137	0.011	-0.344	-12.378	0.000	-0.488	-0.398	-0.287
	Egim	0.243	0.037	0.191	6.555	0.000	0.498	0.224	0.152
5	Sabit	27.677	0.988		27.999	0.000			
	TraversTipi	9.087	0.668	0.435	13.614	0.000	0.645	0.431	0.308
	RayTipi	7.296	0.579	0.315	12.603	0.000	0.000	0.404	0.285
	Hız	-0.137	0.011	-0.345	-12.712	0.000	-0.488	-0.407	-0.287
	Egim	0.242	0.036	0.190	6.693	0.000	0.498	0.228	0.151
	Sel	2.934	0.454	0.149	6.461	0.000	0.271	0.221	0.146
6	Sabit	25.638	1.039		24.668	0.000			
	TraversTipi	8.809	0.658	0.421	13.393	0.000	0.645	0.425	0.298
	RayTipi	7.281	0.569	0.315	12.803	0.000	0.000	0.410	0.284
	Hız	-0.122	0.011	-0.307	-11.113	0.000	-0.488	-0.363	-0.247
	Egim	0.235	0.036	0.184	6.598	0.000	0.498	0.225	0.147
	Sel	2.829	0.447	0.143	6.335	0.000	0.271	0.217	0.141
	1000/R	0.926	0.168	0.132	5.508	0.000	0.354	0.190	0.122
7	Sabit	32.193	1.772		18.164	0.000			
	TraversTipi	4.587	1.135	0.219	4.041	0.000	0.645	0.140	0.089
	RayTipi	6.083	0.621	0.263	9.796	0.000	0.000	0.325	0.215
	Hız	-0.158	0.013	-0.398	-11.738	0.000	-0.488	-0.381	-0.258
	Egim	0.224	0.035	0.176	6.353	0.000	0.498	0.218	0.139
	Sel	3.221	0.450	0.163	7.163	0.000	0.271	0.244	0.157
	1000/R	0.935	0.166	0.134	5.633	0.000	0.354	0.194	0.124
	RayUzunlugu	-3.854	0.849	-0.205	-4.538	0.000	-0.458	-0.157	-0.100
8	Sabit	39.146	2.272		17.232	0.000			
	TraversTipi	3.278	1.153	0.157	2.843	0.005	0.645	0.099	0.062
	RayTipi	3.522	0.813	0.152	4.333	0.000	0.000	0.150	0.094
	Hız	-0.179	0.014	-0.450	-12.796	0.000	-0.488	-0.410	-0.277
	Egim	0.219	0.035	0.172	6.291	0.000	0.498	0.216	0.136
	Sel	3.122	0.444	0.158	7.029	0.000	0.271	0.240	0.152
	1000/R	0.914	0.164	0.131	5.578	0.000	0.354	0.192	0.121
	RayUzunlugu	-4.577	0.851	-0.243	-5.376	0.000	-0.458	-0.185	-0.116
	TopTrafikMil.	-0.049	0.010	-0.153	-4.796	0.000	-0.081	-0.166	-0.104
9	Sabit	38.746	2.270		17.068	0.000			
	TraversTipi	2.722	1.170	0.130	2.326	0.020	0.645	0.081	0.050
	RayTipi	3.611	0.811	0.156	4.453	0.000	0.000	0.155	0.096
	Hız	-0.177	0.014	-0.444	-12.642	0.000	-0.488	-0.406	-0.273
	Egim	0.226	0.035	0.177	6.492	0.000	0.498	0.222	0.140
	Sel	3.174	0.443	0.161	7.161	0.000	0.271	0.244	0.155
	1000/R	0.888	0.164	0.127	5.421	0.000	0.354	0.187	0.117
	RayUzunlugu	-4.517	0.849	-0.240	-5.321	0.000	-0.458	-0.184	-0.115
	TopTrafikMil.	-0.048	0.010	-0.152	-4.775	0.000	-0.081	-0.165	-0.103
	Tas	1.665	0.667	0.062	2.497	0.013	0.358	0.087	0.054

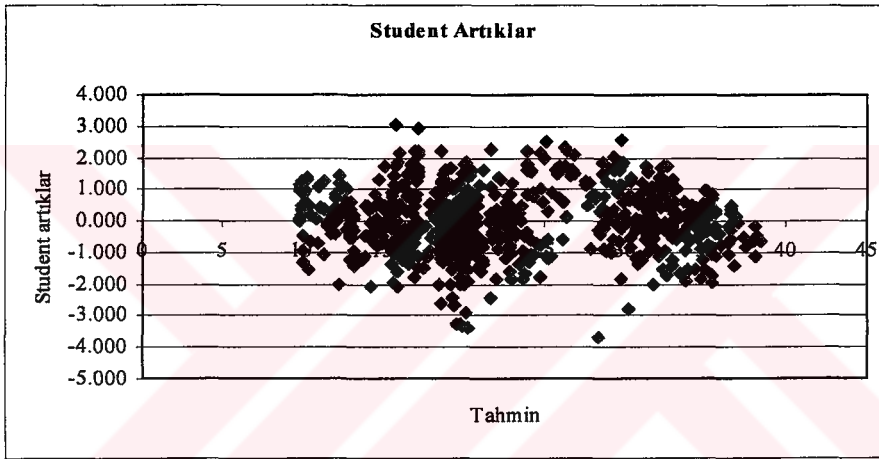
Eksen Bozulma Modeli**Tablo D.8 Aykırı gözlemlerin test edilmesi**

	Gözlem	Tahmin	Artıklar	Stan. Artıklar	Student Artıklar	DFFIT	pii	Cook Uzaklığı	Mahalanobis Uzaklığı	Kovaryans Oranı
1	0.708	12.332	-11.624	-2.010	-2.021	-0.127	0.010	0.003	7.883	0.962
2	2.383	14.294	-11.910	-2.059	-2.073	-0.157	0.012	0.004	9.684	0.961
22	6.975	18.559	-11.584	-2.003	-2.017	-0.159	0.012	0.004	10.082	0.965
27	33.306	15.801	17.505	3.027	3.043	0.188	0.009	0.008	7.690	0.884
62	28.599	16.048	12.552	2.170	2.180	0.116	0.008	0.003	6.528	0.950
69	7.688	21.669	-13.980	-2.417	-2.439	-0.249	0.016	0.008	13.338	0.940
77	33.955	17.192	16.763	2.898	2.929	0.357	0.020	0.014	16.066	0.903
129	3.941	15.980	-12.039	-2.082	-2.091	-0.112	0.008	0.003	6.564	0.956
239	8.453	20.079	-11.627	-2.010	-2.020	-0.113	0.008	0.003	6.899	0.961
330	34.663	21.718	12.944	2.238	2.252	0.157	0.011	0.005	8.833	0.948
331	31.331	18.607	12.724	2.200	2.209	0.102	0.007	0.003	5.507	0.947
366	5.295	19.353	-14.057	-2.431	-2.439	-0.103	0.006	0.003	4.938	0.930
387	14.073	30.193	-16.119	-2.787	-2.805	-0.206	0.011	0.008	9.338	0.906
388	20.194	31.767	-11.573	-2.001	-2.016	-0.177	0.014	0.005	11.338	0.966
605	39.274	26.420	12.854	2.222	2.236	0.161	0.011	0.005	9.126	0.949
606	44.401	29.766	14.635	2.531	2.551	0.243	0.015	0.008	12.370	0.930
608	38.743	26.875	11.868	2.052	2.064	0.136	0.010	0.004	8.253	0.960
610	39.294	25.032	14.263	2.466	2.488	0.255	0.016	0.009	13.390	0.936
611	36.516	23.886	12.631	2.184	2.199	0.175	0.012	0.005	10.206	0.953
619	39.552	26.256	13.296	2.299	2.317	0.205	0.014	0.006	11.407	0.946
624	36.967	24.676	12.291	2.125	2.139	0.165	0.012	0.005	9.824	0.956
651	7.103	28.398	-21.295	-3.682	-3.709	-0.309	0.013	0.015	10.734	0.825
682	7.574	19.228	-11.654	-2.015	-2.041	-0.306	0.024	0.008	19.932	0.975
703	29.697	17.170	12.528	2.166	2.190	0.280	0.021	0.008	16.936	0.962
704	29.661	16.996	12.665	2.190	2.214	0.277	0.020	0.008	16.524	0.959
705	29.329	17.216	12.113	2.094	2.114	0.225	0.017	0.006	13.910	0.963
728	3.565	18.672	-15.107	-2.612	-2.642	-0.347	0.021	0.012	17.412	0.929
729	4.018	19.418	-15.400	-2.663	-2.693	-0.349	0.021	0.013	17.129	0.924
768	8.160	19.786	-11.626	-2.010	-2.024	-0.165	0.013	0.004	10.457	0.965
814	0.913	19.611	-18.698	-3.233	-3.256	-0.272	0.013	0.012	10.732	0.868
815	0.913	19.786	-18.874	-3.263	-3.286	-0.268	0.013	0.012	10.457	0.865
816	0.913	19.874	-18.962	-3.279	-3.301	-0.266	0.013	0.012	10.334	0.864
817	0.913	20.269	-19.357	-3.347	-3.369	-0.261	0.012	0.012	9.901	0.857
818	3.579	20.160	-16.581	-2.867	-2.886	-0.226	0.012	0.009	10.002	0.900
819	0.913	20.313	-19.401	-3.354	-3.377	-0.261	0.012	0.012	9.865	0.856
820	0.913	20.269	-19.357	-3.347	-3.369	-0.261	0.012	0.012	9.901	0.857
Top.	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

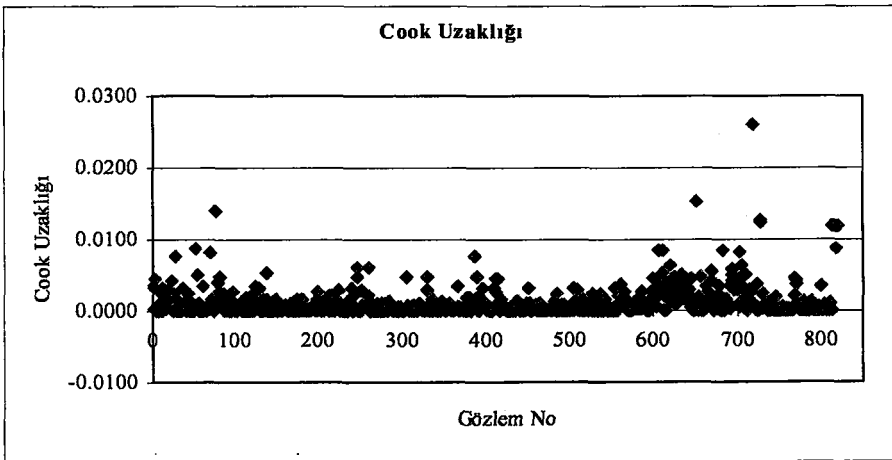
Eksen Bozulma Modeli



Şekil D.3 Tahmin ve gözlem değerleri



Şekil D.4 Student türü artıklar



Şekil D.5 Cook uzaklığı

Tablo D.9 Varyans şişme değerleri

Parametreler (Constant)	Coklu Baginti Istatistigi Tolerans	VIF
Egim	0.613	1.630
1000/R	0.172	5.810
Dever	0.191	5.231
HizYolu	0.375	2.665
RayUzunlugu	0.215	4.657
RayTipi	0.364	2.750
TraversTipi	0.142	7.025
TopTrafikMilyon	0.456	2.192
Heyalan	0.738	1.355
Sel	0.901	1.109
Kar	0.940	1.064
Tas	0.750	1.333

Tablo D.10 Varyans ayırışım oranları

Sayı	Özdeğerler	Kosul İndeksi	Varyans Ayırışım Oranları												
			Sabit	Egim	1000/R	Dever	Hız	RayUz.	RayTipi	Trav.Tipi	TopTraf.Mil.	Heyalan	Sel	Kar	Tas
1	6.032	1.000	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
2	1.764	1.849	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.07	0.00	0.04	0.05
3	1.284	2.167	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.12	0.00	0.14	0.05
4	0.925	2.554	0.00	0.02	0.04	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.19	0.00
5	0.829	2.698	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.12	0.01	0.59	0.00
6	0.673	2.995	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.08	0.38	0.02	0.17
7	0.563	3.273	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.00	0.07	0.06	0.01	0.59
8	0.479	3.550	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.41	0.42	0.00	0.00
9	0.212	5.339	0.00	0.76	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.11	0.02	0.05	0.03	0.00	0.10
10	0.124	6.981	0.00	0.02	0.05	0.08	0.06	0.25	0.09	0.16	0.00	0.04	0.01	0.01	0.03
11	0.056	10.370	0.00	0.00	0.05	0.05	0.08	0.13	0.20	0.13	0.59	0.02	0.03	0.00	0.00
12	0.054	10.613	0.00	0.02	0.85	0.81	0.06	0.03	0.07	0.05	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00
13	0.006	32.340	1.00	0.01	0.00	0.00	0.79	0.53	0.29	0.52	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00

Eksen Bozulma Modeli

Tablo D.11 Sonuç adımsal regresyon analizinde bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.669	0.448	0.447	6.626
2	0.724	0.524	0.522	6.157
3	0.775	0.601	0.600	5.638
4	0.791	0.625	0.623	5.469
5	0.805	0.649	0.646	5.298
6	0.816	0.666	0.663	5.170
7	0.824	0.680	0.677	5.066
8	0.830	0.689	0.686	4.993
9	0.833	0.694	0.690	4.958

Tablo D.12 Sonuç adımsal regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regresyon	27,823.083	1	27,823.083	633.746	0.000
	Artık	34,331.841	782	43.903		
	Toplam	62,154.924	783			
2	Regresyon	32,547.513	2	16,273.756	429.278	0.000
	Artık	29,607.411	781	37.910		
	Toplam	62,154.924	783			
3	Regresyon	37,360.086	3	12,453.362	391.760	0.000
	Artık	24,794.838	780	31.788		
	Toplam	62,154.924	783			
4	Regresyon	38,853.599	4	9,713.400	324.734	0.000
	Artık	23,301.325	779	29.912		
	Toplam	62,154.924	783			
5	Regresyon	40,313.841	5	8,062.768	287.203	0.000
	Artık	21,841.083	778	28.073		
	Toplam	62,154.924	783			
6	Regresyon	41,388.938	6	6,898.156	258.108	0.000
	Artık	20,765.986	777	26.726		
	Toplam	62,154.924	783			
7	Regresyon	42,242.384	7	6,034.626	235.172	0.000
	Artık	19,912.540	776	25.660		
	Toplam	62,154.924	783			
8	Regresyon	42,833.986	8	5,354.248	214.769	0.000
	Artık	19,320.938	775	24.930		
	Toplam	62,154.924	783			
9	Regresyon	43,131.037	9	4,792.337	194.980	0.000
	Artık	19,023.886	774	24.579		
	Toplam	62,154.924	783			

Tablo D.13 Sonuç adimsal regresyon modeli anlamlılık analizi

M.	Parametreler	Katsayılar		Standart. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)				Sıfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
1	Sabit	19.413	0.279		69.518	0.000			
	TraversTipi	13.241	0.526	0.669	25.174	0.000	0.669	0.669	0.669
2	Sabit	17.635	0.304		57.926	0.000			
	TraversTipi	15.018	0.514	0.759	29.217	0.000	0.669	0.723	0.722
	RayTipi	6.498	0.582	0.290	11.163	0.000	0.055	0.371	0.276
3	Sabit	28.541	0.929		30.718	0.000			
	TraversTipi	12.361	0.518	0.625	23.868	0.000	0.669	0.650	0.540
	RayTipi	8.478	0.557	0.378	15.226	0.000	0.055	0.479	0.344
	Hız	-0.126	0.010	-0.333	-12.304	0.000	-0.488	-0.403	-0.278
4	Sabit	27.852	0.907		30.724	0.000			
	TraversTipi	9.894	0.612	0.500	16.171	0.000	0.669	0.501	0.355
	RayTipi	8.506	0.540	0.380	15.749	0.000	0.055	0.491	0.345
	Hız	-0.130	0.010	-0.342	-13.039	0.000	-0.488	-0.423	-0.286
	Egim	0.236	0.033	0.196	7.066	0.000	0.522	0.245	0.155
5	Sabit	27.076	0.885		30.602	0.000			
	TraversTipi	9.242	0.600	0.467	15.414	0.000	0.669	0.484	0.328
	RayTipi	8.340	0.524	0.372	15.924	0.000	0.055	0.496	0.338
	Hız	-0.130	0.010	-0.344	-13.524	0.000	-0.488	-0.436	-0.287
	Egim	0.237	0.032	0.198	7.345	0.000	0.522	0.255	0.156
	Sel	2.905	0.403	0.156	7.212	0.000	0.284	0.250	0.153
6	Sabit	24.960	0.926		26.969	0.000			
	TraversTipi	8.928	0.587	0.451	15.208	0.000	0.669	0.479	0.315
	RayTipi	8.276	0.511	0.369	16.191	0.000	0.055	0.502	0.336
	Hız	-0.114	0.010	-0.302	-11.745	0.000	-0.488	-0.388	-0.244
	Egim	0.232	0.032	0.193	7.346	0.000	0.522	0.255	0.152
	Sel	2.812	0.393	0.151	7.152	0.000	0.284	0.249	0.148
	1000/R	0.940	0.148	0.142	6.342	0.000	0.370	0.222	0.132
7	Sabit	32.191	1.547		20.804	0.000			
	TraversTipi	4.191	1.003	0.212	4.179	0.000	0.669	0.148	0.085
	RayTipi	6.914	0.554	0.309	12.487	0.000	0.055	0.409	0.254
	Hız	-0.154	0.012	-0.405	-13.109	0.000	-0.488	-0.426	-0.266
	Egim	0.221	0.031	0.184	7.145	0.000	0.522	0.248	0.145
	Sel	3.216	0.392	0.173	8.212	0.000	0.284	0.283	0.167
	1000/R	0.954	0.145	0.144	6.565	0.000	0.370	0.229	0.133
	RayUzunlugu	-4.323	0.750	-0.241	-5.767	0.000	-0.516	-0.203	-0.117
8	Sabit	38.422	1.991		19.302	0.000			
	TraversTipi	3.024	1.017	0.153	2.974	0.003	0.669	0.106	0.060
	RayTipi	4.633	0.719	0.207	6.443	0.000	0.055	0.225	0.129
	Hız	-0.172	0.012	-0.454	-14.157	0.000	-0.488	-0.453	-0.284
	Egim	0.217	0.031	0.180	7.086	0.000	0.522	0.247	0.142
	Sel	3.139	0.386	0.169	8.127	0.000	0.284	0.280	0.163
	1000/R	0.934	0.143	0.141	6.522	0.000	0.370	0.228	0.131
	RayUzunlugu	-4.985	0.751	-0.278	-6.636	0.000	-0.516	-0.232	-0.133
9	TopTrafikMil.	-0.044	0.009	-0.143	-4.871	0.000	-0.111	-0.172	-0.098
	Sabit	37.922	1.982		19.136	0.000			
	TraversTipi	2.335	1.029	0.118	2.269	0.024	0.669	0.081	0.045
	RayTipi	4.751	0.715	0.212	6.646	0.000	0.055	0.232	0.132
	Hız	-0.170	0.012	-0.447	-13.999	0.000	-0.488	-0.449	-0.278
	Egim	0.226	0.030	0.188	7.417	0.000	0.522	0.258	0.147
	Sel	3.208	0.384	0.173	8.353	0.000	0.284	0.288	0.166
	1000/R	0.901	0.143	0.136	6.318	0.000	0.370	0.221	0.126
	RayUzunlugu	-4.914	0.746	-0.274	-6.585	0.000	-0.516	-0.230	-0.131
	TopTrafikMil.	-0.043	0.009	-0.141	-4.836	0.000	-0.111	-0.171	-0.096
	Tas	2.019	0.581	0.080	3.476	0.001	0.380	0.124	0.069

Dever Bozulma Modeli

Tablo E.1 Parametreler korelasyon matrisi

	Boz Oranı	Eğim	1000/R	Dever	Hız	RayUzun.	RayTipi	TraversTipi	TopTrafikMil.	Heyalan	Sel	Kar	Taş
Boz Oranı	1	0.430	0.599	0.024	-0.594	-0.464	0.044	0.616	-0.151	-0.045	0.282	-0.030	0.370
Eğim		0.000	0.000	0.659	0.000	0.000	0.409	0.000	0.005	0.404	0.000	0.577	0.000
1000/R		1	0.270	-0.360	-0.217	-0.536	-0.132	0.585	0.004	-0.005	0.088	-0.042	0.209
Dever			0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.946	0.932	0.101	0.430	0.000
Hız			1	0.362	-0.659	-0.153	-0.164	0.465	0.097	-0.103	0.110	-0.120	0.284
RayUzun.				0.000	0.000	0.004	0.002	0.000	0.071	0.055	0.040	0.025	0.000
RayTipi				1	-0.181	0.275	0.053	-0.212	0.031	-0.174	0.199	-0.136	-0.049
TraversTipi					0.001	0.000	0.319	0.000	0.561	0.001	0.000	0.011	0.360
TopTrafikMil.					1	0.021	0.294	-0.467	-0.311	0.179	-0.099	0.147	-0.298
Heyalan						0.694	0.000	0.000	0.086	0.001	0.063	0.006	0.000
Sel							0.456	-0.796	0.082	-0.137	-0.129	-0.084	-0.355
Kar								1	0.107	0.010	0.016	0.119	0.000
Taş									-0.649	0.243	0.075	0.181	-0.201
									0.000	0.000	0.160	0.001	0.000
									0.127	0.302	0.000	0.307	0.000
									1	-0.116	-0.128	-0.110	0.108
										0.030	0.016	0.039	0.043
									-0.116	1	-0.158	0.371	-0.061
									0.030		0.003	0.000	0.254
									-0.128	-0.158	1	-0.059	0.035
									0.016	0.003		0.274	0.518
									-0.110	0.371	-0.059	1	-0.037
									0.039	0.000	0.274		0.496
									0.108	-0.061	0.035	-0.037	1
									0.043	0.254	0.518	0.496	

Dever Bozulma Modeli

Tablo E.2 Regresyon modeli sonucu bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.846	0.716	0.706	3.037

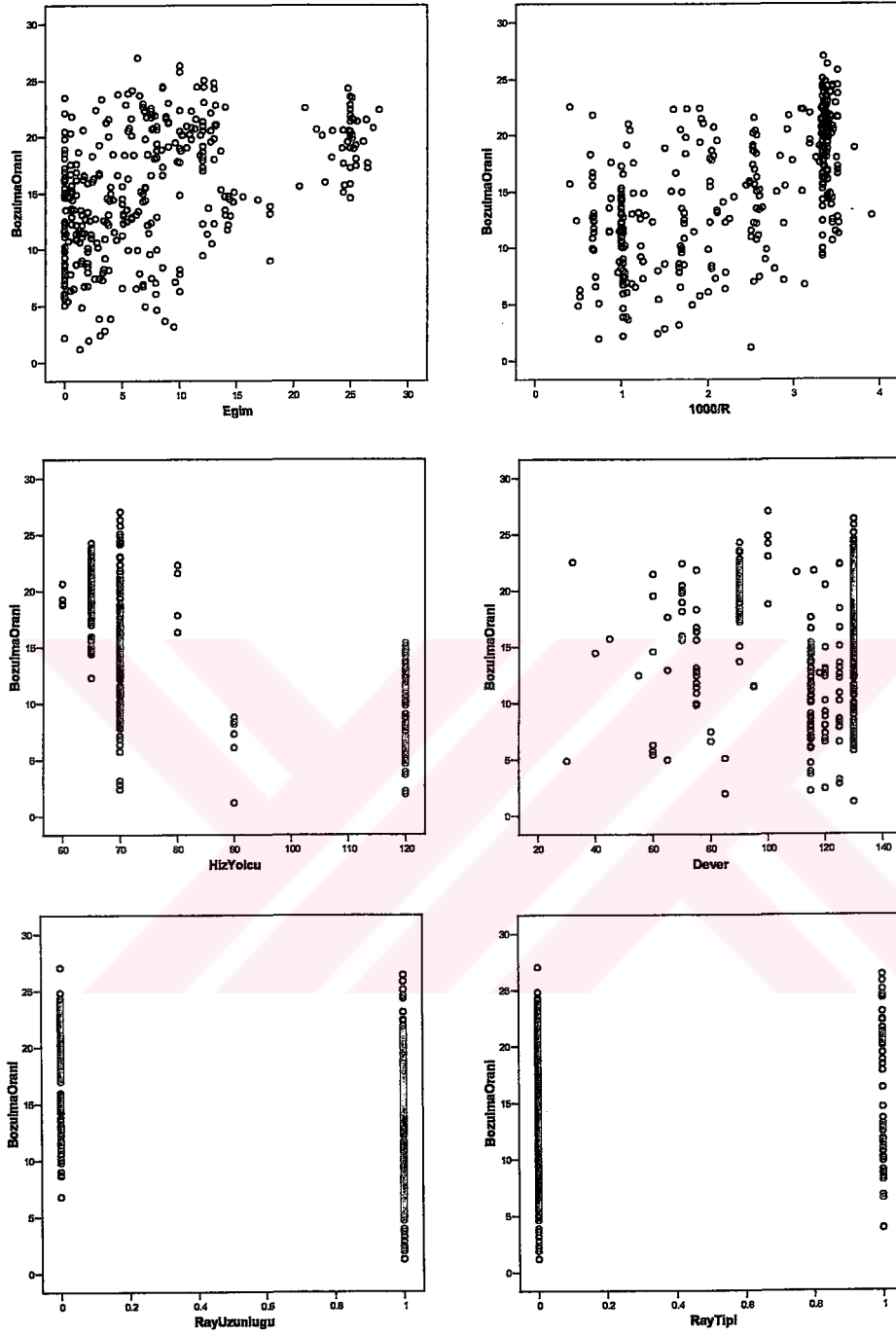
Tablo E.3 Regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regresyon	7,849.026	12	654.086	70.913	0.000
	Artıklar	3,108.415	337	9.224		
	Toplam	10,957.441	349			

Tablo E.4 Parametrelerin anlamlılık analizi

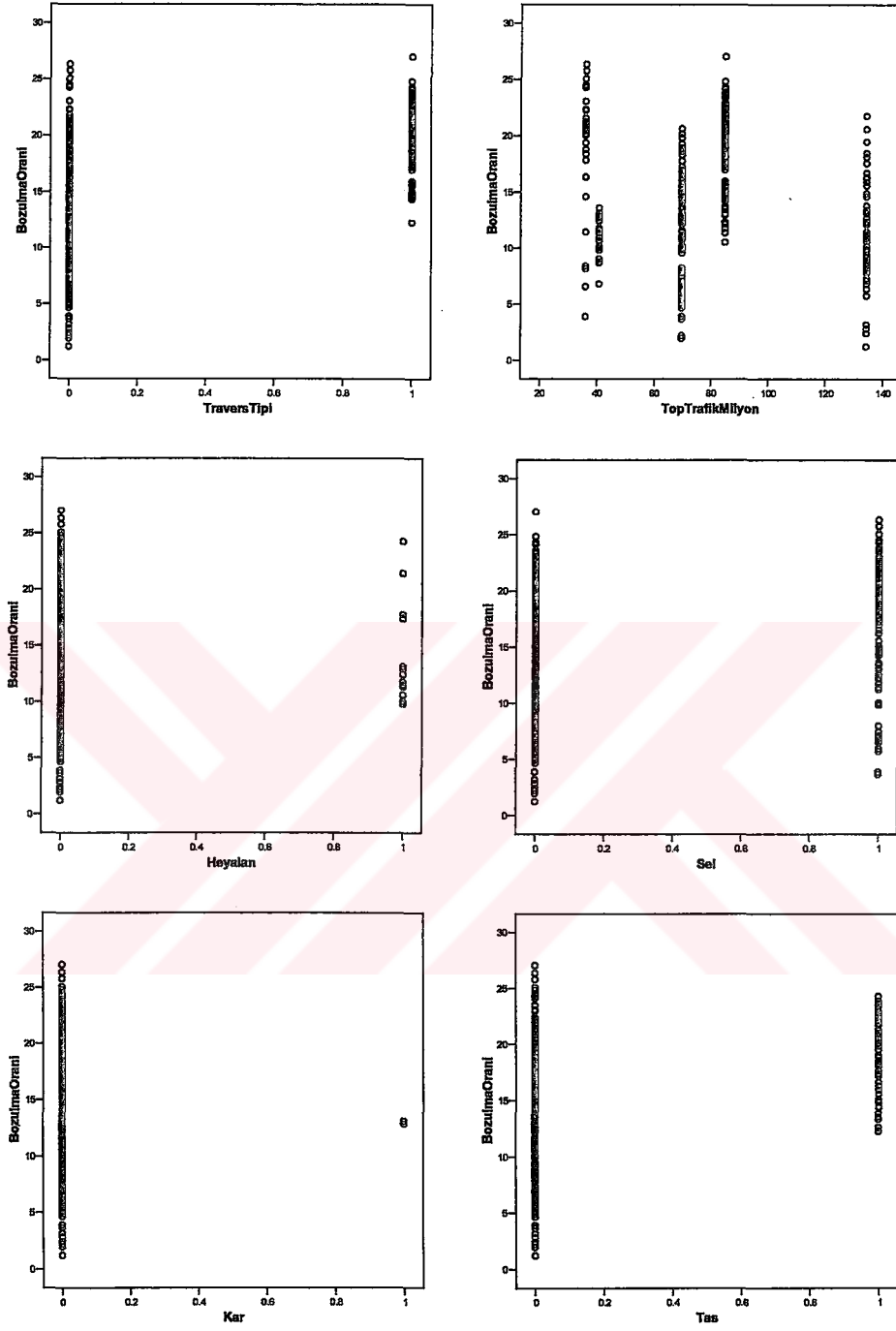
Model	Parametreler	Katsayılar		Standardlaştırılmış Katsayılar		t	p	Korelasyonlar		
		b1	S(b1)	BETA				Sıfır derece	Kismi	Y.Kismi
1	Sabit	34.144	2.464			13.858	0.000			
	Egim	0.043	0.029	0.059		1.504	0.134	0.430	0.082	0.044
	1000/R	1.517	0.253	0.283		6.003	0.000	0.599	0.311	0.174
	Dever	-0.029	0.010	-0.113		-2.795	0.005	0.024	-0.150	-0.081
	Yolcu	-0.156	0.014	-0.589		-11.541	0.000	-0.594	-0.532	-0.335
	RayUzunlugu	-5.774	0.804	-0.514		-7.182	0.000	-0.464	-0.364	-0.208
	RayTipi	1.071	0.691	0.068		1.549	0.122	0.044	0.084	0.045
	TraversTipi	-3.464	1.050	-0.294		-3.300	0.001	0.616	-0.177	-0.096
	TopTrafikMilyon	-0.047	0.008	-0.238		-5.807	0.000	-0.151	-0.302	-0.168
	Heyalan	-0.905	0.951	-0.032		-0.951	0.342	-0.045	-0.052	-0.028
	Sel	1.832	0.371	0.158		4.943	0.000	0.282	0.260	0.143
	Kar	0.334	2.355	0.005		0.142	0.887	-0.030	0.008	0.004
	Tas	1.257	0.481	0.088		2.614	0.009	0.370	0.141	0.076

Dever Bozulma Modeli



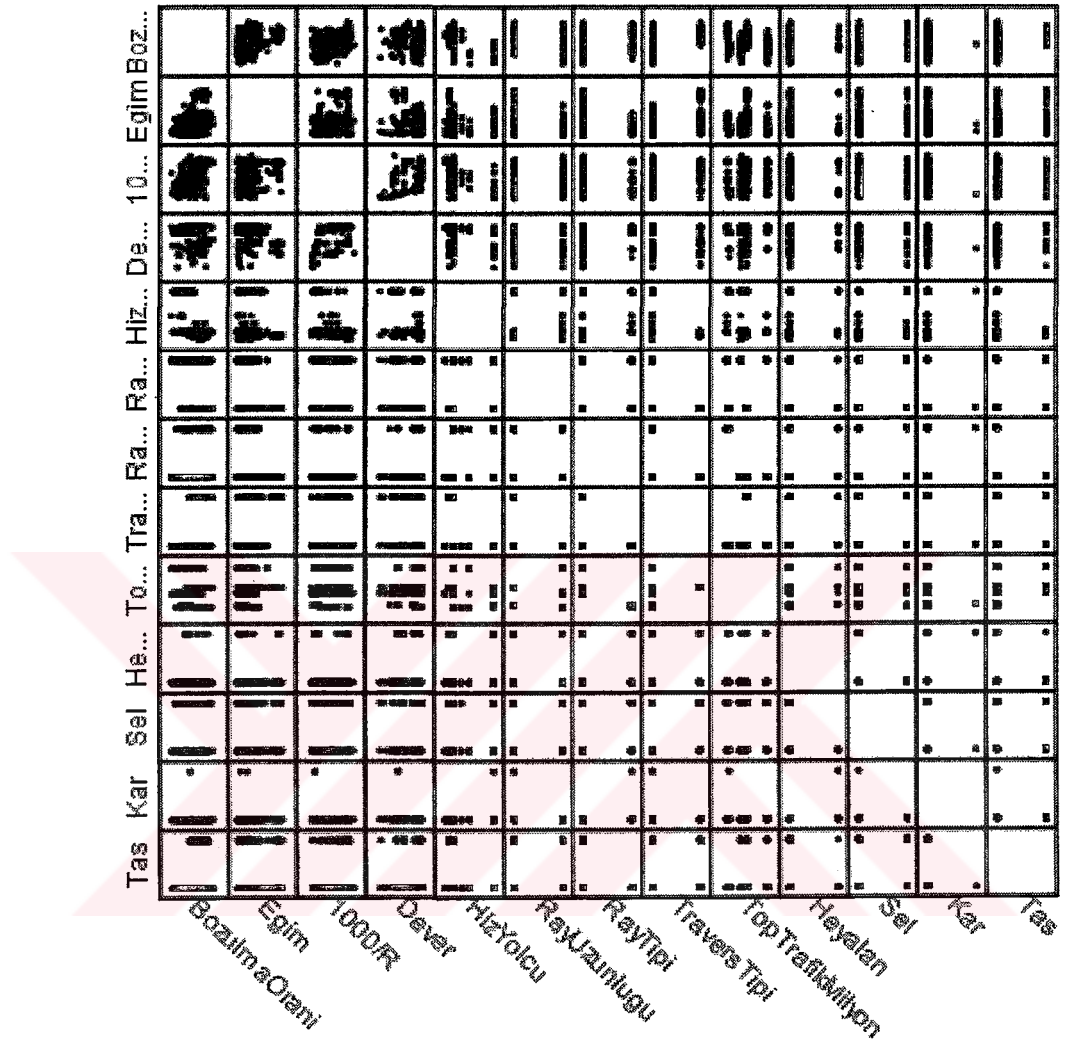
Şekil E.1 Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri

Değer Bozulma Modeli



Şekil E.1 Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri

Dever Bozulma Modeli



Şekil E.2 Verilerilerin matris saçılım grafiği

Tablo E.5 Adımsal regresyon analizi sonucu bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.616	0.379	0.377	4.421
2	0.710	0.504	0.501	3.959
3	0.753	0.567	0.563	3.704
4	0.788	0.622	0.617	3.466
5	0.807	0.651	0.646	3.336
6	0.807	0.650	0.646	3.332
7	0.826	0.682	0.678	3.181
8	0.834	0.696	0.690	3.118
9	0.838	0.702	0.696	3.091
10	0.842	0.708	0.701	3.062
11	0.841	0.707	0.701	3.066
12	0.844	0.712	0.705	3.043

Tablo E.6 Adımsal regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regresyon	4,155.431	1	4,155.431	212.597	0.000
	Artık	6,802.010	348	19.546		
	Toplam	10,957.441	349			
2	Regresyon	5,518.546	2	2,759.273	176.041	0.000
	Artık	5,438.896	347	15.674		
	Toplam	10,957.441	349			
3	Regresyon	6,210.814	3	2,070.271	150.910	0.000
	Artık	4,746.627	346	13.719		
	Toplam	10,957.441	349			
4	Regresyon	6,812.272	4	1,703.068	141.745	0.000
	Artık	4,145.170	345	12.015		
	Toplam	10,957.441	349			
5	Regresyon	7,130.236	5	1,426.047	128.177	0.000
	Artık	3,827.205	344	11.126		
	Toplam	10,957.441	349			
6	Regresyon	7,127.655	4	1,781.914	160.521	0.000
	Artık	3,829.787	345	11.101		
	Toplam	10,957.441	349			
7	Regresyon	7,476.763	5	1,495.353	147.788	0.000
	Artık	3,480.678	344	10.118		
	Toplam	10,957.441	349			
8	Regresyon	7,623.878	6	1,270.646	130.741	0.000
	Artık	3,333.563	343	9.719		
	Toplam	10,957.441	349			
9	Regresyon	7,689.434	7	1,098.491	114.958	0.000
	Artık	3,268.008	342	9.556		
	Toplam	10,957.441	349			
10	Regresyon	7,759.269	8	969.909	103.415	0.000
	Artık	3,198.172	341	9.379		
	Toplam	10,957.441	349			
11	Regresyon	7,743.190	7	1,106.170	117.698	0.000
	Artık	3,214.252	342	9.398		
	Toplam	10,957.441	349			
12	Regresyon	7,800.013	8	975.002	105.299	0.000
	Artık	3,157.428	341	9.259		
	Toplam	10,957.441	349			

Dever Bozulma Modeli

Tablo E.7 Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi

M.	Parametreler	Katsayılar		Standart. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)				Sfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
1	Sabit	12.735	0.292		43.685	0.000			
	TraversTipi	7.259	0.498	0.616	14.581	0.000	0.616	0.616	0.616
2	Sabit	8.513	0.523		16.292	0.000			
	TraversTipi	5.074	0.504	0.430	10.075	0.000	0.616	0.476	0.381
	1000/R	2.138	0.229	0.398	9.326	0.000	0.599	0.448	0.353
3	Sabit	7.491	0.510		14.698	0.000			
	TraversTipi	5.969	0.488	0.506	12.238	0.000	0.616	0.550	0.433
	1000/R	2.181	0.215	0.406	10.164	0.000	0.599	0.479	0.360
	RayTipi	4.149	0.584	0.264	7.104	0.000	0.044	0.357	0.251
4	Sabit	16.735	1.391		12.032	0.000			
	TraversTipi	5.350	0.465	0.454	11.513	0.000	0.616	0.527	0.381
	1000/R	1.197	0.244	0.223	4.900	0.000	0.599	0.255	0.162
	RayTipi	4.945	0.558	0.314	8.861	0.000	0.044	0.431	0.293
	Hız	-0.087	0.012	-0.328	-7.075	0.000	-0.594	-0.356	-0.234
5	Sabit	23.899	1.894		12.618	0.000			
	TraversTipi	0.488	1.013	0.041	0.482	0.630	0.616	0.026	0.015
	1000/R	1.311	0.236	0.244	5.554	0.000	0.599	0.287	0.177
	RayTipi	3.996	0.566	0.254	7.064	0.000	0.044	0.356	0.225
	Hız	-0.127	0.014	-0.480	-9.075	0.000	-0.594	-0.439	-0.289
	RayUzunlugu	-4.423	0.827	-0.393	-5.346	0.000	-0.464	-0.277	-0.170
6	Sabit	24.523	1.381		17.761	0.000			
	1000/R	1.332	0.231	0.248	5.757	0.000	0.599	0.296	0.183
	RayTipi	3.895	0.525	0.248	7.420	0.000	0.044	0.371	0.236
	Hız	-0.131	0.012	-0.494	-11.230	0.000	-0.594	-0.517	-0.357
	RayUzunlugu	-4.780	0.365	-0.425	-13.110	0.000	-0.464	-0.577	-0.417
7	Sabit	30.215	1.636		18.468	0.000			
	1000/R	1.155	0.223	0.215	5.179	0.000	0.599	0.269	0.157
	RayTipi	1.567	0.639	0.100	2.453	0.015	0.044	0.131	0.075
	Hız	-0.145	0.011	-0.549	-12.750	0.000	-0.594	-0.566	-0.387
	RayUzunlugu	-4.522	0.351	-0.402	-12.888	0.000	-0.464	-0.571	-0.392
	TopTrafikMil.	-0.048	0.008	-0.243	-5.874	0.000	-0.151	-0.302	-0.178
8	Sabit	29.045	1.631		17.803	0.000			
	1000/R	1.141	0.219	0.213	5.219	0.000	0.599	0.271	0.155
	RayTipi	1.510	0.626	0.096	2.410	0.016	0.044	0.129	0.072
	Hız	-0.141	0.011	-0.532	-12.564	0.000	-0.594	-0.561	-0.374
	RayUzunlugu	-4.373	0.346	-0.389	-12.638	0.000	-0.464	-0.564	-0.376
	TopTrafikMil.	-0.045	0.008	-0.226	-5.541	0.000	-0.151	-0.287	-0.165
	Sel	1.375	0.353	0.119	3.891	0.000	0.282	0.206	0.116

Dever Bozulma Modeli

Tablo E.7 Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi

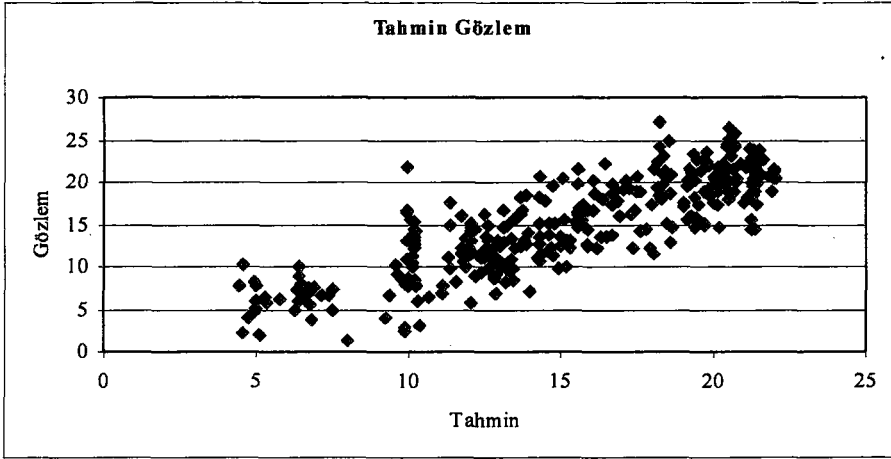
M.	Parametreler	Katsayılar		Standart. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA			Sıfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
9	Sabit	30.324	1.690		17.945	0.000			
	1000/R	1.399	0.238	0.261	5.876	0.000	0.599	0.303	0.174
	RayTipi	1.705	0.626	0.108	2.725	0.007	0.044	0.146	0.080
	Hız	-0.137	0.011	-0.517	-12.168	0.000	-0.594	-0.550	-0.359
	RayUzunlugu	-3.994	0.372	-0.355	-10.727	0.000	-0.464	-0.502	-0.317
	TopTrafikMil.	-0.043	0.008	-0.215	-5.293	0.000	-0.151	-0.275	-0.156
	Sel	1.602	0.361	0.139	4.437	0.000	0.282	0.233	0.131
	Dever	-0.024	0.009	-0.093	-2.619	0.009	0.024	-0.140	-0.077
10	Sabit	34.934	2.378		14.688	0.000			
	TraversTipi	-2.814	1.031	-0.239	-2.729	0.007	0.616	-0.146	-0.080
	1000/R	1.593	0.246	0.297	6.466	0.000	0.599	0.330	0.189
	RayTipi	0.899	0.686	0.057	1.309	0.191	0.044	0.071	0.038
	Hız	-0.158	0.014	-0.597	-11.625	0.000	-0.594	-0.533	-0.340
	RayUzunlugu	-5.870	0.780	-0.522	-7.524	0.000	-0.464	-0.377	-0.220
	TopTrafikMil.	-0.048	0.008	-0.239	-5.802	0.000	-0.151	-0.300	-0.170
	Sel	1.853	0.369	0.160	5.017	0.000	0.282	0.262	0.147
11	Sabit	36.326	2.130		17.057	0.000			
	TraversTipi	-3.395	0.932	-0.288	-3.643	0.000	0.616	-0.193	-0.107
	1000/R	1.607	0.246	0.300	6.525	0.000	0.599	0.333	0.191
	Hız	-0.162	0.013	-0.611	-12.172	0.000	-0.594	-0.550	-0.356
	RayUzunlugu	-6.231	0.730	-0.554	-8.534	0.000	-0.464	-0.419	-0.250
	TopTrafikMil.	-0.054	0.006	-0.273	-8.605	0.000	-0.151	-0.422	-0.252
	Sel	1.902	0.368	0.165	5.172	0.000	0.282	0.269	0.151
	Dever	-0.033	0.009	-0.128	-3.442	0.001	0.024	-0.183	-0.101
12	Sabit	36.314	2.114		17.179	0.000			
	TraversTipi	-3.846	0.943	-0.326	-4.079	0.000	0.616	-0.216	-0.119
	1000/R	1.600	0.245	0.298	6.544	0.000	0.599	0.334	0.190
	Hız	-0.161	0.013	-0.607	-12.157	0.000	-0.594	-0.550	-0.353
	RayUzunlugu	-6.221	0.725	-0.553	-8.584	0.000	-0.464	-0.422	-0.250
	TopTrafikMil.	-0.055	0.006	-0.277	-8.770	0.000	-0.151	-0.429	-0.255
	Sel	1.970	0.366	0.170	5.382	0.000	0.282	0.280	0.156
	Dever	-0.034	0.009	-0.132	-3.572	0.000	0.024	-0.190	-0.104
	Tas	1.188	0.479	0.083	2.477	0.014	0.370	0.133	0.072

Dever Bozulma Modeli

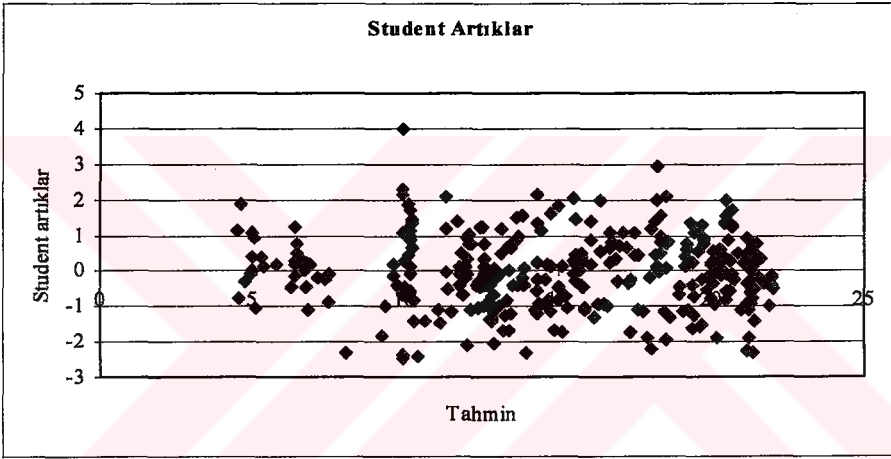
Tablo E.8 Aykırı gözlemlerin test edilmesi

	Gözlem	Tahmin	Artıklar	Stan. Artıklar	Student Artıklar	DFFIT	pii	Cook Uzaklığı	Mahalanobis Uzaklığı	Kovaryans Oranı
1	1.228	8.070	-6.843	-2.253	-2.285	-0.198	0.025	0.012	8.821	0.873
8	3.191	10.426	-7.235	-2.382	-2.414	-0.193	0.023	0.012	8.077	0.851
10	21.814	9.965	11.849	3.901	3.984	0.506	0.038	0.052	13.297	0.579
12	16.349	9.939	6.410	2.111	2.156	0.279	0.039	0.016	13.550	0.905
15	16.721	9.961	6.761	2.226	2.273	0.290	0.038	0.017	13.338	0.887
16	2.430	9.920	-7.490	-2.466	-2.495	-0.174	0.020	0.011	6.931	0.835
19	7.129	13.962	-6.833	-2.250	-2.285	-0.214	0.028	0.013	9.603	0.875
37	20.629	14.300	6.328	2.084	2.122	0.234	0.033	0.013	11.441	0.905
47	2.842	9.916	-7.074	-2.329	-2.357	-0.168	0.020	0.010	7.107	0.857
55	5.764	12.065	-6.300	-2.074	-2.103	-0.176	0.024	0.010	8.514	0.900
57	17.582	11.359	6.223	2.049	2.083	0.210	0.030	0.011	10.382	0.908
179	14.414	21.329	-6.915	-2.277	-2.304	-0.165	0.020	0.010	7.130	0.866
180	14.414	21.195	-6.781	-2.233	-2.263	-0.186	0.024	0.011	8.329	0.875
280	27.060	18.209	8.851	2.914	2.956	0.257	0.025	0.020	8.851	0.760
281	24.852	18.532	6.320	2.081	2.103	0.133	0.018	0.007	6.194	0.894
301	11.462	17.998	-6.535	-2.152	-2.191	-0.237	0.032	0.013	11.234	0.894
308	21.584	15.509	6.074	2.000	2.033	0.200	0.029	0.010	10.122	0.915
347	6.793	12.879	-6.086	-2.004	-2.049	-0.276	0.041	0.015	14.151	0.923
Top.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

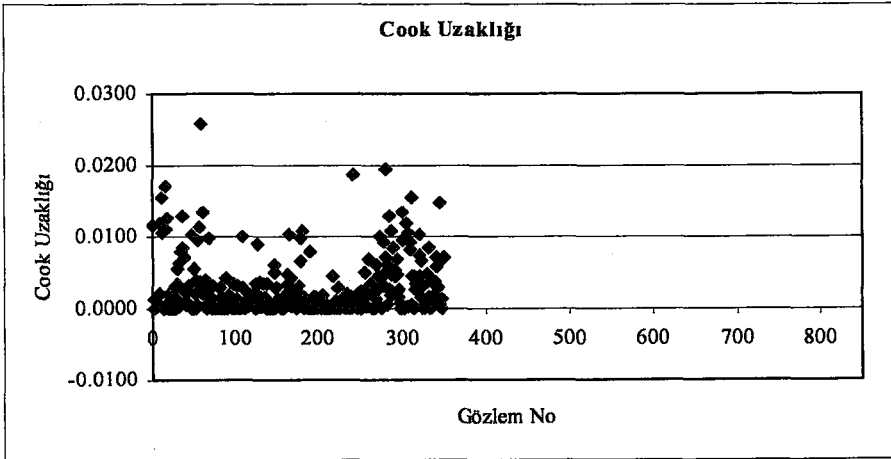
Dever Bozulma Modeli



Şekil E.3 Tahmin ve gözlem değerleri



Şekil E.4 Student türü artıklar



Şekil E.5 Cook uzaklığı

Tablo E.9 Varyans şişme değerleri

Parametreler (Constant)	Çoklu Bağntı İstatistiği	
	Tolerans	VIF
Eğim	0.542	1.846
1000/R	0.380	2.634
Dever	0.513	1.949
HızYolcu	0.323	3.092
RayUzunluğu	0.165	6.075
RayTipi	0.436	2.295
TraversTipi	0.106	9.420
Top TrafikMilyon	0.502	1.992
Heyalan	0.758	1.319
Sel	0.819	1.221
Kar	0.836	1.196
Tas	0.744	1.343

Tablo E.10 Varyans ayrışım oranları

Sayı	Özdeğerler	Koşul İndeksi	Varyans Ayrışım Oranları												
			Sabit	Eğim	1000/R	Dever	Hız	RayUz.	RayTipi	Trav.Tipi	TopTraf.Mil.	Heyalan	Sel	Kar	Tas
1	6.969	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.690	2.030	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.07	0.00	0.07	0.05
3	1.360	2.264	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.14	0.00	0.17	0.03
4	0.788	2.974	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.22	0.00	0.01	0.02	0.16	0.06	0.01
5	0.650	3.274	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.35	0.12	0.64	0.00
6	0.573	3.487	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.03	0.04	0.00	0.68
7	0.454	3.917	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.31	0.51	0.04	0.05
8	0.214	5.701	0.00	0.60	0.03	0.00	0.00	0.02	0.01	0.07	0.00	0.01	0.07	0.00	0.17
9	0.168	6.436	0.00	0.03	0.13	0.00	0.05	0.07	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00
10	0.059	10.881	0.00	0.01	0.27	0.02	0.03	0.22	0.23	0.26	0.14	0.00	0.00	0.00	0.01
11	0.053	11.447	0.00	0.01	0.02	0.00	0.05	0.21	0.14	0.17	0.55	0.01	0.02	0.00	0.00
12	0.017	20.159	0.00	0.11	0.54	0.72	0.18	0.00	0.02	0.00	0.07	0.02	0.06	0.00	0.00
13	0.003	45.225	1.00	0.07	0.00	0.25	0.69	0.46	0.15	0.48	0.22	0.01	0.02	0.01	0.00

Dever Bozulma Modeli

Tablo E.11 Sonuç adimsal regresyon modelinde bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.631	0.398	0.396	4.206
2	0.777	0.603	0.601	3.421
3	0.835	0.697	0.695	2.992
4	0.854	0.728	0.725	2.838
5	0.865	0.748	0.744	2.738
6	0.870	0.757	0.752	2.694
7	0.875	0.766	0.761	2.646
8	0.881	0.775	0.770	2.598

Tablo E.12 Sonuç adimsal regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regresyon	3,861.012	1	3,861.012	218.248	0.000
	Artık	5,837.997	330	17.691		
	Toplam	9,699.009	331			
2	Regresyon	5,849.570	2	2,924.785	249.973	0.000
	Artık	3,849.439	329	11.700		
	Toplam	9,699.009	331			
3	Regresyon	6,763.410	3	2,254.470	251.896	0.000
	Artık	2,935.600	328	8.950		
	Toplam	9,699.009	331			
4	Regresyon	7,065.530	4	1,766.383	219.332	0.000
	Artık	2,633.479	327	8.053		
	Toplam	9,699.009	331			
5	Regresyon	7,255.721	5	1,451.144	193.621	0.000
	Artık	2,443.288	326	7.495		
	Toplam	9,699.009	331			
6	Regresyon	7,339.636	6	1,223.273	168.504	0.000
	Artık	2,359.373	325	7.260		
	Toplam	9,699.009	331			
7	Regresyon	7,429.763	7	1,061.395	151.545	0.000
	Artık	2,269.246	324	7.004		
	Toplam	9,699.009	331			
8	Regresyon	7,519.720	8	939.965	139.315	0.000
	Artık	2,179.290	323	6.747		
	Toplam	9,699.009	331			

Dever Bozulma Modeli

Tablo E.13 Sonuç adımsal regresyon modeli anlamlılık analizi

M.	Parametreler	Katsayılar		Standart. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)				Sfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
1	Sabit	27.944	0.884		31.610	0.000			
	Hız	-0.159	0.011	-0.631	-14.773	0.000	-0.631	-0.631	-0.631
2	Sabit	30.300	0.741		40.874	0.000			
	Hız	-0.155	0.009	-0.616	-17.734	0.000	-0.631	-0.699	-0.616
	RayUzunlugu	-4.912	0.377	-0.453	-13.037	0.000	-0.473	-0.584	-0.453
3	Sabit	37.409	0.957		39.101	0.000			
	Hız	-0.181	0.008	-0.716	-22.409	0.000	-0.631	-0.778	-0.681
	RayUzunlugu	-4.734	0.330	-0.437	-14.343	0.000	-0.473	-0.621	-0.436
	TopTrafikMil.	-0.065	0.006	-0.323	-10.105	0.000	-0.120	-0.487	-0.307
4	Sabit	30.595	1.436		21.309	0.000			
	Hız	-0.138	0.010	-0.545	-13.233	0.000	-0.631	-0.591	-0.381
	RayUzunlugu	-4.451	0.316	-0.410	-14.066	0.000	-0.473	-0.614	-0.405
	TopTrafikMil.	-0.061	0.006	-0.306	-10.035	0.000	-0.120	-0.485	-0.289
	1000/R	1.268	0.207	0.245	6.125	0.000	0.627	0.321	0.176
5	Sabit	29.113	1.416		20.560	0.000			
	Hız	-0.133	0.010	-0.526	-13.171	0.000	-0.631	-0.589	-0.366
	RayUzunlugu	-4.260	0.308	-0.393	-13.850	0.000	-0.473	-0.609	-0.385
	TopTrafikMil.	-0.056	0.006	-0.280	-9.381	0.000	-0.120	-0.461	-0.261
	1000/R	1.258	0.200	0.243	6.297	0.000	0.627	0.329	0.175
	Sel	1.610	0.320	0.144	5.038	0.000	0.309	0.269	0.140
6	Sabit	32.420	1.700		19.076	0.000			
	Hız	-0.155	0.012	-0.615	-13.028	0.000	-0.631	-0.586	-0.356
	RayUzunlugu	-6.189	0.643	-0.571	-9.625	0.000	-0.473	-0.471	-0.263
	TopTrafikMil.	-0.055	0.006	-0.271	-9.211	0.000	-0.120	-0.455	-0.252
	1000/R	1.357	0.199	0.262	6.829	0.000	0.627	0.354	0.187
	Sel	1.776	0.318	0.159	5.579	0.000	0.309	0.296	0.153
	TraversTipi	-2.645	0.778	-0.233	-3.400	0.001	0.630	-0.185	-0.093
7	Sabit	32.268	1.670		19.323	0.000			
	Hız	-0.153	0.012	-0.608	-13.093	0.000	-0.631	-0.588	-0.352
	RayUzunlugu	-6.173	0.632	-0.569	-9.774	0.000	-0.473	-0.477	-0.263
	TopTrafikMil.	-0.056	0.006	-0.277	-9.568	0.000	-0.120	-0.469	-0.257
	1000/R	1.337	0.195	0.258	6.847	0.000	0.627	0.356	0.184
	Sel	1.866	0.314	0.167	5.950	0.000	0.309	0.314	0.160
	TraversTipi	-3.178	0.778	-0.280	-4.083	0.000	0.630	-0.221	-0.110
	Tas	1.517	0.423	0.111	3.587	0.000	0.393	0.195	0.096
8	Sabit	31.665	1.647		19.222	0.000			
	Hız	-0.153	0.011	-0.607	-13.335	0.000	-0.631	-0.596	-0.352
	RayUzunlugu	-5.879	0.625	-0.542	-9.406	0.000	-0.473	-0.464	-0.248
	TopTrafikMil.	-0.056	0.006	-0.277	-9.734	0.000	-0.120	-0.476	-0.257
	1000/R	1.298	0.192	0.250	6.763	0.000	0.627	0.352	0.178
	Sel	1.910	0.308	0.171	6.200	0.000	0.309	0.326	0.164
	TraversTipi	-3.772	0.781	-0.333	-4.828	0.000	0.630	-0.259	-0.127
	Tas	1.670	0.417	0.122	4.001	0.000	0.393	0.217	0.106
	Egim	0.084	0.023	0.121	3.651	0.000	0.449	0.199	0.096

Nivelman Bozulma Modeli

Tablo F.1 Parametreler korelasyon matrisi

	Boz.Oranl	Egim	1000/R	Dever	Hiz	RayUzun.	RayTipi	TraversTipi	TopTrafikMil.	Heyalan	Sel	Kar	Tas
Boz.Oranl	1	0.452	0.317	0.151	-0.503	-0.399	0.003	0.586	-0.147	-0.074	0.261	-0.001	0.348
Egim		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.937	0.000	0.000	0.034	0.000	0.970	0.000
1000/R		0.452	1	0.184	-0.257	-0.462	-0.193	0.604	0.063	-0.107	0.115	-0.039	0.234
		0.000	0.000	0.257	0.000	0.000	0.000	0.000	0.073	0.002	0.001	0.262	0.000
		0.317	0.184	1	0.879	-0.067	-0.154	0.275	0.109	-0.093	0.086	-0.049	0.203
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.057	0.000	0.000	0.002	0.007	0.014	0.158	0.000
Dever		0.151	0.040	0.879	1	0.027	-0.111	0.087	0.091	-0.096	0.088	-0.035	0.101
		0.000	0.257	0.000	0.000	0.432	0.001	0.012	0.009	0.006	0.011	0.316	0.004
Hiz		-0.503	-0.257	-0.354	1	-0.071	0.404	-0.484	-0.400	0.278	-0.075	0.129	-0.311
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000
RayUzun.		-0.399	-0.462	-0.067	-0.071	1	-0.118	-0.696	0.158	-0.225	-0.051	-0.097	-0.297
		0.000	0.000	0.057	0.432	0.432	0.001	0.000	0.000	0.000	0.141	0.006	0.000
RayTipi		0.003	-0.193	-0.154	0.404	-0.118	1	-0.315	-0.692	0.374	-0.019	0.133	-0.208
		0.937	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.597	0.000	0.000
TraversTipi		0.586	0.604	0.275	-0.484	-0.696	-0.315	1	0.131	-0.112	0.185	-0.053	0.480
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.129	0.000
TopTrafikMil.		-0.147	0.063	0.109	-0.400	0.158	-0.692	0.131	1	-0.211	-0.061	-0.089	0.114
		0.000	0.073	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.079	0.011	0.001
Heyalan		-0.074	-0.107	-0.093	0.278	-0.225	0.374	-0.112	-0.211	1	-0.152	0.217	-0.075
		0.034	0.002	0.007	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032
Sel		0.261	0.115	0.086	-0.075	-0.051	-0.019	0.185	-0.061	-0.152	1	-0.062	0.043
		0.000	0.001	0.014	0.032	0.141	0.597	0.000	0.079	0.000	0.000	0.076	0.215
Kar		-0.001	-0.039	-0.049	0.129	-0.097	0.133	-0.053	-0.089	0.217	-0.062	1	-0.035
		0.970	0.262	0.158	0.316	0.006	0.000	0.129	0.011	0.000	0.076	0.076	0.316
Tas		0.348	0.234	0.203	-0.311	-0.297	-0.208	0.480	0.114	-0.075	0.043	-0.035	1
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.032	0.215	0.316	0.316

Nivelman Bozulma Modeli

Tablo F.2 Regresyon modeli sonucu bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.780	0.608	0.602	5.43167752

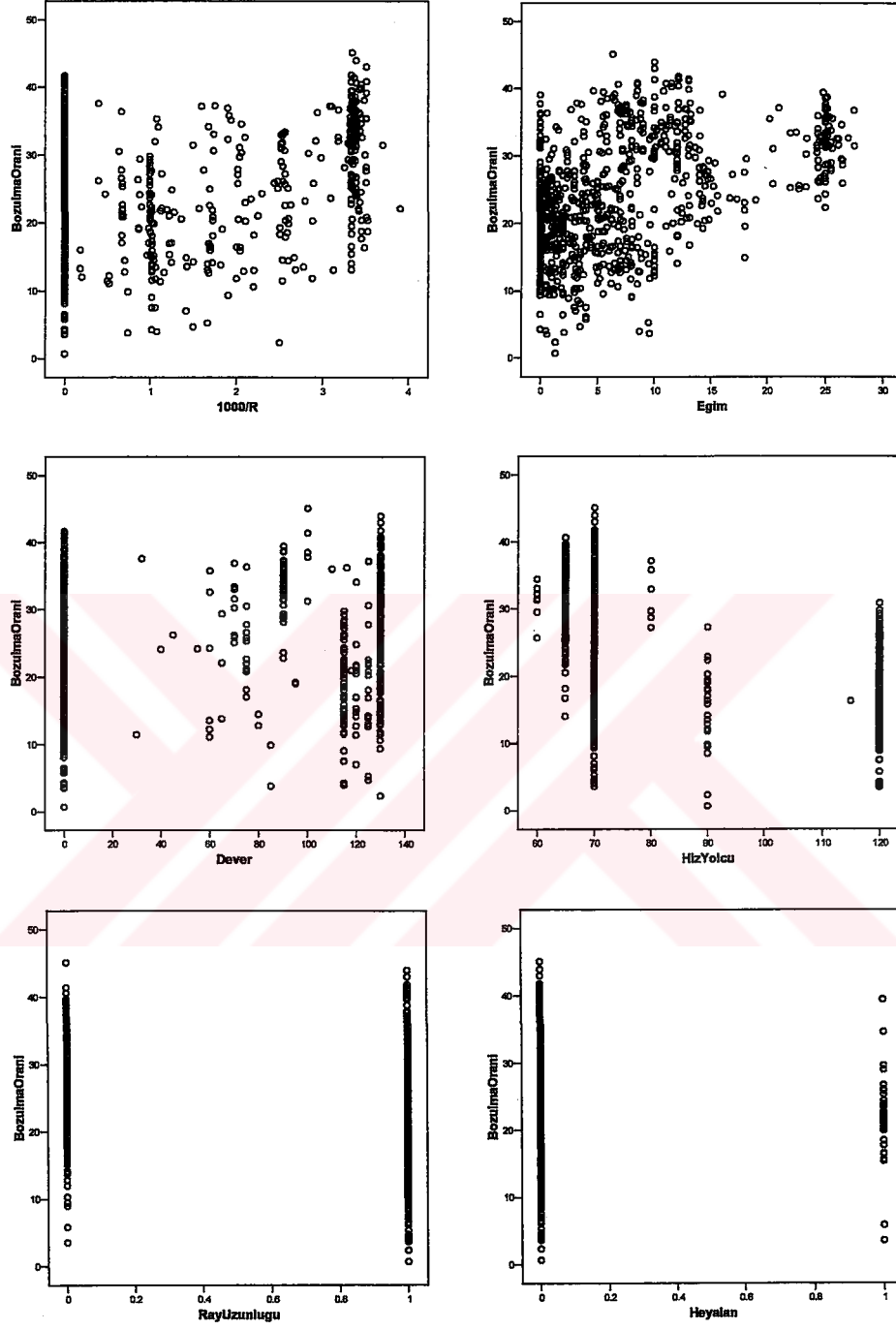
Tablo F.3 Regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	Regresyon	36,977.452	12	3,081.454	104.445	0.000
	Artiklar	23,809.018	807	29.503		
	Toplam	60,786.470	819			

Tablo F.4 Parametrelerin anlamlılık analizi

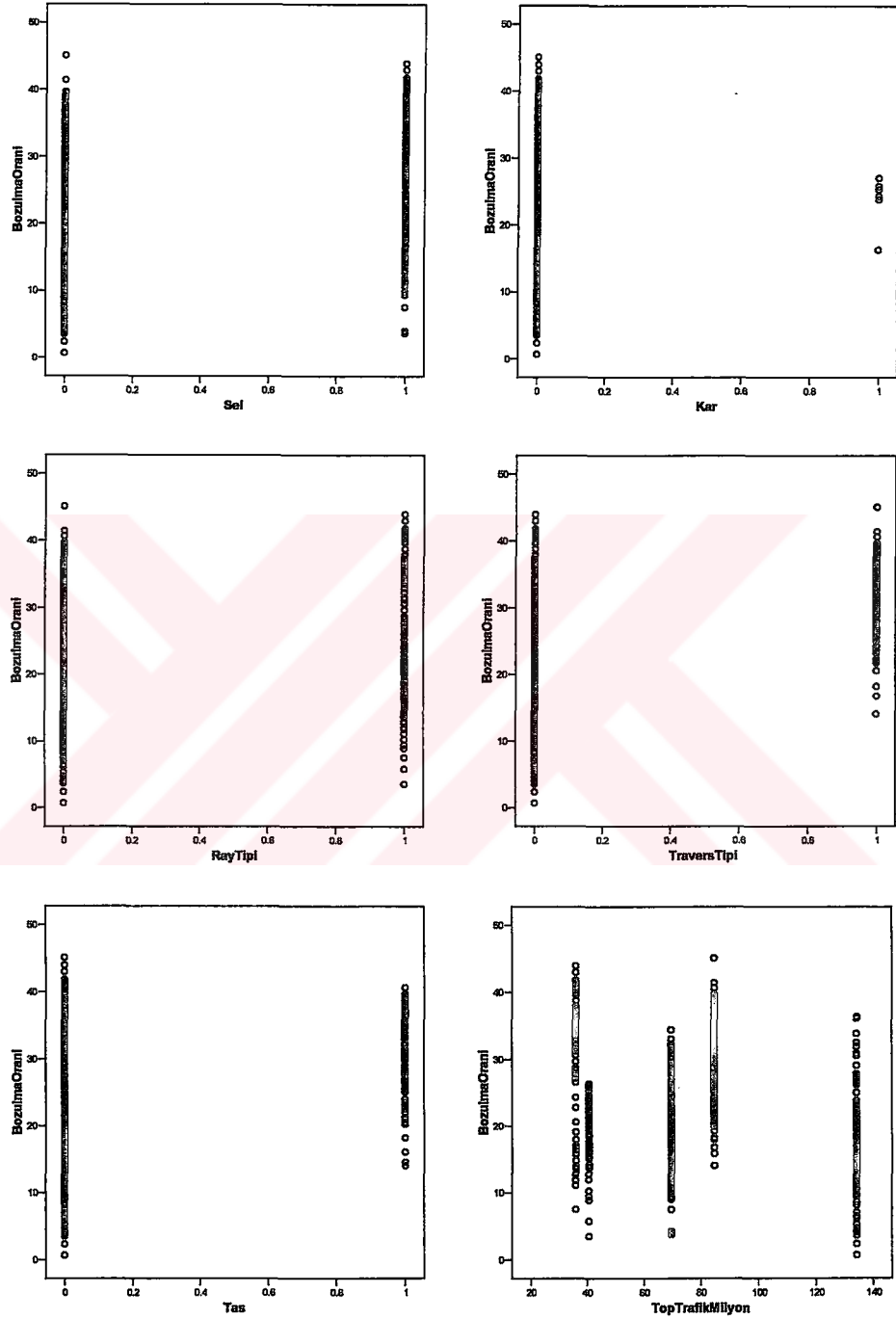
Model	Parametreler	Katsayılar		Standart. Katsayılar		t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA				Sıfır derece	Kısmi	Y. Kısmi
1	(Constant)	49.200	2.138			23.017	0.000			
	Eğim	0.181	0.033		0.154	5.486	0.000		0.190	0.121
	1000/R	1.297	0.342		0.201	3.788	0.000		0.132	0.083
	Değer	-0.018	0.007		-0.124	-2.470	0.014		0.151	-0.087
	HızYolcu	-0.209	0.013		-0.571	-15.887	0.000		-0.503	-0.488
	RayUzunlugu	-5.446	0.824		-0.314	-6.607	0.000		-0.399	-0.227
	RayTipi	0.496	0.778		0.023	0.637	0.524		0.003	0.022
	Travers Tipi	-1.274	1.124		-0.066	-1.134	0.257		0.586	-0.040
	TopTrafikMilyon	-0.094	0.010		-0.322	-9.858	0.000		-0.147	-0.328
	Heyalan	-0.850	0.923		-0.024	-0.922	0.357		-0.074	-0.032
	Sel	3.016	0.421		0.166	7.165	0.000		0.261	0.245
	Kar	3.664	2.295		0.036	1.596	0.111		-0.001	0.056
	Tas	1.922	0.626		0.078	3.069	0.002		0.348	0.107

Nivelman Bozulma Modeli



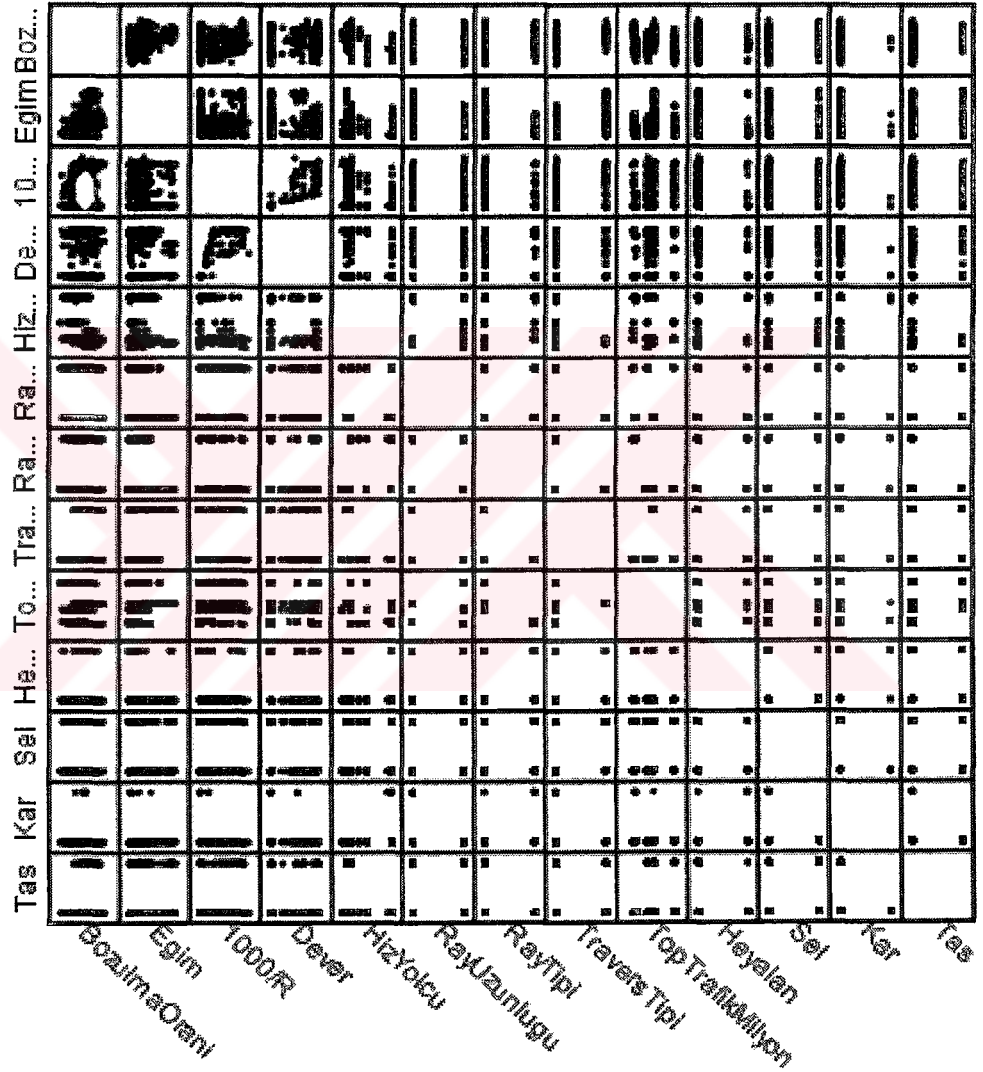
Şekil F.1 Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri

Nivelman Bozulma Modeli



Şekil F.1 Bozulma oranı ve bağımsız değişkenler arasında saçılım grafikleri

Nivelman Bozulma Modeli



Şekil F.2 Verilerin matris saçılım grafiği

Nivelman Bozulma Modeli

Tablo F.5 Adımsal regresyon analizi sonucu bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.586	0.344	0.343	6.984
2	0.638	0.407	0.405	6.644
3	0.728	0.529	0.528	5.922
4	0.743	0.552	0.550	5.782
5	0.759	0.577	0.574	5.623
6	0.759	0.575	0.573	5.627
7	0.770	0.592	0.590	5.517
8	0.774	0.599	0.596	5.475
9	0.777	0.603	0.600	5.451
10	0.778	0.606	0.602	5.437

Tablo F.6 Adımsal regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	R	20,893.089	1	20,893.089	428.406	0.000
	A	39,893.381	818	48.769		
	Toplam	60,786.470	819			
2	R	24,716.447	2	12,358.223	279.919	0.000
	A	36,070.023	817	44.149		
	Toplam	60,786.470	819			
3	R	32,172.478	3	10,724.159	305.826	0.000
	A	28,613.992	816	35.066		
	Toplam	60,786.470	819			
4	R	33,542.596	4	8,385.649	250.857	0.000
	A	27,243.874	815	33.428		
	Toplam	60,786.470	819			
5	R	35,051.583	5	7,010.317	221.738	0.000
	A	25,734.887	814	31.615		
	Toplam	60,786.470	819			
6	R	34,979.723	4	8,744.931	276.173	0.000
	A	25,806.747	815	31.665		
	Toplam	60,786.470	819			
7	R	36,013.764	5	7,202.753	236.673	0.000
	A	24,772.705	814	30.433		
	Toplam	60,786.470	819			
8	R	36,415.896	6	6,069.316	202.472	0.000
	A	24,370.574	813	29.976		
	Toplam	60,786.470	819			
9	R	36,660.890	7	5,237.270	176.272	0.000
	A	24,125.580	812	29.711		
	Toplam	60,786.470	819			
10	R	36,811.259	8	4,601.407	155.650	0.000
	A	23,975.211	811	29.563		
	Toplam	60,786.470	819			

Nivelman Bozulma Modeli

Tablo F.7 Adımsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi

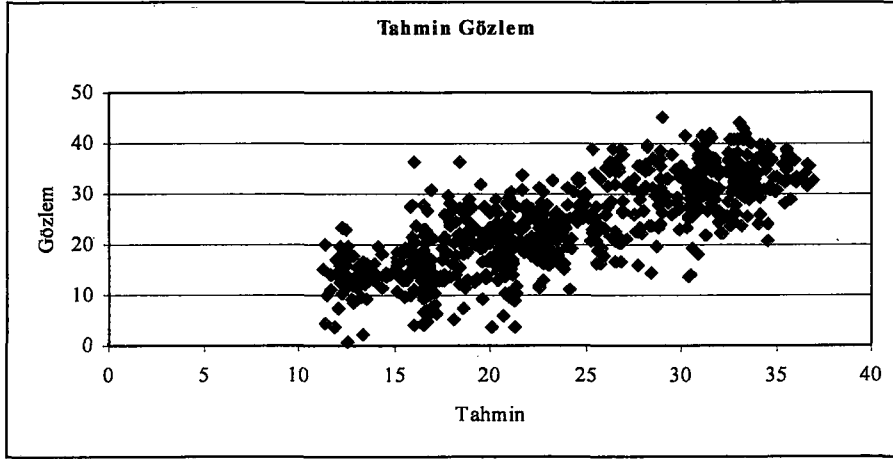
Model	Parametreler	Katsayılar		Standart. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA			Sfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
1	Sabit	20.818	0.287		72.593	0.000			
	TraversTipi	11.282	0.545	0.586	20.698	0.000	0.586	0.586	0.586
2	Sabit	30.350	1.060		28.633	0.000			
	TraversTipi	8.611	0.593	0.448	14.529	0.000	0.586	0.453	0.392
	Hız	-0.105	0.011	-0.287	-9.306	0.000	-0.503	-0.310	-0.251
3	Sabit	44.494	1.354		32.862	0.000			
	TraversTipi	8.008	0.530	0.416	15.115	0.000	0.586	0.468	0.363
	Hız	-0.166	0.011	-0.455	-15.280	0.000	-0.503	-0.472	-0.367
	TopTrafikMil.	-0.112	0.008	-0.383	-14.582	0.000	-0.147	-0.455	-0.350
4	Sabit	52.279	1.796		29.106	0.000			
	TraversTipi	2.947	0.945	0.153	3.119	0.002	0.586	0.109	0.073
	Hız	-0.217	0.013	-0.593	-16.387	0.000	-0.503	-0.498	-0.384
	TopTrafikMil.	-0.105	0.008	-0.360	-13.892	0.000	-0.147	-0.438	-0.326
	RayUzunlugu	-4.815	0.752	-0.278	-6.402	0.000	-0.399	-0.219	-0.150
5	Sabit	52.397	1.747		29.995	0.000			
	TraversTipi	1.425	0.945	0.074	1.508	0.132	0.586	0.053	0.034
	Hız	-0.225	0.013	-0.615	-17.401	0.000	-0.503	-0.521	-0.397
	TopTrafikMil.	-0.100	0.007	-0.340	-13.415	0.000	-0.147	-0.425	-0.306
	RayUzunlugu	-5.705	0.743	-0.329	-7.681	0.000	-0.399	-0.260	-0.175
	Sel	2.965	0.429	0.163	6.909	0.000	0.261	0.235	0.158
6	Sabit	54.332	1.186		45.822	0.000			
	Hız	-0.238	0.009	-0.652	-26.039	0.000	-0.503	-0.674	-0.594
	TopTrafikMil.	-0.099	0.007	-0.337	-13.321	0.000	-0.147	-0.423	-0.304
	RayUzunlugu	-6.647	0.401	-0.383	-16.570	0.000	-0.399	-0.502	-0.378
	Sel	3.116	0.418	0.172	7.460	0.000	0.261	0.253	0.170
7	Sabit	51.198	1.281		39.973	0.000			
	Hız	-0.223	0.009	-0.610	-23.799	0.000	-0.503	-0.641	-0.533
	TopTrafikMil.	-0.100	0.007	-0.342	-13.795	0.000	-0.147	-0.435	-0.309
	RayUzunlugu	-5.338	0.453	-0.308	-11.788	0.000	-0.399	-0.382	-0.264
	Sel	2.913	0.411	0.161	7.088	0.000	0.261	0.241	0.159
	Eğim	0.183	0.031	0.156	5.829	0.000	0.452	0.200	0.130
8	Sabit	49.688	1.336		37.185	0.000			
	Hız	-0.212	0.010	-0.579	-21.667	0.000	-0.503	-0.605	-0.481
	TopTrafikMil.	-0.100	0.007	-0.340	-13.819	0.000	-0.147	-0.436	-0.307
	RayUzunlugu	-5.255	0.450	-0.303	-11.677	0.000	-0.399	-0.379	-0.259
	Sel	2.836	0.408	0.156	6.945	0.000	0.261	0.237	0.154
	Eğim	0.176	0.031	0.151	5.647	0.000	0.452	0.194	0.125
	1000/R	0.565	0.154	0.088	3.663	0.000	0.317	0.127	0.081
9	Sabit	48.675	1.376		35.365	0.000			
	Hız	-0.204	0.010	-0.559	-20.244	0.000	-0.503	-0.579	-0.448
	TopTrafikMil.	-0.100	0.007	-0.343	-13.987	0.000	-0.147	-0.441	-0.309
	RayUzunlugu	-4.857	0.469	-0.280	-10.356	0.000	-0.399	-0.342	-0.229
	Sel	2.834	0.407	0.156	6.970	0.000	0.261	0.238	0.154
	Eğim	0.177	0.031	0.151	5.689	0.000	0.452	0.196	0.126
	1000/R	0.531	0.154	0.082	3.446	0.001	0.317	0.120	0.076
10	Taş	1.753	0.610	0.071	2.872	0.004	0.348	0.100	0.063
	Sabit	48.276	1.384		34.875	0.000			
	Hız	-0.199	0.010	-0.545	-19.299	0.000	-0.503	-0.561	-0.426
	TopTrafikMil.	-0.099	0.007	-0.338	-13.789	0.000	-0.147	-0.436	-0.304
	RayUzunlugu	-4.758	0.470	-0.274	-10.125	0.000	-0.399	-0.335	-0.223
	Sel	2.899	0.407	0.160	7.130	0.000	0.261	0.243	0.157
	Eğim	0.167	0.031	0.142	5.316	0.000	0.452	0.184	0.117
	1000/R	1.207	0.337	0.187	3.584	0.000	0.317	0.125	0.079
	Taş	1.690	0.610	0.069	2.772	0.006	0.348	0.097	0.061
	Dever	-0.016	0.007	-0.112	-2.255	0.024	0.151	-0.079	-0.050

Nivelman Bozulma Modeli

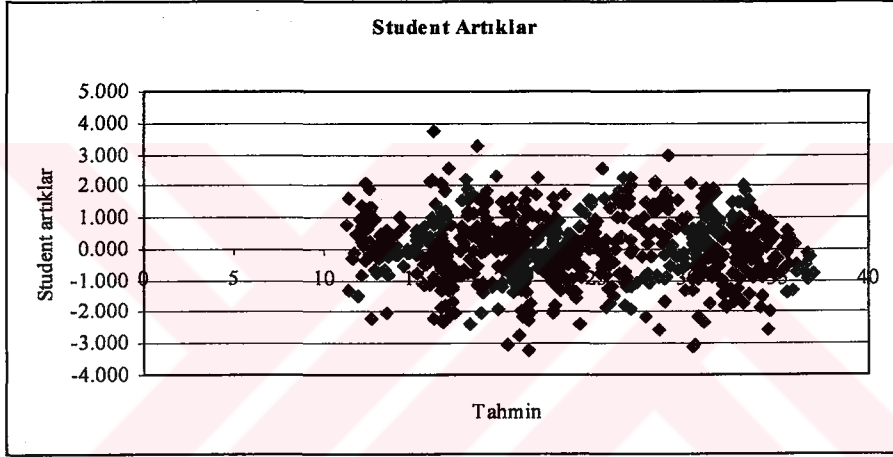
Tablo F.8 Aykırı gözlemlerin test edilmesi

No	Gözlem	Tahmin	Artıklar	Stan. Artıklar	Student Artıklar	DFFIT	p _{ii}	Cook Uzaklığı	Maha. Uzaklığı	Kov. Oranı
1	0.71	12.55	-11.84	-2.18	-2.19	-0.13	0.01	0.00	7.88	0.95
2	2.38	13.41	-11.03	-2.03	-2.04	-0.15	0.01	0.00	9.68	0.96
12	27.32	15.80	11.52	2.12	2.14	0.16	0.01	0.00	10.28	0.96
18	4.12	16.58	-12.46	-2.29	-2.30	-0.12	0.01	0.00	6.82	0.94
22	5.32	18.07	-12.75	-2.35	-2.36	-0.17	0.01	0.01	10.08	0.94
27	36.36	16.08	20.27	3.73	3.75	0.22	0.01	0.01	7.69	0.82
29	27.80	15.98	11.83	2.18	2.19	0.13	0.01	0.00	7.79	0.95
39	6.17	17.21	-11.04	-2.03	-2.04	-0.10	0.01	0.00	6.44	0.96
40	4.33	16.49	-12.15	-2.24	-2.25	-0.12	0.01	0.00	6.93	0.95
44	3.68	21.24	-17.56	-3.23	-3.25	-0.25	0.01	0.01	10.45	0.87
62	30.87	16.90	13.97	2.57	2.58	0.13	0.01	0.00	6.53	0.92
77	36.12	18.41	17.71	3.26	3.30	0.38	0.02	0.02	16.07	0.87
82	33.83	21.73	12.10	2.23	2.25	0.21	0.02	0.01	12.83	0.95
86	31.95	19.50	12.45	2.29	2.31	0.17	0.01	0.01	10.09	0.95
107	4.74	16.77	-12.04	-2.22	-2.23	-0.16	0.01	0.01	9.68	0.95
161	4.01	16.02	-12.00	-2.21	-2.23	-0.21	0.02	0.01	13.23	0.95
260	16.11	27.69	-11.59	-2.13	-2.16	-0.27	0.02	0.01	17.44	0.96
261	14.54	28.41	-13.87	-2.55	-2.58	-0.31	0.02	0.01	16.76	0.93
311	23.42	12.31	11.11	2.05	2.06	0.13	0.01	0.00	8.53	0.96
323	11.51	22.57	-11.06	-2.04	-2.04	-0.09	0.01	0.00	5.51	0.96
373	11.04	24.11	-13.07	-2.41	-2.42	-0.10	0.01	0.00	5.39	0.93
387	14.07	30.47	-16.39	-3.02	-3.04	-0.21	0.01	0.01	9.34	0.89
388	18.22	30.93	-12.71	-2.34	-2.36	-0.19	0.01	0.01	11.34	0.94
410	20.57	34.52	-13.95	-2.57	-2.59	-0.20	0.01	0.01	10.72	0.93
596	39.15	28.22	10.93	2.01	2.02	0.11	0.01	0.00	7.28	0.96
605	38.72	26.47	12.25	2.25	2.27	0.15	0.01	0.00	9.13	0.95
606	45.10	28.97	16.13	2.97	2.99	0.27	0.02	0.01	12.37	0.89
608	38.98	26.85	12.13	2.23	2.25	0.14	0.01	0.00	8.25	0.95
609	41.42	30.21	11.21	2.06	2.08	0.15	0.01	0.00	9.99	0.96
610	39.07	25.33	13.75	2.53	2.55	0.25	0.02	0.01	13.39	0.93
619	39.66	28.20	11.46	2.11	2.13	0.18	0.01	0.01	11.41	0.96
628	43.96	33.08	10.87	2.00	2.02	0.20	0.02	0.01	13.95	0.97
651	13.62	30.35	-16.72	-3.08	-3.10	-0.24	0.01	0.01	10.73	0.88
656	19.10	30.58	-11.47	-2.11	-2.13	-0.21	0.02	0.01	13.64	0.96
670	27.78	16.49	11.29	2.08	2.10	0.24	0.02	0.01	15.87	0.97
682	7.57	18.62	-11.05	-2.03	-2.06	-0.29	0.02	0.01	19.93	0.97
704	29.78	17.81	11.97	2.20	2.23	0.26	0.02	0.01	16.52	0.96
728	3.57	20.07	-16.50	-3.04	-3.07	-0.38	0.02	0.02	17.41	0.89
729	5.85	20.68	-14.83	-2.73	-2.76	-0.34	0.02	0.01	17.13	0.92
768	9.45	20.95	-11.50	-2.12	-2.13	-0.16	0.01	0.00	10.46	0.96
770	9.46	21.02	-11.56	-2.13	-2.14	-0.16	0.01	0.00	10.33	0.96
817	10.31	21.35	-11.04	-2.03	-2.05	-0.15	0.01	0.00	9.90	0.96
818	8.96	21.26	-12.30	-2.27	-2.28	-0.17	0.01	0.01	10.00	0.95
819	10.31	21.39	-11.07	-2.04	-2.05	-0.15	0.01	0.00	9.86	0.96
820	10.31	21.35	-11.04	-2.03	-2.05	-0.15	0.01	0.00	9.90	0.96
Top.	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45

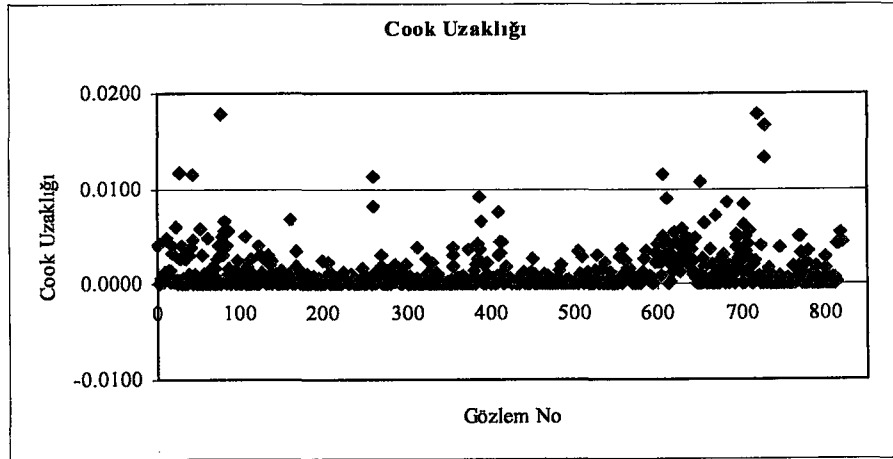
Nivelman Bozulma Modeli



Şekil F.3 Tahmin ve gözlem değerleri



Şekil F.4 Student türü artıklar



Şekil F.5 Cook uzaklığı

Tablo F.9 Varyans şişme değerleri

Parametreler	Çoklu Bağını İstatistiği	
	Tolerans	VIF
Sabit		
Eğim	0.613	1.630
1000/R	0.172	5.810
Dever	0.191	5.231
Yoku	0.375	2.665
RayUzunluğu	0.215	4.657
RayTipi	0.364	2.750
TraversTipi	0.142	7.025
TopTrafikMilyon	0.456	2.192
Heyalan	0.738	1.355
Sel	0.901	1.109
Kar	0.940	1.064
Tas	0.750	1.333

Tablo F.10 Varyans ayrışım oranları

Sayı	Özdeğerler	Koşul İndeksi	Varyans Ayrışım Oranları												
			Sabit	Eğim	1000/R	Dever	Hız	RayUz.	RayTipi	Trav.Tipi	TopTraf.Mil.	Heyalan	Sel	Kar	Tas
1	6.032	1.000	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
2	1.764	1.849	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.07	0.00	0.04
3	1.284	2.167	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.12	0.00	0.14
4	0.925	2.554	0.00	0.02	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.19
5	0.829	2.698	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.12	0.01	0.59
6	0.673	2.995	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.08	0.38	0.02
7	0.563	3.273	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.00	0.07	0.06	0.01
8	0.479	3.550	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.41	0.42	0.00
9	0.212	5.339	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.11	0.02	0.05	0.03	0.00
10	0.124	6.981	0.00	0.02	0.05	0.08	0.06	0.06	0.25	0.09	0.16	0.00	0.04	0.01	0.01
11	0.056	10.370	0.00	0.00	0.05	0.05	0.08	0.08	0.13	0.20	0.13	0.59	0.02	0.03	0.00
12	0.054	10.613	0.00	0.02	0.85	0.81	0.06	0.06	0.03	0.07	0.05	0.02	0.02	0.01	0.00
13	0.006	32.340	1.00	0.01	0.00	0.00	0.79	0.79	0.53	0.29	0.52	0.36	0.00	0.00	0.00

Nivelman Bozulma Modeli

Tablo F.11 Sonuç adımsal regresyon modelinde bulunan R değerleri

Model	R	R Kare	Düzeltilmiş R Kare	Standart hata
1	0.606	0.367	0.366	6.479
2	0.660	0.436	0.434	6.121
3	0.762	0.581	0.580	5.276
4	0.784	0.615	0.613	5.065
5	0.804	0.646	0.644	4.858
6	0.804	0.646	0.644	4.856
7	0.815	0.664	0.662	4.731
8	0.821	0.674	0.672	4.665
9	0.824	0.680	0.677	4.627
10	0.827	0.684	0.681	4.600
11	0.828	0.686	0.683	4.585

Tablo F.12 Sonuç adımsal regresyon modeli varyans analizi

Model		KT	Sd	KO	F	p
1	R	18,816.070	1	18,816.070	448.185	0.000
	A	32,452.712	773	41.983		
	Toplam	51,268.782	774			
2	R	22,345.333	2	11,172.666	298.211	0.000
	A	28,923.449	772	37.466		
	Toplam	51,268.782	774			
3	R	29,806.682	3	9,935.561	356.923	0.000
	A	21,462.100	771	27.837		
	Toplam	51,268.782	774			
4	R	31,513.364	4	7,878.341	307.071	0.000
	A	19,755.418	770	25.656		
	Toplam	51,268.782	774			
5	R	33,116.920	5	6,623.384	280.598	0.000
	A	18,151.861	769	23.605		
	Toplam	51,268.782	774			
6	R	33,112.911	4	8,278.228	351.084	0.000
	A	18,155.871	770	23.579		
	Toplam	51,268.782	774			
7	R	34,056.002	5	6,811.200	304.298	0.000
	A	17,212.780	769	22.383		
	Toplam	51,268.782	774			
8	R	34,558.555	6	5,759.759	264.718	0.000
	A	16,710.227	768	21.758		
	Toplam	51,268.782	774			
9	R	34,846.369	7	4,978.053	232.497	0.000
	A	16,422.413	767	21.411		
	Toplam	51,268.782	774			
10	R	35,058.054	8	4,382.257	207.073	0.000
	A	16,210.728	766	21.163		
	Toplam	51,268.782	774			
11	R	35187.81369	9	3,909.757	185.994	0.000
	A	16080.9681	765	21.021		
	Toplam	51268.78179	774			

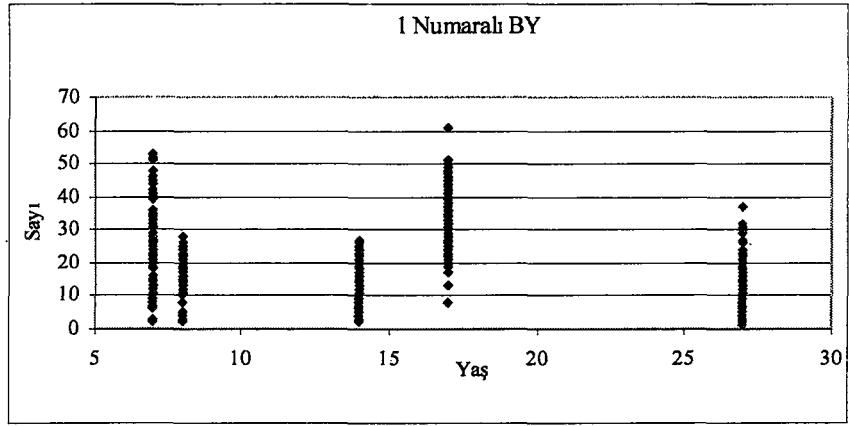
Nivelman Bozulma Modeli

Tablo F.13 Sonuç adimsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi

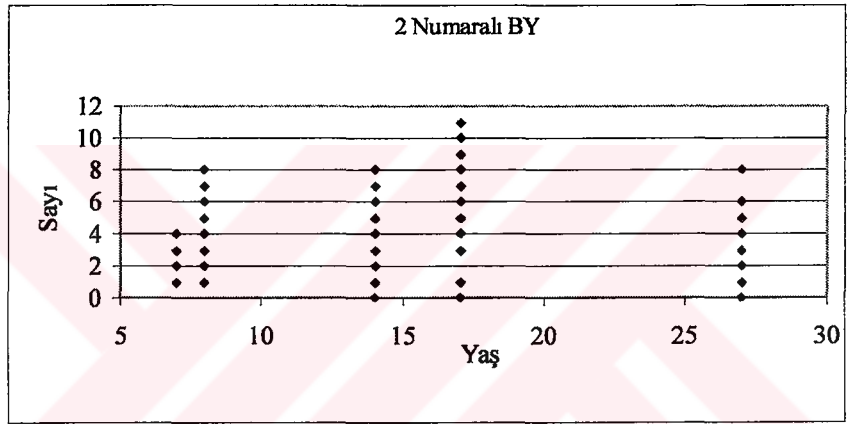
M.	Parametreler	Katsayılar		Standart. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA			Sfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
1	Sabit	21.112	0.275		76.898	0.000			
	TraversTipi	10.959	0.518	0.606	21.170	0.000	0.606	0.606	0.606
2	Sabit	30.551	1.007		30.353	0.000			
	TraversTipi	8.296	0.561	0.459	14.796	0.000	0.606	0.470	0.400
	Hız	-0.104	0.011	-0.301	-9.706	0.000	-0.525	-0.330	-0.262
3	Sabit	44.977	1.237		36.372	0.000			
	TraversTipi	7.817	0.484	0.432	16.144	0.000	0.606	0.503	0.376
	Hız	-0.164	0.010	-0.477	-16.563	0.000	-0.525	-0.512	-0.386
	TopTrafikMil.	-0.118	0.007	-0.416	-16.372	0.000	-0.166	-0.508	-0.381
4	Sabit	53.872	1.612		33.418	0.000			
	TraversTipi	2.005	0.851	0.111	2.357	0.019	0.606	0.085	0.053
	Hız	-0.222	0.012	-0.643	-18.729	0.000	-0.525	-0.559	-0.419
	TopTrafikMil.	-0.110	0.007	-0.388	-15.781	0.000	-0.166	-0.494	-0.353
	RayUzunlugu	-5.519	0.677	-0.337	-8.156	0.000	-0.431	-0.282	-0.182
5	Sabit	54.056	1.546		34.956	0.000			
	TraversTipi	0.346	0.840	0.019	0.412	0.680	0.606	0.015	0.009
	Hız	-0.231	0.011	-0.670	-20.243	0.000	-0.525	-0.590	-0.434
	TopTrafikMil.	-0.104	0.007	-0.367	-15.462	0.000	-0.166	-0.487	-0.332
	RayUzunlugu	-6.421	0.658	-0.392	-9.754	0.000	-0.431	-0.332	-0.209
	Sel	3.141	0.381	0.184	8.242	0.000	0.286	0.285	0.177
6	Sabit	54.523	1.053		51.802	0.000			
	Hız	-0.234	0.008	-0.680	-28.990	0.000	-0.525	-0.722	-0.622
	TopTrafikMil.	-0.104	0.007	-0.366	-15.512	0.000	-0.166	-0.488	-0.333
	RayUzunlugu	-6.649	0.355	-0.406	-18.715	0.000	-0.431	-0.559	-0.401
	Sel	3.179	0.370	0.186	8.595	0.000	0.286	0.296	0.184
7	Sabit	51.496	1.126		45.714	0.000			
	Hız	-0.219	0.008	-0.636	-26.740	0.000	-0.525	-0.694	-0.559
	TopTrafikMil.	-0.106	0.007	-0.373	-16.224	0.000	-0.166	-0.505	-0.339
	RayUzunlugu	-5.350	0.400	-0.327	-13.383	0.000	-0.431	-0.435	-0.280
	Sel	3.001	0.361	0.176	8.305	0.000	0.286	0.287	0.174
	Egim	0.178	0.027	0.163	6.491	0.000	0.473	0.228	0.136
8	Sabit	49.887	1.160		43.005	0.000			
	Hız	-0.207	0.008	-0.602	-24.500	0.000	-0.525	-0.662	-0.505
	TopTrafikMil.	-0.107	0.006	-0.378	-16.654	0.000	-0.166	-0.515	-0.343
	RayUzunlugu	-4.743	0.414	-0.290	-11.458	0.000	-0.431	-0.382	-0.236
	Sel	3.019	0.356	0.177	8.473	0.000	0.286	0.292	0.175
	Egim	0.178	0.027	0.163	6.580	0.000	0.473	0.231	0.136
	Tas	2.579	0.537	0.111	4.806	0.000	0.387	0.171	0.099

Tablo F.13 Sonuç adimsal regresyonda parametrelerin anlamlılık analizi

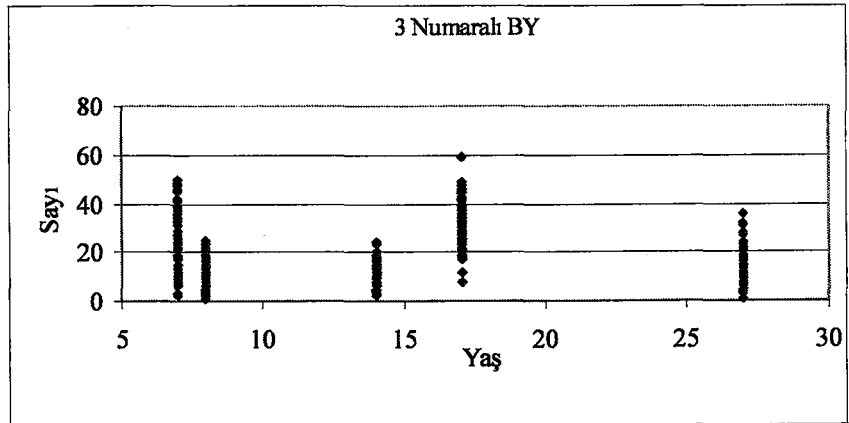
M.	Parametreler	Katsayılar		Standart. Katsayılar	t	p	Korelasyonlar		
		bi	S(bi)	BETA			Sıfır derece	Kısmi	Y.Kısmi
9	Sabit	48.652	1.199		40.577	0.000			
	Hız	-0.198	0.009	-0.575	-22.662	0.000	-0.525	-0.633	-0.463
	TopTrafikMil.	-0.107	0.006	-0.377	-16.712	0.000	-0.166	-0.517	-0.342
	RayUzunlugu	-4.703	0.411	-0.287	-11.449	0.000	-0.431	-0.382	-0.234
	Sel	2.968	0.354	0.174	8.390	0.000	0.286	0.290	0.171
	Egim	0.173	0.027	0.158	6.430	0.000	0.473	0.226	0.131
	Tas	2.429	0.534	0.105	4.549	0.000	0.387	0.162	0.093
	1000/R	0.491	0.134	0.081	3.666	0.000	0.325	0.131	0.075
10	Sabit	51.546	1.503		34.302	0.000			
	TraversTipi	-2.734	0.865	-0.151	-3.163	0.002	0.606	-0.114	-0.064
	Hız	-0.220	0.011	-0.638	-19.906	0.000	-0.525	-0.584	-0.404
	TopTrafikMil.	-0.105	0.006	-0.371	-16.474	0.000	-0.166	-0.511	-0.335
	RayUzunlugu	-6.196	0.624	-0.378	-9.926	0.000	-0.431	-0.338	-0.202
	Sel	3.238	0.362	0.190	8.947	0.000	0.286	0.308	0.182
	Egim	0.201	0.028	0.184	7.135	0.000	0.473	0.250	0.145
	Tas	2.856	0.548	0.123	5.214	0.000	0.387	0.185	0.106
	1000/R	0.507	0.133	0.084	3.806	0.000	0.325	0.136	0.077
11	Sabit	51.541	1.498		34.415	0.000			
	TraversTipi	-3.056	0.871	-0.169	-3.507	0.000	0.606	-0.126	-0.071
	Hız	-0.218	0.011	-0.631	-19.703	0.000	-0.525	-0.580	-0.399
	TopTrafikMil.	-0.104	0.006	-0.365	-16.232	0.000	-0.166	-0.506	-0.329
	RayUzunlugu	-6.293	0.623	-0.384	-10.095	0.000	-0.431	-0.343	-0.204
	Sel	3.329	0.363	0.195	9.183	0.000	0.286	0.315	0.186
	Egim	0.193	0.028	0.177	6.848	0.000	0.473	0.240	0.139
	Tas	2.834	0.546	0.122	5.190	0.000	0.387	0.184	0.105
	1000/R	1.159	0.294	0.191	3.940	0.000	0.325	0.141	0.080
	Dever	-0.016	0.006	-0.114	-2.485	0.013	0.156	-0.089	-0.050



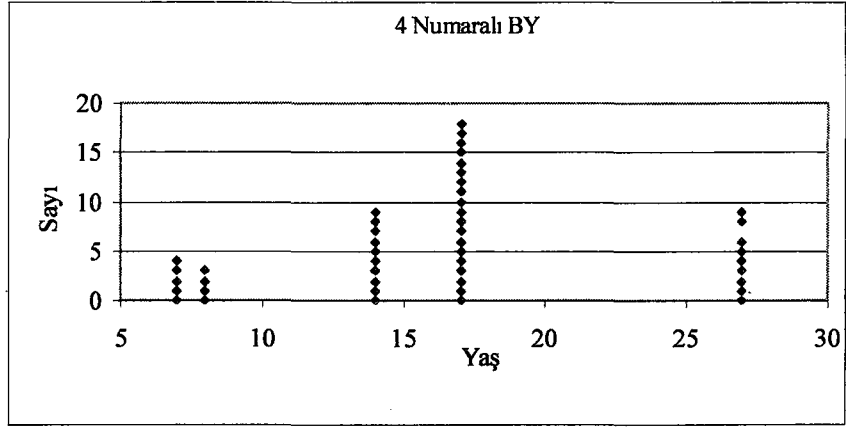
Şekil G.1 Terfi tanzim buraj (elle) çalışması sayısı



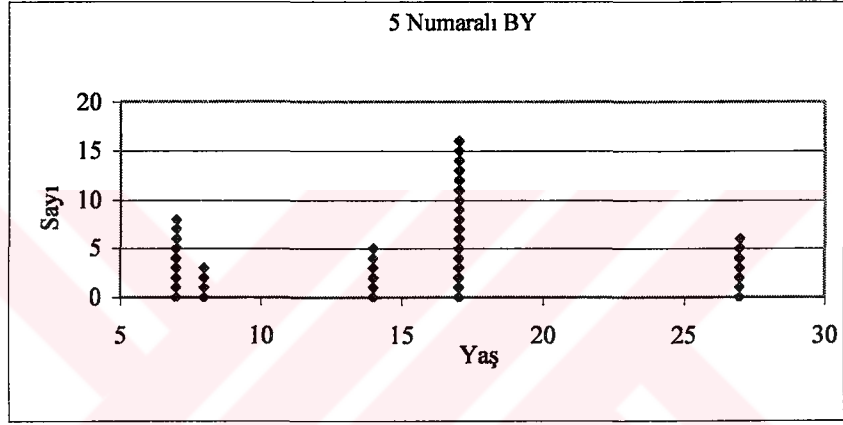
Şekil G.2 Makinele buraj çalışması sayısı



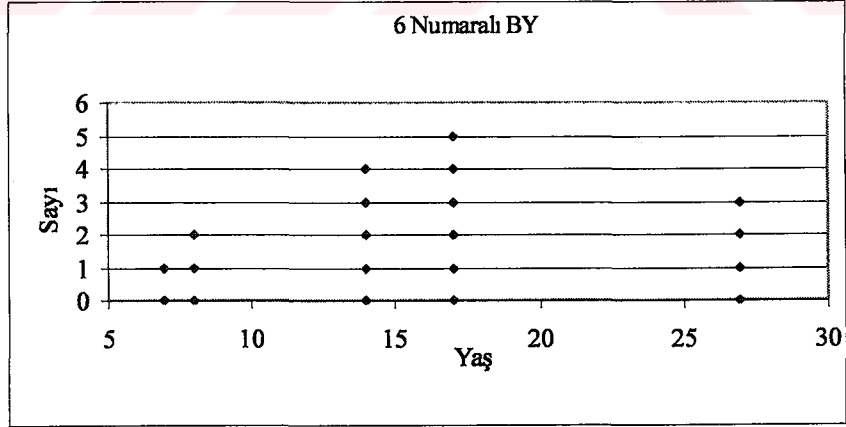
Şekil G.3 Küçük malzeme bakımı çalışması sayısı



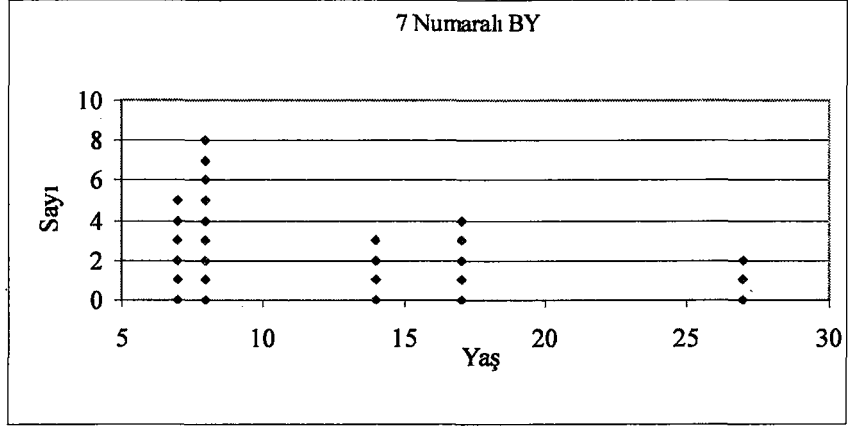
Şekil G.4 Küçük malzeme değiştirme çalışması sayısı



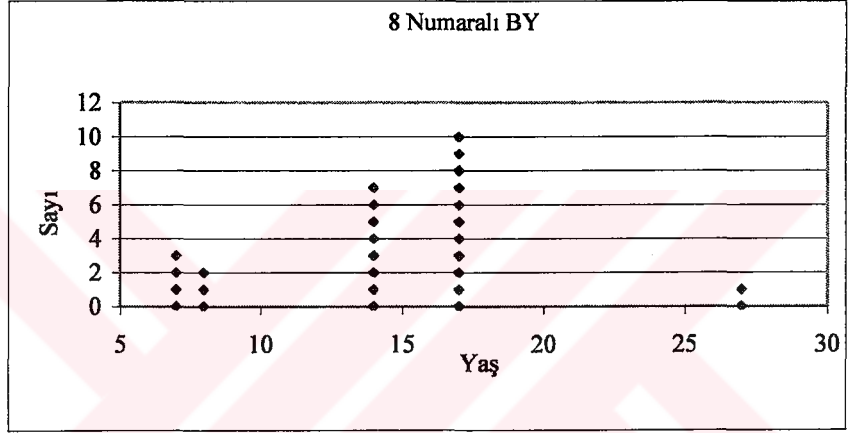
Şekil G.5 Travers değiştirme çalışması sayısı



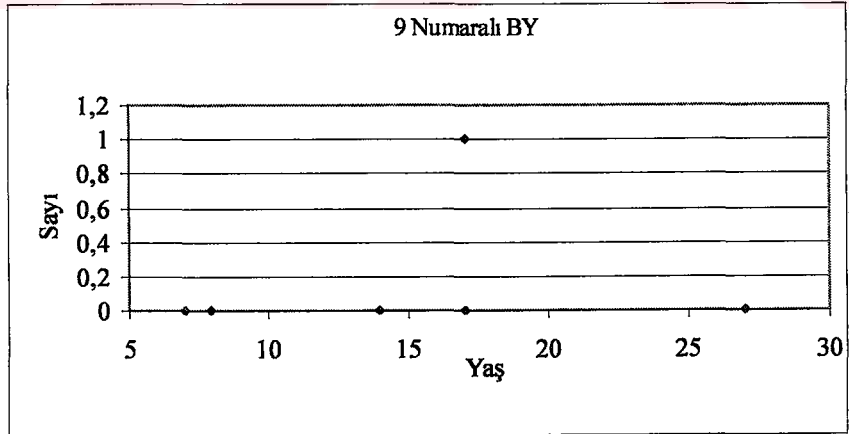
Şekil G.6 Ray değiştirme çalışması sayısı



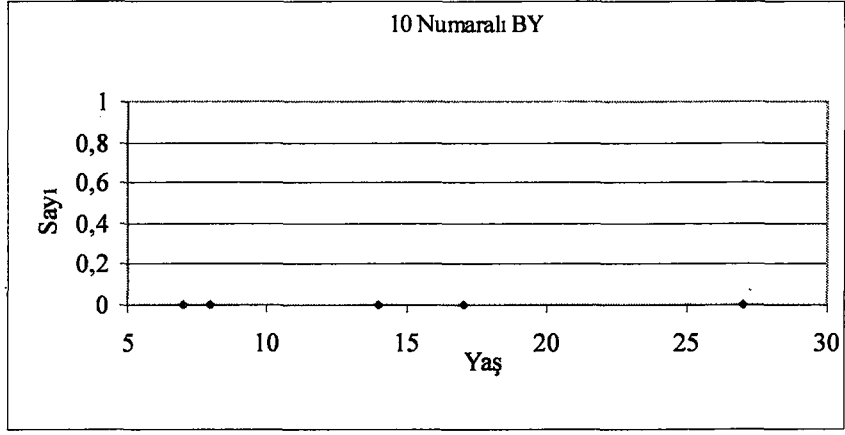
Şekil G.7 Ray Kaynağı ve UKR çalışması sayısı



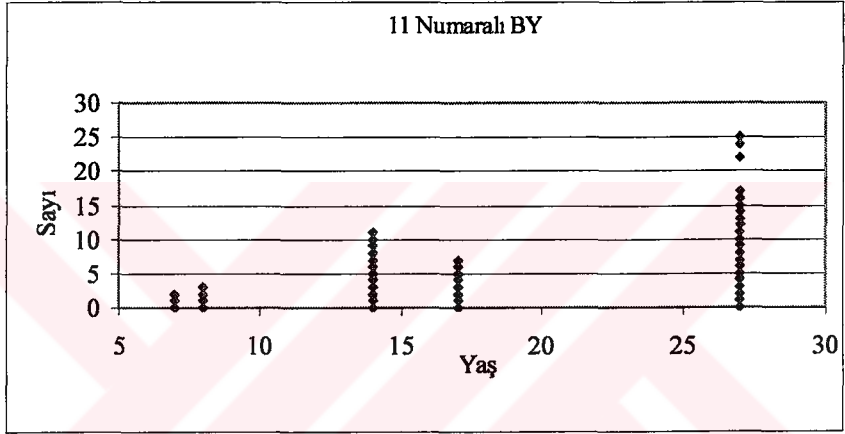
Şekil G.8 Ray göbek dolgu kaynağı çalışması sayısı



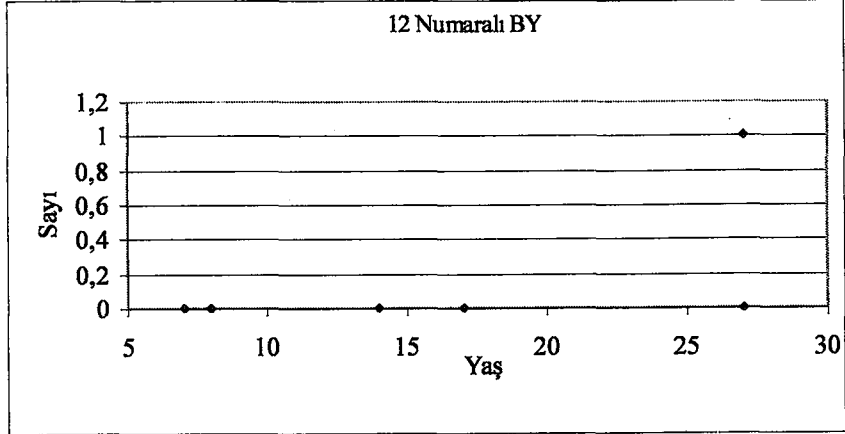
Şekil G.9 Plastik dübel değiştirme çalışması sayısı



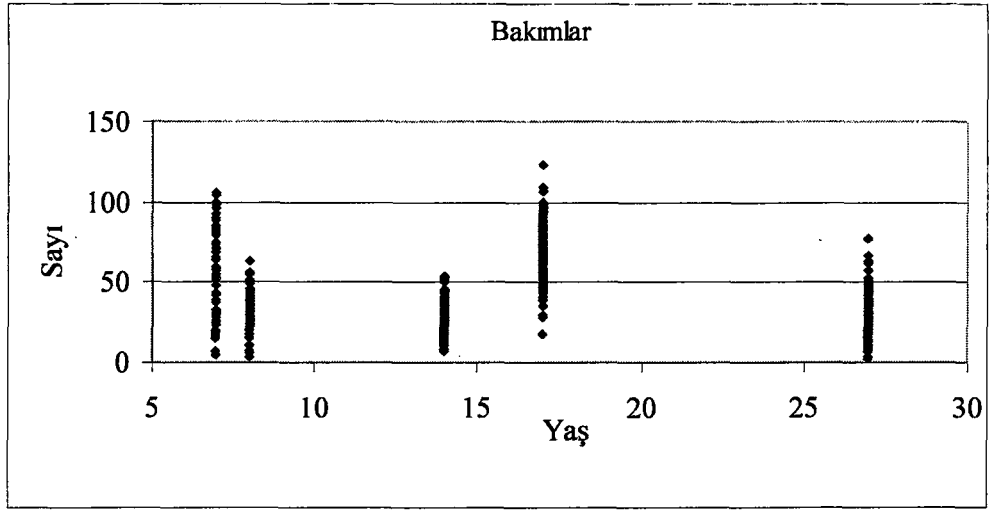
Şekil G.10 Plastik selet ve yüksük tebdili çalışması sayısı



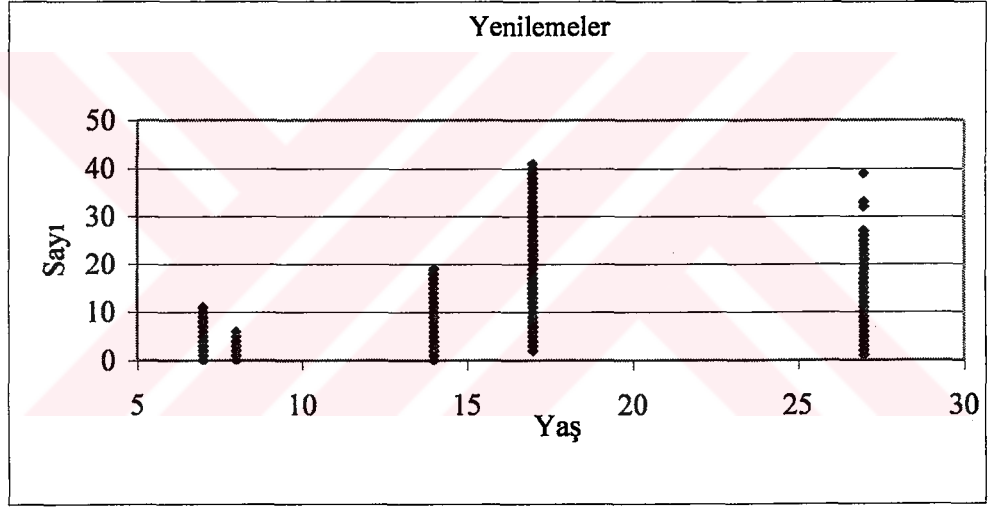
Şekil G.11 Eski balastın elenmesi ve platform tanzimi çalışması sayısı



Şekil G.12 Makineli yol elemesi çalışması sayısı



Şekil G.13 Toplam bakım çalışması sayısı



Şekil G.14 Toplam yenileme çalışması sayısı

H. TÜRKİYE CUMHURİYETİ DEVLET DEMİRYOLLARI AĞININ CBS'YE AKTARILMASI

Türkiye’de demiryolu ulaştırması hizmeti Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) tarafından sağlanmaktadır. TCDD devletin sahip olduğu bir kuruluştur ve Ulaştırma Bakanlığı hükümet düzeyinde TCDD’nin koordinasyonunu ve denetlemesini gerçekleştirmektedir. Merkezde hukuk, kamu ve savunma birimlerinin yanı sıra 16 şubesi olan TCDD’nin, ülke düzeyinde de 7 tane bölge merkezi vardır. TCDD’nin işlettiği demiryolu ağındaki ana hatların uzunluğu 8,671 km’dir. Bu ağ çoğunlukla (% 95) tek hatlı bağlantılardan oluşmakta ve genellikle yatırım eksikliği, mali ve işletim problemleri ile diğer çeşitli nedenler yüzünden yüksek bir hizmet düzeyi sunmamaktadır. Elektrikli ve sinyalize hatların uzunluğu sırasıyla 2,122 ve 2,505 km’dir. 2000 yılında demiryolunun yük taşımacılığındaki pazar payı ton-km cinsinden yüzde 4.36 olarak gerçekleşmiştir. Yolcu taşıması için bu oran daha da düşük olup yolcu-km cinsinden yüzde 2.13 düzeyindedir. Ayrıca TCDD tarafından işletilen 7 tane liman vardır ve bunlar sırasıyla Haydarpaşa (İstanbul), Mersin (İçel), İzmir, Samsun, Bandırma (Balıkesir), Derince (Kocaeli) ve İskenderun (Hatay) limanlarıdır (TCDD İstatistik Yılı, 2000).

H.1 TCDD Ağının Geometrik Düzeltmesi

Geometrik düzeltme, ham görüntüdeki geometrik bozulma etkilerinin giderilmesi, ve görüntünün yer kontrol noktaları kullanılarak tanımlı bir coğrafi koordinat sistemine oturtulması işlemidir. Düzeltilecek görüntüdeki nokta koordinatları yer kontrol noktalarının koordinatları ile tanımlanırken (enlem,boylam gibi) yapılan işleme rektifikasyon, bu işlem iki görüntünün aynı noktalarını eşleştirme ya da bir görüntüyü diğerine göre düzeltme şeklinde yapılıyor ise geometrik kayıt denilmektedir (Göksel, 1996).

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD)’nin, CBS alt yapısının oluşturulması için, öncelikli olarak TCDD ağının sayısal ortamda hazırlanması

gerektiğinden, TCDD tarafından hazırlanmış olan 1/1,700,000 ölçekli demiryolu ağı haritası taranarak bilgisayar ortamına alınmıştır (Şekil H.1).



Şekil H.1 TCDD tarafından hazırlanmış demiryolu ağı haritası

Elimizde bulunan Türkiye'nin 1/1,000,000 ölçekli UTM ED 50 (Universal Transverse Mercator-Eupore Datum) UTM Zone 36 haritası, 1/1,700,000 ölçekli TCDD haritasıyla uyumlu hale getirmek için ER Mapper programını kullanılmıştır.

ER Mapper programı bir uzaktan algılama ve görüntü işleme yazılımıdır. Bu program Earth Resource Mapping adlı firma tarafından hazırlanmıştır (Guler ve diğ., 2004a).

H.2 TCDD Ağının Vektörel Haritasının Oluşturulması

TCDD ağının, 1/1,000,000 ölçekli ve koordinatlı haritası elde edildikten sonra, mevcut demiryolu ağının vektörünün oluşturulması çalışmasına başlanmıştır. Bu vektörler sayesinde demiryolları çizgiler ve noktalarla gösterilebilecek ve bunlara veri yüklemek mümkün olabilmektedir. ER Mapper programı ve AutoCAD programları kullanılarak, demiryolu ağı çizgi istasyonlar ise nokta olarak bilgisayar ortamında hazırlanmıştır. Aynı zamanda, 1/1,000,000 ölçekli UTM 36 ED50 Türkiye haritasına uygun olarak; Türkiye'nin 81 ili, belli başlı gölleri ve nehirleri de AutoCAD programı ortamında vektörel olarak hazırlanmıştır. İl sınırları ve göller kapalı alan, nehirler ise çizgi olarak tanımlanmıştır. TCDD ağı, istasyonlar, iller, belli başlı göller

ve nehirler vektörel olarak hazırlandıktan sonra, CBS programı olan MapInfo Professional programına aktarma işlemi gerçekleştirilmiştir.

TCDD ağı ve Türkiye verisinin MapInfo Professional programında veri yüklenebilir hale getirilmesi için uygun bir şekilde düzenlenmesi için tüm istasyonların, istasyonlar arası kesimlerin ve Türkiye verisinin kodları (ID) uygun bir sıraya konularak MapInfo Professional programında girilmiştir. Burada sözü geçen kodlar (ID) CBS'de geokodlar olarak isimlendirilmiştir. Geokodlar kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Ancak belirli bir düzen ve sırada olması daha sonradan veri girişini kolaylaştırmaktadır (Guler ve diğ.,2004a; Guler ve Kaçmaz, S, 2003c).

H.3 TCDD Ağının Grafik Olmayan Verilerin Hazırlanması Ve CBS Ortamına Aktarılması

Sayısal (Excel) ortamda; her bir istasyon, kesim ve Türkiye için hazırlanmış olan veriler, MapInfo Professional ortamında her bir istasyon ve kesimi temsil eden geokodlara (ID) uygun bir şekilde hazırlanmıştır. TCDD ağına ait istasyonlar, istasyonlar arasındaki kesimler ve Türkiye'ye ait veriler sayısal ortama (Excel programına) aktarıldıktan sonra CBS ortamına transferi yapılmıştır (Guler ve diğ.,2004a; Guler ve Kaçmaz, S, 2003c).

Toplam 1,007 istasyona ait veriler:

- a) İstasyon ID numaraları,
- b) İstasyonların kilometreleri,
- c) İstasyon isimleri.

Toplam 1,008 kesime ait veriler:

1. Kesimlerin ID numaraları,
2. Kesimin başladığı istasyon,
3. Kesimin bittiği istasyon,
4. Kesimin başlangıç kilometresi,
5. Kesimin son kilometresi,
6. Kesimin uzunluğu (ara mesafe),
7. Kesimin hangi bölgeye ait olduğu,
8. Kesimde kullanılan enerji tipi,
9. Kesimin sinyalizasyon olup olmadığı,
10. Kesimdeki hat sayısı.

81 ile ait veriler:

- a) İllerin ID numaraları,
- b) İllerin isimleri.

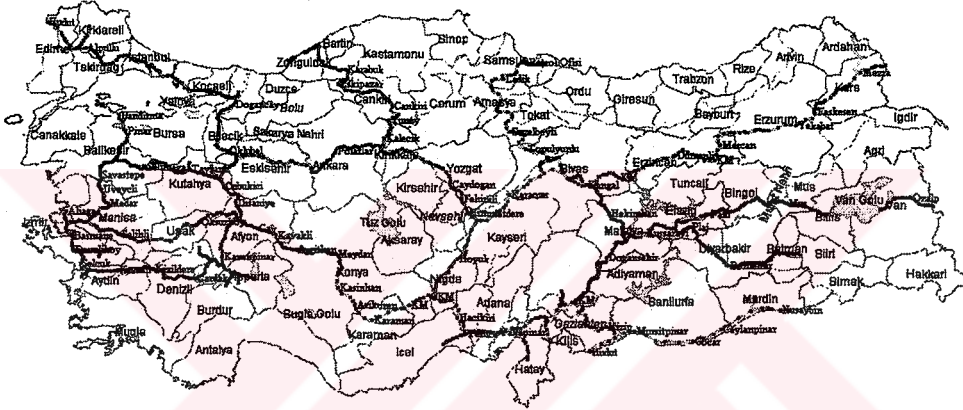
Göllerin verileri:

- a) Göllerin ID numaraları,
- b) Göllerin isimleri.

Nehirlerin verileri:

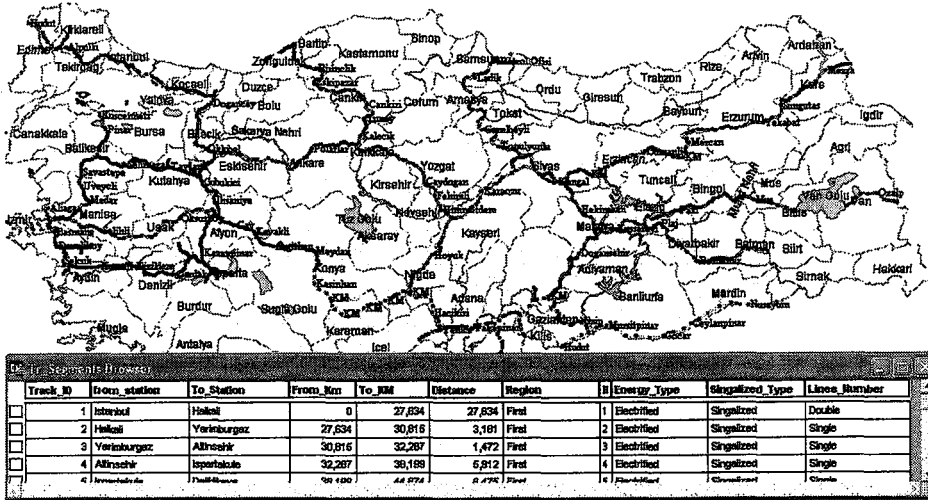
- a) Nehirlerin ID numaraları,
- b) Nehirlerin isimleri.

TCDD ağı ve Türkiye verisi ile ilgili grafik ve grafik olmayan verilerin CBS ortamında bir araya getirilmesi sonucu aşağıdaki harita elde edilmiştir (Şekil H.2).



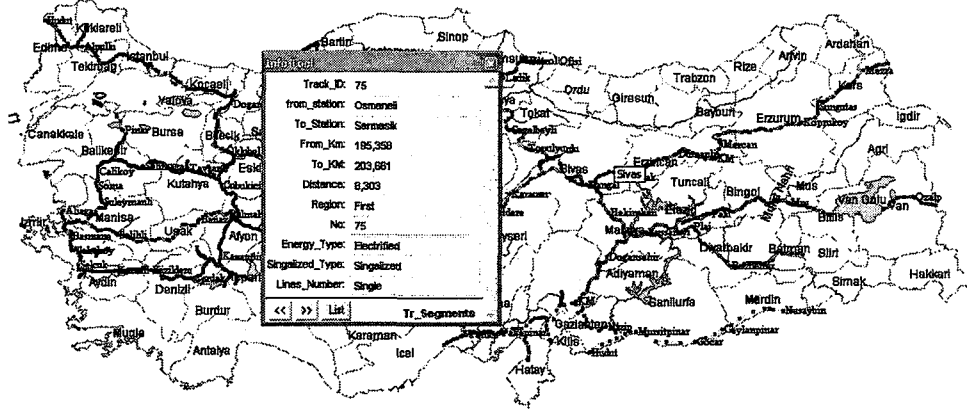
Şekil H.2 CBS ortamında TCDD ağı

Yukarıdaki şekilde görülen harita aynı zamanda grafik olmayan verileri de içermektedir (Şekil H.3).



Şekil H.3 CBS ortamında grafik ve grafik olmayan verinin beraber gösterimi

Yine CBS ortamında istenilen herhangi bir kesim, istasyon vb. hakkında bilgi edinmek çok kolaydır. Herhangi bir nesne üzerine tıklandığında, o nesne ile ilgili ayrıntılı bilgiye ulaşmak, sorgulama ve istatistik analizleri yapmak mümkündür (Şekil H.4).



Şekil H.4 Herhangi bir kesim hakkında veriye ulaşmak

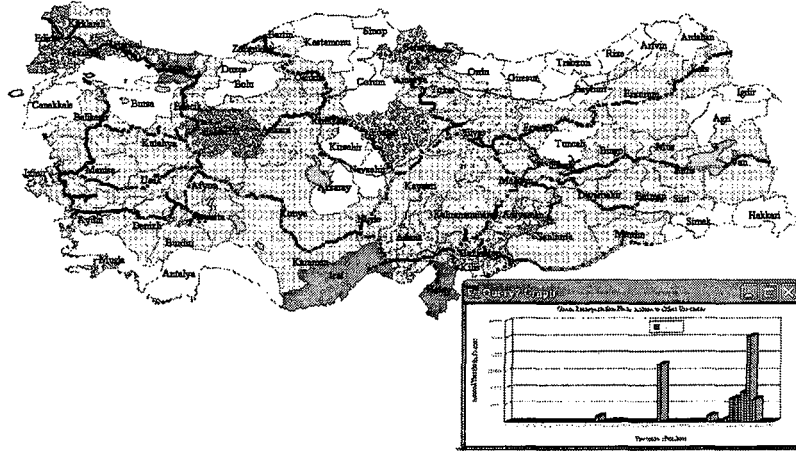
H.4 CBS Ortamında Bulunan TCDD Ağı Üzerinde Yapılan Analizler

CBS’de altyapısı oluşturulan TCDD ağı üzerinde çeşitli analizler yapılmıştır. Bu yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

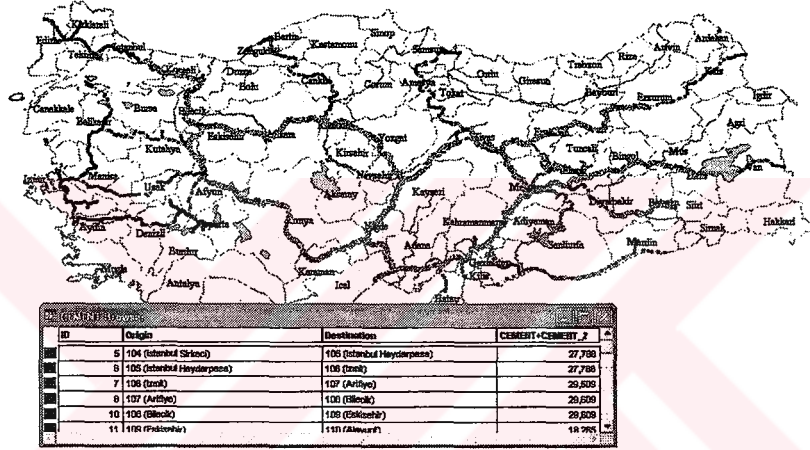
Türkiye’de ki demiryolu yük taşımacılığını analiz etmek için öncelikle demiryoluyla taşınan farklı türdeki yükler için O-D matrisleri belirlenmiştir. Bu amacı gerçekleştirmek için TCDD tarafından sağlanan yük taşımalarına ilişkin istatistiksel veriler kullanılmıştır. Veriler 20 farklı türde yük için her bir istasyondan gerçekleştirilen taşımalarla ilgili ayrıntılı bilgileri içermektedir. 2000 Yılında TCDD tarafından taşınan mallar tahıl, kereste, şeker pancarı, küspe, linyit, kok, kömür, demir cevheri, krom, manyezit, boraks, çimento, klinker, gübre, şeker, tarımsal makineler, tütün, canlı hayvan, akaryakıt, demir ve asfalttan oluşmaktadır. Bu çalışmada illeri esas alan bir bölgelendirme sistemi kullanılmıştır. Bu yüzden illerin idari merkezleri olan şehirlerin, bölgelerin de merkezi olduğu farz edilmiştir. Sonuç olarak küçük istasyonlar arasında yapılan taşımalarda dahil olmak üzere bütün yük taşımalarının bu merkez düğüm noktaları arasında gerçekleştiği kabul edilmiştir. Çalışma, demiryolu ağı üzerinde yer alan bütün iller için gerçekleştirilmiştir. Bu iller bölge numaralarına göre şu şekilde sıralanmaktadır: Edirne (1), Kırklareli (2), Tekirdağ (3), İstanbul (4), Kocaeli (5), Sakarya (6), Bilecik (7), Balıkesir (8), İzmir (9), Manisa (10), Uşak (11), Afyon (12), Aydın (13), Denizli (14), Eskişehir (15),

Kütahya (16), Ankara (17), Çankırı (18), Yozgat (19), Sivas (20), Tokat (21), Konya (22), Niğde (23), Kayseri (24), Isparta (25), Burdur (26), Adana (27), İçel (28), Hatay (29), Kahramanmaraş (30), Gaziantep (31), Adıyaman (32), Şanlıurfa (33), Diyarbakır (34), Mardin (35), Siirt (36), Elazığ (37), Malatya (38), Bingöl (39), Bitlis (40), Muş (41), Van (42), Kars (43), Erzurum (44), Erzincan (45), Amasya (46), Samsun (47) ve Zonguldak (48). Bunun yanı sıra 1980 yılından sonra il olan yerleşim merkezleri ayrı bölgeler olarak göz önüne alınmamış ve başlangıçta bir parçası oldukları illerin sınırlarına dahil edilmiştir. Daha sonra demiryolu ağı TRANSPORT Programı kullanılarak kodlanmış, 20 farklı türde yük için elde edilen O-D matrisleri Türkiye'deki demiryolu ağının seyrek yapıda olduğu düşünülerek hep-ya da-hiç atama yöntemi kullanılarak bu ağ üzerine atanmıştır. Sonuçta bu matrislerin demiryolu ağına atanmasından ortaya çıkan demiryolu bağlantıları üzerindeki yük hacimleri bulunmuştur. Ağ mümkün olduğu kadar basit bir şekilde teşkil edilmiştir. 48 bölge, 126 bağlantı ve 122 düğüm noktasından oluşmaktadır. Bu ağ için hep-ya da-hiç ağaçları ve en kısa güzergahlar, bölgelerin merkez düğüm noktaları arasındaki uzaklıklar maliyet parametresi olarak alınmak suretiyle oluşturulmuştur. Hızların bütün bağlantılar üzerinde aynı olduğu farz edilmiş ve Türkiye'de demiryolu yük taşımacılığı için makul bir değer olan 35 km/saat olduğu kabul edilmiştir. Son olarak bu matrisler ve demiryolu bağlantıları üzerindeki yük akımları bu çalışma için gerekli işlemleri gerçekleştirmek üzere CBS ortamına aktarılmıştır (Vitosoglu ve diğ., 2004).

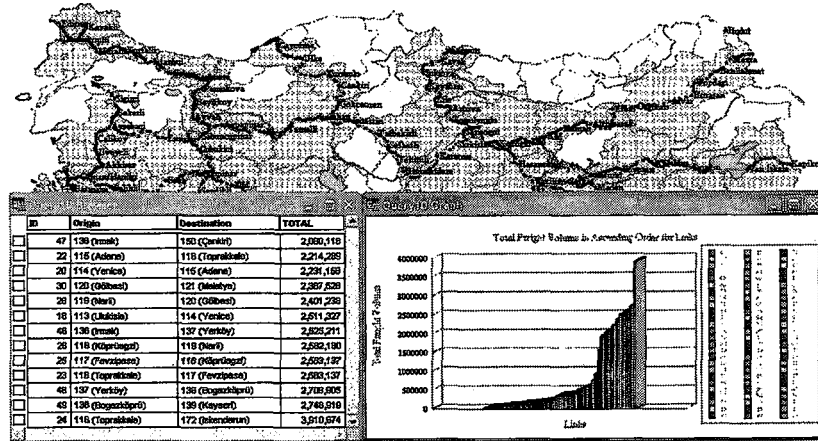
En kısa yol analizlerinde, RouteFinder yazılımı kullanılmıştır. RouteFinder, MapInfo Professional yazılımında en kısa yol analizi çalışmaları yapmak için, MapBasic de yazılan bir programdır (RouteWare, 2004). Şekil H.5'te ki nokta yoğunluğu analizi diğer illerden Ankara'ya gerçekleşen yıllık tahıl taşıması göstermektedir. Çubuk grafikler ise Ankara'dan diğer illere gerçekleşen tahıl taşımacılığını göstermektedir. Şekil H.6'da ki sorgulama analizi TCDD ağı üzerinde yıllık 10,000 tonun üzerinde çimento taşıyan linkleri göstermektedir. Şekil H.7'de ki çubuk grafik linkler üzerinde taşınan toplam yük miktarını artan bir düzende göstermektedir. Şekil H.8'de ki mavi çizgi Edirne den (Başlangıç) Siirt'e (Son) en kısa demiryolu linkini göstermektedir.



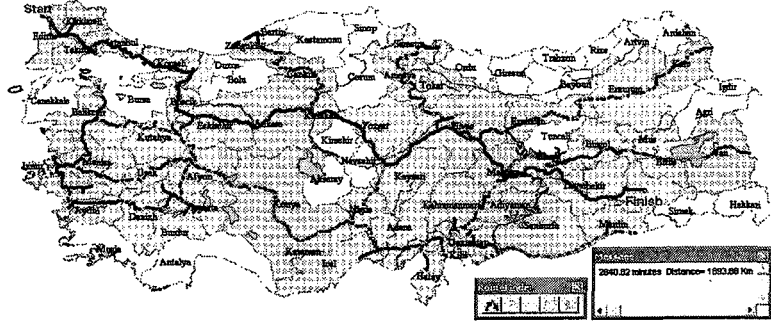
Şekil H.5 Nokta yoğunluğu analizi



Şekil H.6 Bir sorgulama analizi



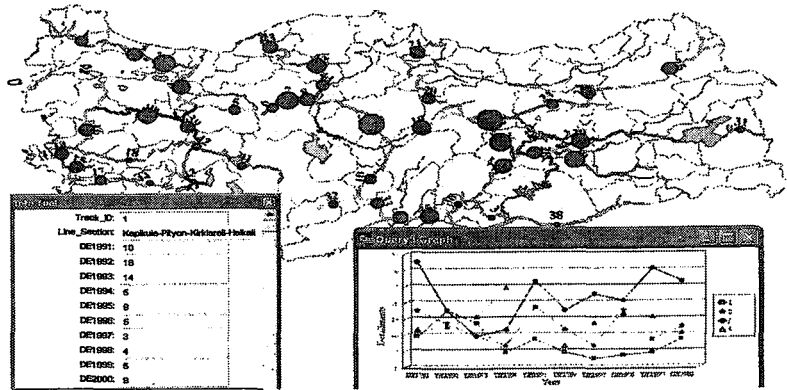
Şekil H.7 Toplam yük miktarları



Şekil H.8 En kısa yol analizi

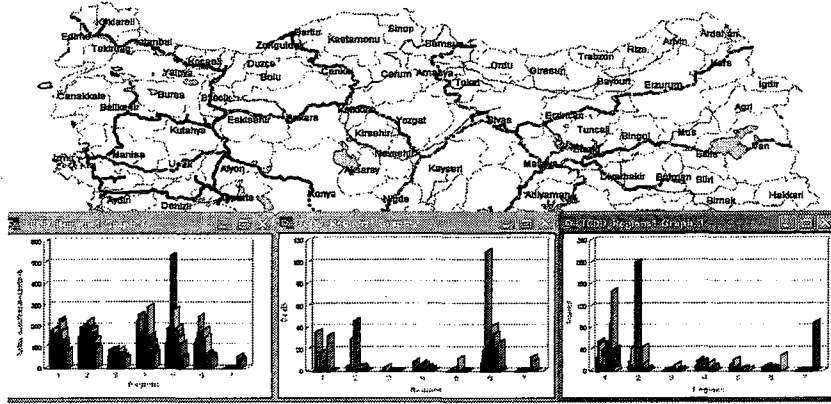
Demiryollarında kaza analizlerini yapmak ve bu sonuçları bölgelerle karşılaştırmak için, demiryolu ağı üzerinde gerçekleşen tren kilometre ve hamton-kilometrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bir trenin bir kilometre mesafeye taşınmasıyla ifade edilen işletme hizmeti birimine tren-kilometre adı verilmektedir. Lokomotiflerin ağırlığı hariç, vagonların daraları da dahil olmak üzere bir tren tonunun bir kilometre mesafeye taşınmasıyla ifade edilen hizmet ölçü birimine ise hamton-kilometre adı verilir (Guler, 2003a; TCDD Kaza/İstatistikleri, 1997-2000)

Raydan çıkma analizlerinin yapılması için, TCDD ağı 44 kesime bölünmüştür. Bu kesimlerle birlikte, kesimlerde 1991-2000 yılları arasında gerçekleşen raydan çıkma kaza verileri CBS ortamına aktarılmıştır (Tesisler Dairesi Başkanlığı Kaza/Olaylar Değerlendirme ve Mevzuat Şubesi,1997-2000). Şekil H.9’da görüldüğü gibi CBS ortamında 1991-2000 yılları arasında dört bölgede görülen raydan çıkmalar grafik olarak, birinci bölgede görülen raydan çıkmalar bilgi kutucuğu olarak gösterilmektedir. Yine aynı şekil üzerinde görülen kırmızı daireler, 44 kesimde görülen kazaları boyutlarıyla göstermektedir. Daire boyutları meydana gelmiş kaza sayısını ifade etmektedir (Guler ve diğ., 2004d).



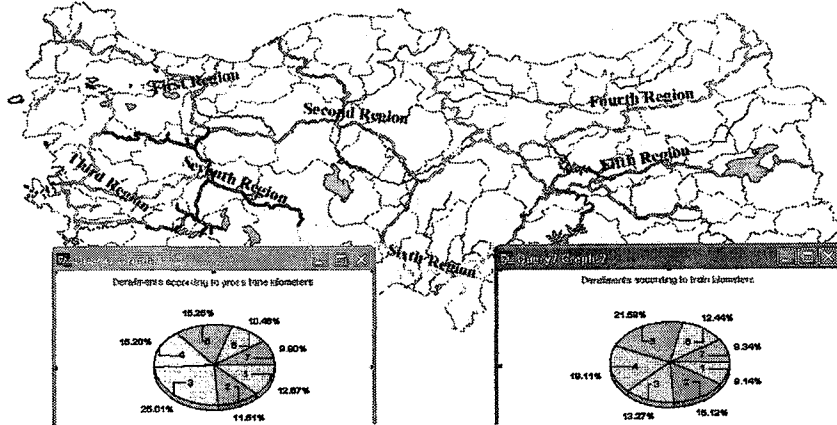
Şekil H.9 Kesimlerde raydan çıkma analizi

Şekil H.10' da 1968 ve 2000 yılları arasında demiryollarının kusurlu olduğu kazalarda ölen ve yaralanan kişi sayısını göstermektedir.



Şekil H.10 Demiryolu kuruma bağlı kazalarda ölen ve yaralananlar

Demiryollarında meydana gelen kazaları, bölgelerde yapılan işletme faaliyetleri dikkate alarak bir karşılaştırma analizini CBS ortamında gerçekleştirmek mümkündür. Tren-kilometreler ve hamton-kilometreler dikkate alınarak, demiryollarında 1997 ve 2002 yılları arasında meydana gelen raydan çıkmalar analiz edilmiştir. Hamton-kilometrelere göre yedi bölgede gerçekleşen raydan çıkmaların yüzdesi sırasıyla şu şekilde bulunmuştur: %12.67, %11.51, %25.01, %15.20, %10.46 ve % 9.90. Tren-kilometrelere göre yedi bölgede gerçekleşen raydan çıkmaların yüzdesi ise sırasıyla şu değerlerde bulunmuştur: % 9.14, % 15.12, %13.27, % 19.11, % 21.59, % 12.44 ve % 9.34 (Şekil H.11).



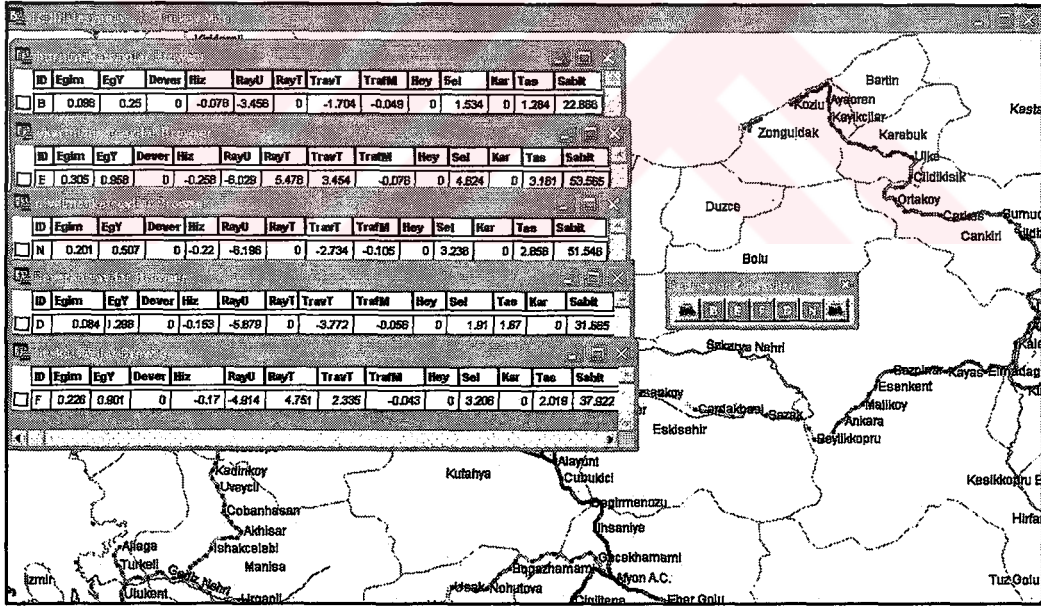
Şekil H.11 İşletmelere bağlı olarak bölgelerde meydana gelen raydan çıkmaların karşılaştırılması

H.5 Bozulma Modelinin CBS Ortamında Çalıştırılmasıyla İlgili Örnek Çalışma

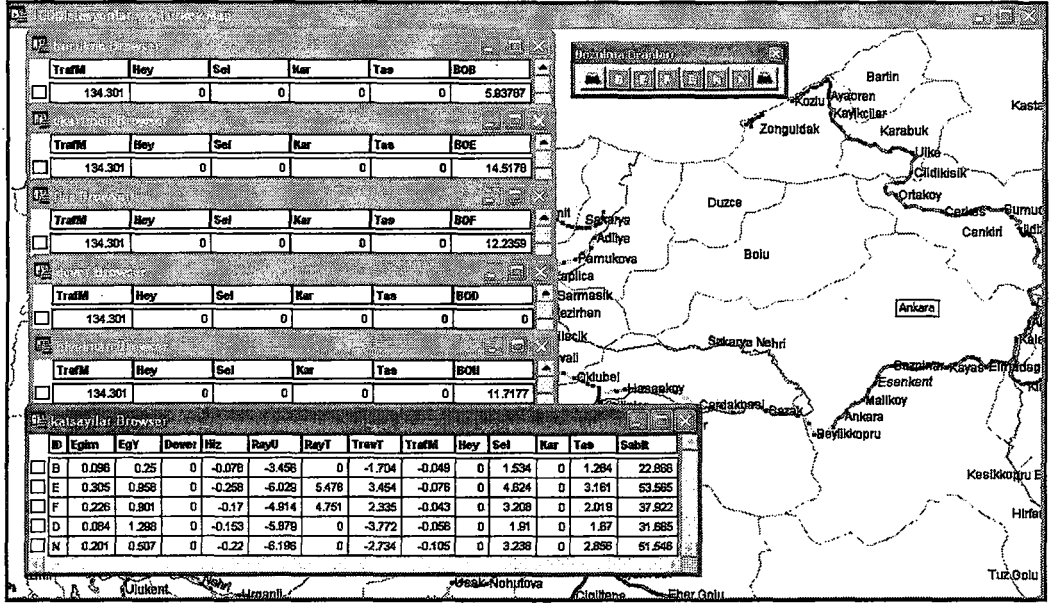
Bu bölümde MapBasic dilinde yazılan ve MapInfo'da çalışan programlar kullanılarak, TCDD Arifiye-Eskişehir arasındaki demiryolu hattı kesiminin trafik yükü altında gelecekte nasıl bozulacağını tahmin edilmesi ve BY kararlarının alınmasıyla ilgili bir örnek çalışma yapılacaktır.

Yazılan ilk program kullanılarak regresyon katsayıları ekrana çağrılmakta gerekli düzeltme ve değişiklikler yapılabilmektedir. Bu aşamada regresyon analizi sonucu bulunan bağımsız değişkenlere ait katsayılar görülmekte ve düzeltme işlemleri yapılabilmektedir. Regresyon katsayıları programının çalıştırılması sonucu elde edilen sonuçlar Şekil H.12'de gösterilmiştir.

Yazılan ikinci program kullanılarak ilk adımda düzenlenen regresyon katsayıları, ilgili geometri bozulması bağımsız değişkenleriyle çarpılarak 820 analiz kesimi için bozulma oranları hesaplanmıştır. Bu aşamada regresyon katsayılarını gösteren bir basma düğmesine (K) basarak regresyon katsayıları toplu olarak bir tabloda görmek mümkündür. Bu aşamada elde edilen sonuçlar Şekil H.13'te gösterilmiştir.



Şekil H.12 Bozulma oranları ve regresyon katsayıları

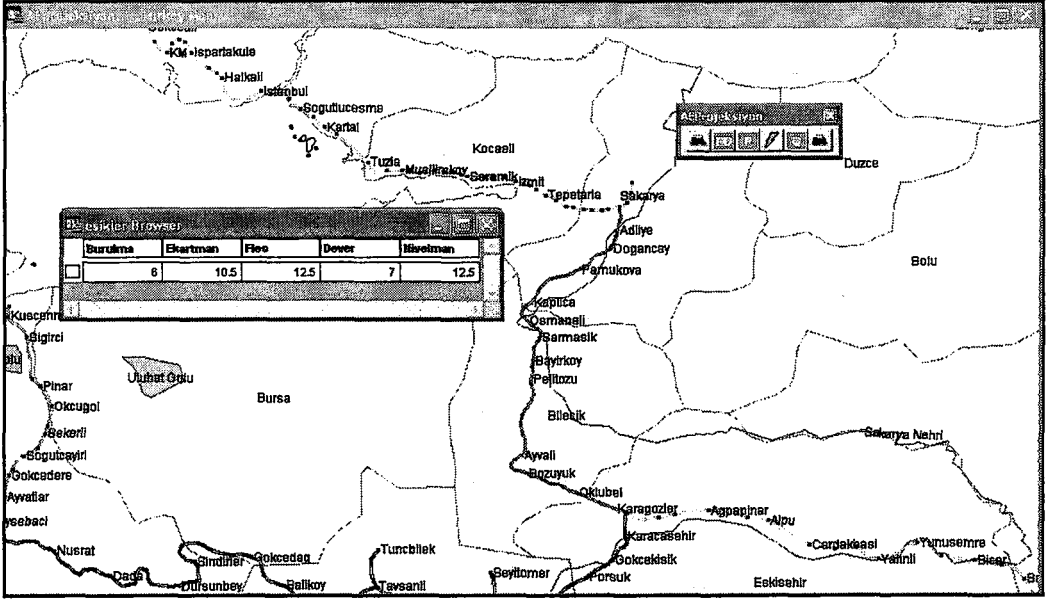


Şekil H.13 Yazılan programla ekrana getirilen regresyon katsayıları

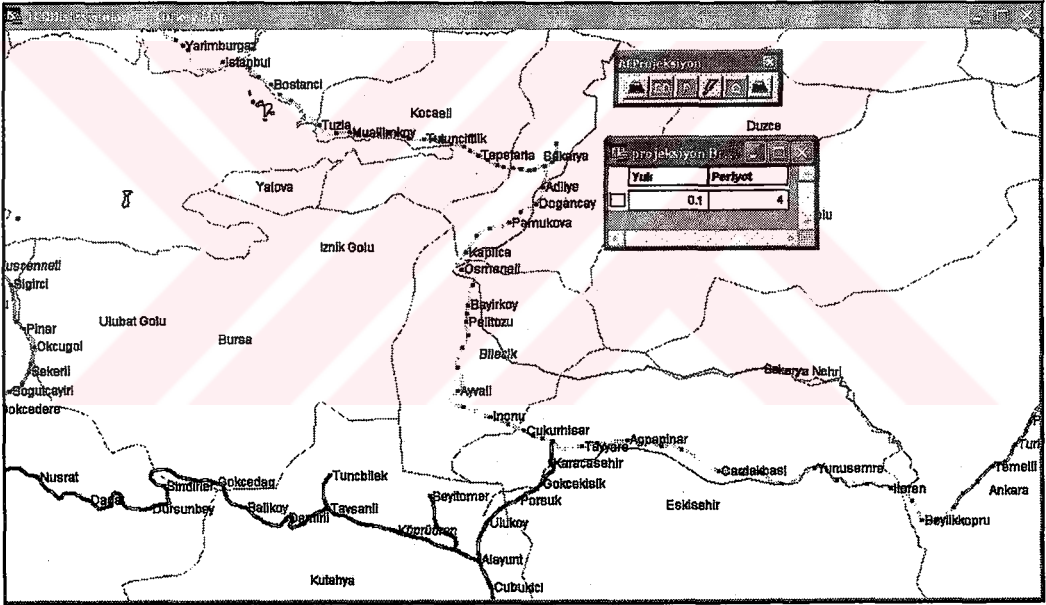
Yazılan üçüncü program kullanılarak önce BY eşik değerleri basma düğmesine (ED) basılarak ekrana çağırılmıştır. Bu tabloda istenirse BY eşik değerleri değiştirilebilir. Şekil H.14'te TCDD tarafından hali hazırda kullanılan BY eşik değerleri görülmektedir.

Eşik değerleriyle ilgili gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra ileriye yönelik tahmin analizinin yapılması için gerekli olan değerlerin girildiği (P) projeksiyon basma düğmesine basılır. Şekil H.15'te ekrana gelen bu tablo görülmektedir. Arifiye-Eskişehir arasındaki yıllık trafik yükü artımı yaklaşık 0.4 milyon ton dolaylarındadır. Bu örnek çalışmada yük artımı 0.1 milyon ton, incelenecek periyot ise 4 olarak alınmıştır. Bu değerler girilip kayıt edilmiştir.

Analiz düğmesine basıldığı zaman girilen değerler esasında program analizi gerçekleştirir ve bize bir sonuç tablosu verir. Bu tabloda her bir geometri bozulması için 4 tane bozulma değeri bulunmaktadır. Çünkü inceleme periyodu 4 olarak girilmişti. B1-B4 arası burulmayı, E1-E4 arası ekartmanı, F1-F4 arası fleşi, D1-D4 arası deveri ve N1-N4 arası nivelmanı göstermektedir. Bulunan bu değerler milimetre cinsinden bozulma değerleridir.



Şekil H.14 Yazılan program kullanılarak BY eşik değerlerinin ekrana getirilmesi



Şekil H.15 Gelecek tahmini için gerekli değerlerin ekrandan girilmesi

Şekil H.16'da programın çalışması sonucu elde edilen bozulma değerlerinin bir kısmı görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar üzerinde çeşitli analizler yapmak mümkündür.

PE4	PF1	PF2	PF3	PF4	PD1	PD2	PD3	PD4	PH1	PH2	PH3	PH4
5.80712	1.22359	2.44718	3.87076	4.88435	0	0	0	0	1.17177	2.34354	3.51531	4.68706
6.76512	1.44884	2.89788	4.34651	5.78535	0.785268	1.57054	2.3558	3.14107	1.28652	2.58704	3.89536	5.19408
6.84457	1.45559	2.91118	4.36678	5.82237	0.747848	1.4953	2.24285	2.98058	1.31676	2.63358	3.95037	5.26718
6.04624	1.28788	2.53577	3.80365	5.07154	0	0	0	0	1.21117	2.42233	3.6335	4.84468
6.00894	1.2611	2.52221	3.78331	5.04442	0	0	0	0	1.20514	2.41027	3.61541	4.82054
6.31484	1.3176	2.63521	3.95281	5.27042	0	0	0	0	1.25538	2.51077	3.76816	5.02154
7.59084	1.53218	3.06437	4.59655	6.12674	0	0	0	0	1.48472	2.88843	4.45415	5.93888
7.85924	1.5819	3.16381	4.74571	6.32762	0	0	0	0	1.52694	3.05767	4.68681	6.11574
8.46824	1.6949	3.38881	5.08471	6.77862	0	0	0	0	1.62944	3.25867	4.88831	6.51774
7.98124	1.6045	3.20801	4.81351	6.41802	0	0	0	0	1.54904	3.08807	4.84711	6.18614
7.81524	1.5367	3.07341	4.61011	6.14882	0	0	0	0	1.48874	2.87747	4.68621	5.95484
7.81044	1.57286	3.14573	4.71959	6.28148	0	0	0	0	1.5209	3.04178	4.66289	6.08388
6.81444	1.22484	2.44988	3.87483	4.89978	0	0	0	0	1.17288	2.34595	3.51893	4.6819
6.28344	1.33757	2.67514	4.01271	5.35028	0.823622	1.24704	1.87057	2.48409	1.23635	2.4727	3.70905	4.9454
6.12284	1.30593	2.61186	3.91779	5.22372	0.811762	1.22352	1.83528	2.44705	1.20821	2.41642	3.62463	4.83284
5.84384	1.1833	2.38881	3.57891	4.77322	0	0	0	0	1.14484	2.28887	3.43451	4.57834
5.76584	1.2159	2.43181	3.64771	4.86362	0	0	0	0	1.16484	2.32887	3.48481	4.65874
7.76884	1.5446	3.08821	4.63381	6.17942	0	0	0	0	1.58489	3.18977	4.78468	6.37954
8.4073	1.69477	3.38954	5.08431	6.77808	0.976045	1.95209	2.92814	3.80418	1.67839	3.35877	5.03818	6.71754
8.3463	1.68347	3.36894	5.05041	6.73388	0.971845	1.94389	2.91554	3.88738	1.66934	3.33867	5.00801	6.67734
8.7611	1.76031	3.52062	5.28083	7.04124	1.00041	2.00081	3.00122	4.00182	1.73768	3.47535	5.21303	6.9507
8.5053	1.88817	3.78634	5.69451	7.59268	1.05165	2.10328	3.15494	4.20658	1.86029	3.72057	5.58066	7.44114
8.88884	1.748	3.48801	5.24401	6.99202	0	0	0	0	1.77579	3.55157	5.32736	7.10314
8.88384	1.7141	3.42821	5.14231	6.85842	0	0	0	0	1.74584	3.48127	5.23881	6.98254
8.41624	1.68438	3.32877	4.99315	6.65764	0	0	0	0	1.70142	3.40283	5.10426	6.80556
8.8707	1.72445	3.4488	5.17335	6.8878	0.890765	1.78163	2.6723	3.66306	1.73522	3.47043	5.20585	6.94086
8.0363	1.60893	3.21386	4.82079	6.42772	0.847085	1.69417	2.54126	3.38834	1.6307	3.26138	4.89206	6.52278
8.4511	1.68377	3.36754	5.05131	6.73508	0.875845	1.75126	2.62694	3.50268	1.69804	3.39807	5.09711	6.79814
7.9631	1.59337	3.18874	4.78011	6.37348	0.842045	1.68408	2.62614	3.36818	1.61884	3.23727	4.85591	6.47454
8.6341	1.71757	3.43534	5.16301	6.87068	0.889245	1.77840	2.66474	3.65288	1.72819	3.46837	5.18755	6.81874

Şekil H.16 Yazılan programın analiz işlemi sonucu bulunan bozulma değerleri

Şekil H.17 ile Şekil H.21 arasında her bir geometri bozulması için incelenen dönemler içinde 820 analiz kesiminin bozulmasının nasıl değiştiği grafik olarak gösterilmiştir. Bu grafiklere bakarak bozulmanın hangi dönemde ya da hangi dönemler arasında başladığını kabaca görmek mümkündür.

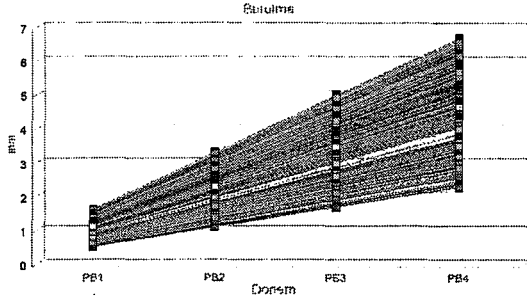
Burulma grafiği incelendiğinde bozulmanın 3. ve 4. dönem arasında özellikle 4. döneme daha yakın zamanlarda bozulmaya başladığı görülmektedir. Burulmanın BY eşik değeri (%₀ 2) 6 mm'dir.

Ekartman grafiği incelendiğinde bozulmanın 2. ve 3. dönemler arasında başladığı görülmektedir. Ekartmanın BY eşik değeri 10.5 mm'dir.

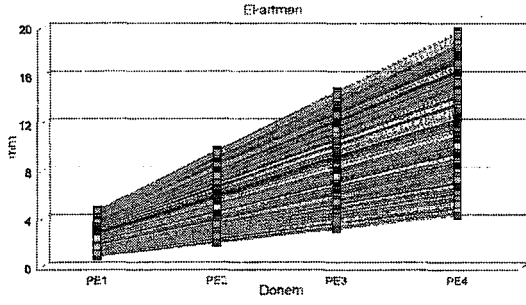
Fleş grafiği incelendiğinde bozulmanın 3. ve 4. dönem arasında gerçekleşmeye başladığı görülmektedir. Fleşin BY eşik değeri 12.5 mm'dir.

Dever grafiği incelendiğinde bozulmanın 3. ve 4. dönemler arasında başladığı görülmektedir. Deverin BY eşik değeri 7 mm'dir.

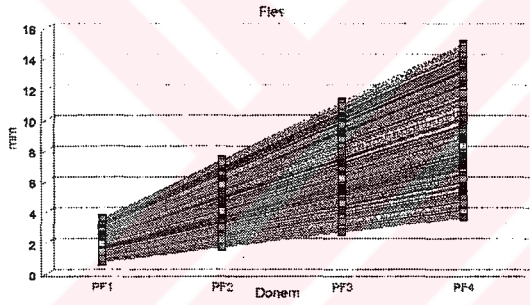
Nivelman grafiği incelendiğinde bozulmanın 3. ve 4. dönemler arasında başladığı görülmektedir. Nivelmanın BY eşik değeri 12.5 mm'dir.



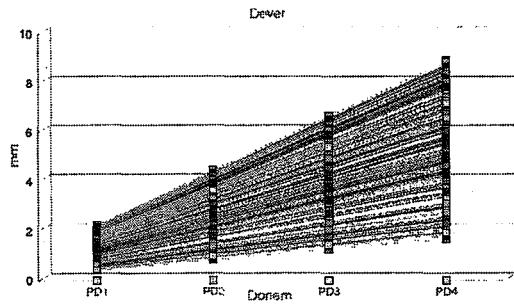
Şekil H.17 Burulmanın zamanla değişimi



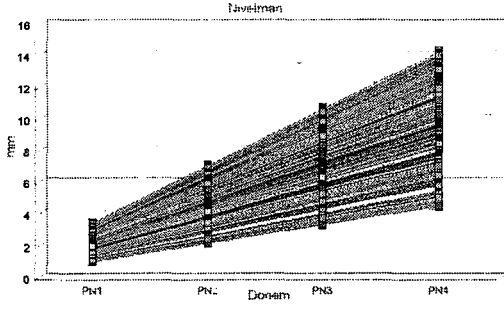
Şekil H.18 Ekartmanın zamanla değişimi



Şekil H.19 Fleşin zamanla değişimi



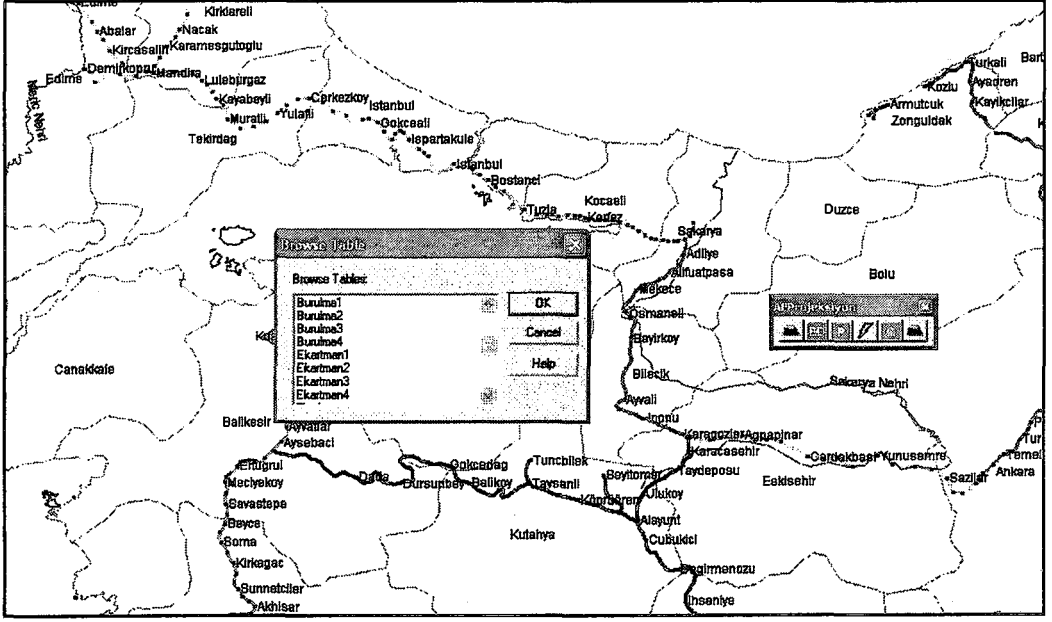
Şekil H.20 Deverin zamanla değişimi



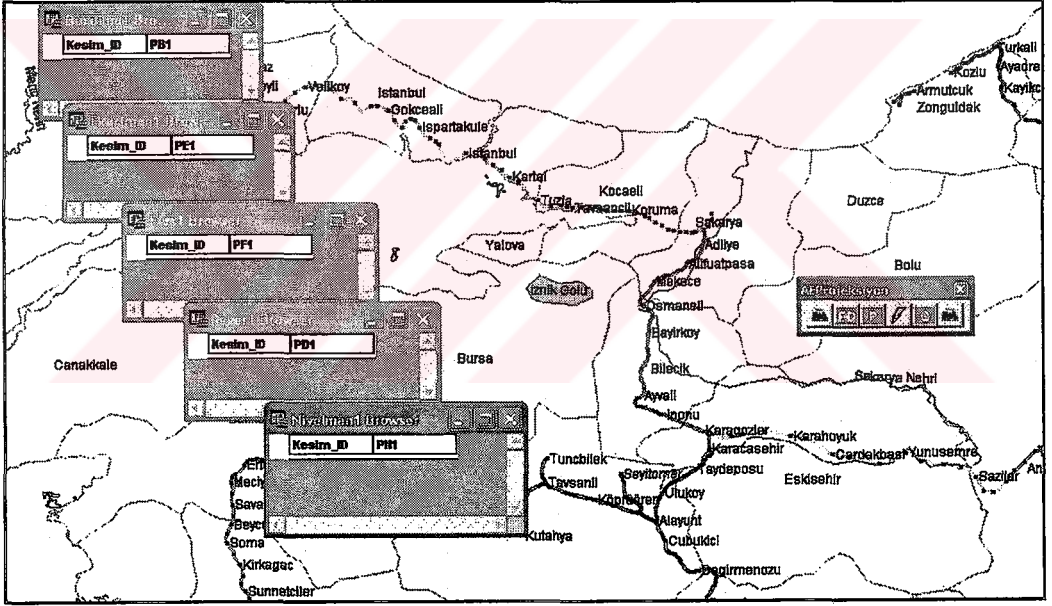
Şekil H.21 Nivelmanın zamanla değişimi

Tahmin değerlerini sorgulama düğmesine basıldığı zaman program CBS ortamında 4 dönem için her bir geometri bozulmasının eşik değerleri aşan kesimleri otomatik olarak sorgular ve tablolar üretir. Şekil H.22’de bu sorgu çalışması sonucu bulunan tablolar bulunmaktadır. Birinci dönemde meydana gelen bozulmalar incelenmek istenirse, bu dönemin tabloları ekrana getirilir. Şekil H.23’te görüldüğü gibi 1. dönemde hiçbir analiz kesimi bozulmamıştır. Benzer şekilde ikinci dönemde meydana gelen bozulmalar incelendiğinde, birinci dönemde olduğu gibi hiç bir analiz kesimi bozulmamıştır. Üçüncü dönem incelendiğinde, sadece ekartmanda bozulma meydana geldiği tespit edilmiştir. CBS ortamında ekartmanın 3. dönemine bir sorgu analizi yapıldığında Şekil H.24’te görüldüğü gibi bozulan kesimleri tablo ve harita üzerinde seçilmiş olarak görmek mümkündür. Bunun yanında bir istatistik işlemi yaparak kaç kesimin bozulduğu, en küçük, en büyük değerler, ortalama vb. istatistik bilgilere ulaşmak mümkündür. Şekil H.24’te görüldüğü gibi 3. dönemde 264 kesimde ekartman bozulması meydana gelmiştir. Benzer şekilde diğer tüm geometri bozulmalarının her bir dönemine ait analizler yapmak mümkündür. Bu şekilde BY programları planlanabilir ve CBS bir karar destek sistemi olarak kullanılabilir.

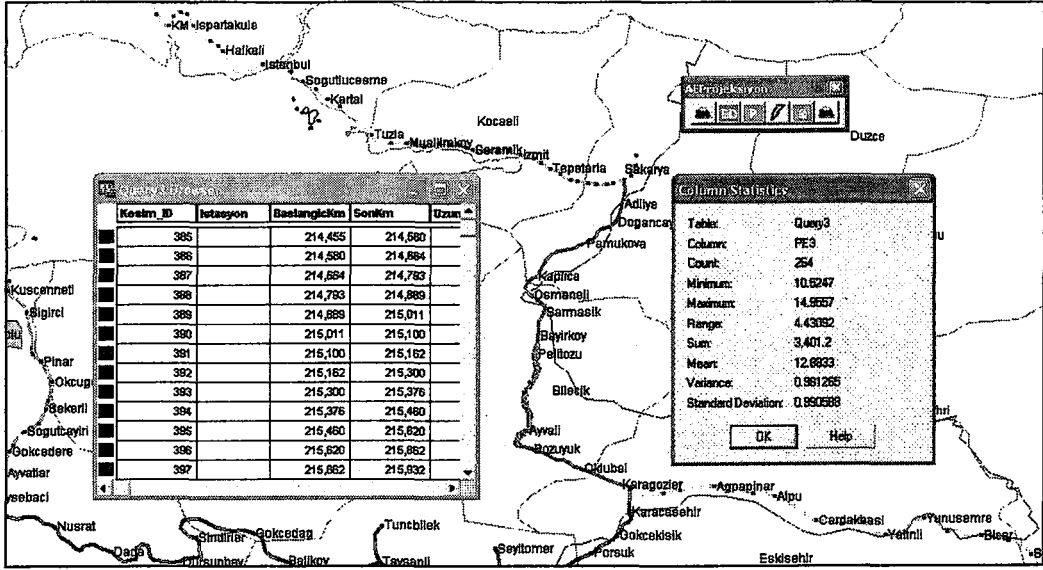
CBS’de hazırlanan program dinamik olarak tasarlanmıştır. Bozulma tespit edilen kesime bir BY çalışması yapıldığı ve bu çalışma CBS’ye yazıldığı zaman program kendini güncellemekte ve gelecek analiz çalışmasında yeni bozulma modelini kullanmaktadır.



Şekil H.22 Sorgulama analizi sonucu üretilen sorgu tabloları



Şekil H.23 Birinci dönemde analiz kesimlerinde oluşan bozulmalar



Şekil H.24 Üçüncü dönemde ekartman bozulması olan kesimler

Tablo H.25 ve Tablo H.28 arasında; burulma parametresi için, 820 analiz kesimi içinden rasgele seçilmiş çeşitli analiz kesimlerine ait bağımsız değişkenleri ve bu bağımsız değişkenlerin regresyon katsayılarıyla çarpılmış sonuçları verilmiştir. Tablolar hız değişkeninin analizlere dahil edildiği ve edilmediği her iki durumu da göstermektedir.

Tablo H.1.1 Çeşitli kesimlere ait bağımsız değişkenler (Burulma parametresi)

Değişkenler	Katsayılar	12	15	615	616	617	735	736	737	140	141	142	390	391	392	746
X1 (Yığılmalı yük)	-0.049	134.301	134.301	35.935	35.935	35.935	40.623	40.623	40.623	69.654	69.654	69.654	84.718	84.718	84.718	40.623
X2 (Hız)	-0.078	90.000	90.000	70.000	70.000	70.000	120.000	120.000	120.000	90.000	90.000	90.000	65.000	65.000	65.000	120.000
X3 (Eğrilik yarıçapı)	0.250	0.000	0.000	1.250	1.754	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.800	0.000	3.340	0.680
X4 (Boyuna eğim)	0.096	2.600	0.000	11.000	10.000	10.000	0.000	2.400	1.800	4.800	0.000	4.880	4.000	4.000	0.500	5.800
X5 (Dever)	0.000	120.000	0.000	0.000	125.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	130.000	0.000	130.000	75.000
X6 (Travers tipi)	-1.704	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000
X7 (Ray tipi)	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
X8 (Ray uzunluğu)	-3.456	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X9 (Taş düşme)	1.284	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000
X10 (Heyelan)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
X11 (Kar)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
X12 (Sel)	1.534	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sabit	22.866															

Tablo H.2 Çeşitli kesimlere ait bağımsız değişkenlerin katsayılarla çarpılmış hali (Burulma parametresi)

Değişkenler	Katsayılar	12	15	615	616	617	735	736	737	140	141	142	390	391	392	746
X1 (Yığılmalı yük)	-0.049	-6.581	-6.581	-1.761	-1.761	-1.761	-1.991	-1.991	-1.991	-3.413	-3.413	-3.413	-4.151	-4.151	-4.151	-1.991
X2 (Hız)	-0.078	-7.020	-7.020	-5.460	-5.460	-5.460	-9.360	-9.360	-9.360	-7.020	-7.020	-7.020	-5.070	-5.070	-5.070	-9.360
X3 (Eğrilik yarıçapı)	0.250	0.000	0.313	0.000	0.439	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.700	0.000	0.835	0.170
X4 (Boyuna eğim)	0.096	0.250	0.000	1.056	0.960	0.960	0.000	0.230	0.173	0.461	0.000	0.468	0.384	0.384	0.048	0.557
X5 (Dever)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X6 (Travers tipi)	-1.704	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.704	-1.704	-1.704	0.000
X7 (Ray tipi)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X8 (Ray uzunluğu)	-3.456	-3.456	-3.456	-3.456	-3.456	-3.456	0.000	0.000	0.000	-3.456	-3.456	-3.456	0.000	0.000	0.000	0.000
X9 (Taş düşme)	1.284	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.284	1.284	1.284	0.000
X10 (Heyelan)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X11 (Kar)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X12 (Sel)	1.534	1.534	0.000	1.534	1.534	1.534	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sabit	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866
Bozulma Oranı Model		7.593	6.122	14.779	15.122	14.683	11.515	11.746	11.688	9.438	8.977	9.445	14.309	13.609	14.108	12.242
Bozulma Oranı Gözlemlenmiş		14.902	7.735	19.027	17.389	17.120	11.656	12.123	10.880	10.695	6.635	7.366	10.842	13.375	15.152	13.833

* Yukarıdaki tablolar örnek olarak verilmiştir. Toplam 820 kesim vardır. Yukarıda rasgele seçilmiş 15 kesimin bağımsız değişkenleri ve bunlara ait regresyon katsayıları verilmiştir.

Tablo H.3 Çeşitli kesimlere ait bağımsız değişkenler (Burulma parametresi-Hız değişkeni olmadan)

Değişkenler	Katsayılar	12	15	615	616	617	735	736	737	140	141	142	390	391	392	746
X1 (Yığılmı yük)	-0.028	134.301	134.301	35.935	35.935	35.935	40.623	40.623	40.623	69.654	69.654	69.654	84.718	84.718	84.718	40.623
X2 (Hız)	0.000	90.000	90.000	70.000	70.000	70.000	120.000	120.000	120.000	90.000	90.000	90.000	65.000	65.000	65.000	120.000
X3 (Eğrilik yarıçapı)	0.450	0.000	0.000	0.000	1.754	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.800	0.000	3.340	0.680
X4 (Boyuna eğim)	0.086	2.600	0.000	11.000	10.000	10.000	0.000	2.400	1.800	4.800	0.000	4.880	4.000	4.000	0.500	5.800
X5 (Dever)	0.000	0.000	120.000	0.000	125.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	130.000	0.000	130.000	75.000
X6 (Travers tipi)	2.634	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000
X7 (Ray tipi)	1.111	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
X8 (Ray uzunluğu)	-0.787	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X9 (Taş düşme)	1.284	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000
X10 (Heyelan)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
X11 (Kar)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
X12 (Sel)	1.174	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sabit	11.716															

Tablo H.4 Çeşitli kesimlere ait bağımsız değişkenlerin katsayılarla çarpılmış hali (Burulma parametresi-Hız değişkeni olmadan)

Değişkenler	Katsayılar	12	15	615	616	617	735	736	737	140	141	142	390	391	392	746
X1 (Yığılmı yük)	-0.028	-3.760	-3.760	-1.006	-1.006	-1.006	-1.137	-1.137	-1.137	-1.950	-1.950	-1.950	-2.372	-2.372	-2.372	-1.137
X2 (Hız)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X3 (Eğrilik yarıçapı)	0.450	0.000	0.563	0.000	0.789	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.260	0.000	1.503	0.306
X4 (Boyuna eğim)	0.086	0.224	0.000	0.946	0.860	0.860	0.000	0.206	0.155	0.413	0.000	0.420	0.344	0.344	0.043	0.499
X5 (Dever)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X6 (Travers tipi)	2.634	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.634	2.634	2.634	0.000
X7 (Ray tipi)	1.111	0.000	0.000	1.111	1.111	1.111	1.111	1.111	1.111	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.111
X8 (Ray uzunluğu)	-0.787	-0.787	-0.787	-0.787	-0.787	-0.787	0.000	0.000	0.000	-0.787	-0.787	-0.787	0.000	0.000	0.000	0.000
X9 (Taş düşme)	1.284	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.284	1.284	1.284	0.000
X10 (Heyelan)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X11 (Kar)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X12 (Sel)	1.174	1.174	0.000	1.174	1.174	1.174	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sabit	11.716	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866	22.866
Bozulma Oranı Model		19.716	18.881	24.304	25.007	24.218	22.840	23.046	22.994	20.541	20.129	20.548	26.016	24.756	25.958	23.644
Bozulma Oranı Gözlenmiş		14.902	7.735	19.027	17.389	17.120	11.656	12.123	10.880	10.695	6.635	7.366	10.842	13.375	15.152	13.833

*Yukarıdaki tablolar örnek olarak verilmiştir. Toplam 820 kesim vardır. Yukarıda rasgele seçilmiş 15 kesimin bağımsız değişkenleri ve bunlara ait regresyon katsayıları verilmiştir

ÖZGEÇMİŞ

Hakan Güler, 1972 yılında Kars'ta doğdu. Gebze Sarkuysan Lisesi'nden 1989 yılında mezun oldu ve İstanbul Teknik Üniversitesi Sakarya Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde eğitimine başladı. 1989-1990 yılları arasında İstanbul'da İngilizce hazırlık sınıfında okudu. 1995 yılında İnşaat Mühendisliği eğitimini tamamlayarak aynı yıl İ.T.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 1994-1996 yılları arasında özel bir kuruluştaki Proje ve Kontrol Mühendisi olarak çalıştı. 1996-1999 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 1998 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı ve İ.T.Ü.'de aynı bölümde Doktora eğitimine başladı. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2000-2001 yılları arasında Yedek Subay olarak askerlik hizmetini tamamladı. Halen İ.T.Ü.'de aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.