

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DE ESNEK ÜSTYAPI BOZULMALARININ ÇEVRE
ETKİLERİ GÖZ ÖNÜNE ALINARAK MODELLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Metehan İNCEGÜL**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Ulaştırma Mühendisliği

MAYIS 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DE ESNEK ÜSTYAPI BOZULMALARININ ÇEVRE
ETKİLERİ GÖZ ÖNÜNE ALINARAK MODELLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Metehan İNCEGÜL
501042403**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Nisan 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Mayıs 2010**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat ERGÜN (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Mustafa ILICALI (B.ŞEHİR Ü.)
Prof.Dr.Reha ARTAN (İTÜ)
Doç.Dr. Osman Nuri ÇELİK (SELÇUK Ü.)
Y.Doç.Dr. Şükriye İYİNAM (İTÜ)**

MAYIS 2010

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada danışmanım olmayı kabul eden ve engin bilgi birikimi ve desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Murat ERGÜN'e, tez çalışmasına beraber başladığımız ve erken yaşta aramızdan ayrılan çok değerli bilim adamı Prof. Dr. Güven ÖZTAŞ'a, tez izleme jürimde yer alan ve bu güne kadar yakın ilgi, bilgi birikimi ve desteklerini hiç eksik etmeyen Y. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM'a, yoğun iş temposuna rağmen değerli desteklerini eksik etmeyen Prof. Dr. Mustafa ILICALI'ya, Prof. Dr. Abdullah Hilmi LAV'a, motive edici desteğini bir an olsun çekmeyen Dr. Adem Faik İYİNAM'a, eğitimimin her aşamasında olduğu gibi bu çalışma süresince göstermiş oldukları destek, hoşgörü ve anlayış için aileme ve tez çalışmasına fikirleri ile destek olan herkese sonsuz teşekkür ederim.

Nisan 2010

Metehan İncegül

İnşaat Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Üstyapı Bozulmaları İle İlgili Önceki Çalışmalar.....	1
2. ESNEK ÜSTYAPILAR	3
2.1 Esnek Üstyapılarda Bozulma	3
2.2 Esnek Üstyapılarda Bozulmayı Etkileyen Faktörler	3
2.2.1 Trafik yükleri	3
2.2.2 İklim etkileri.....	5
2.2.3 Tasarım ve uygulama hataları	5
2.2.4 Bakım ve onarım eksikliği ile oluşan bozulmalar	5
2.3 Bozulma Tipleri.....	5
2.3.1 Çatlama	6
2.3.1.1 Yorulma çatlakları (timsah sırtı çatlaklar)	6
2.3.1.2 Blok çatlaklar	8
2.3.1.3 Boyuna çatlaklar	8
2.3.2 Dağılma.....	9
2.3.2.1 Oyuklar	9
2.3.3 Kalıcı deformasyonlar	10
2.3.3.1 Kuma	10
2.3.3.2 Yüzey cıalanması	11
2.3.3.3 Tekerlek izi	12
3. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ (ÜYS).....	13
3.1 Üstyapı Yönetim Sistemi Nedir?.....	13
3.2 Üstyapı Yönetim Sisteminin Amacı	13
3.3 Üstyapı Yönetiminde Etki Düzeyi Kavramı	14
3.4 Ağ Düzeyinde Üstyapı Yönetimi	14
3.4.1 Ağ düzeyi bilgi sistemi	15
3.5 Proje Düzeyinde Üstyapı Yönetimi.....	15
3.5.1 Proje düzeyi bilgi sistemi.....	16
3.6 Üstyapı Performansı	16
3.6.1 Performans tahmin modelleri.....	17
3.7 Geriye Dönük Üstyapı Verilerinin Toplanması	18
3.8 Düzgünlük.....	18
3.9 Düzgünlüğün Değerlendirilmesi	18

3.9.1 Mevcut hizmet seviyesi değerlendirmesi (PSR).....	18
3.9.2 Uluslararası pürüzlülük endeksi (IRI).....	19
3.9.3 Sürüş sayısı (RN)	19
3.10 Düzgünsüzlük Ölçüm Ekipmanları.....	19
3.10.1 Yüzey çubuğu (Dipstick).....	19
3.10.2 Yol yüzey profilometreleri	20
3.11 Ülkemizde Üstyapı Performansı Değerlendirme Çalışmaları	21
3.11.1 Defleksiyon ölçümleri	21
3.11.2 Performans gözlemleri	22
3.11.3 Profilometre	22
3.11.4 Kayma sayısı (Skid Resistance) ölçümü	23
4. ÜSTYAPI YÖNETİMİNDE KARAR DESTEK SİSTEMLERİ	25
4.1 Karar Destek Sistemleri Nedir?	25
4.1.1 Karar destek sistemlerinin bileşenleri	25
4.1.2 Karar destek sistemlerinin genel yapısı.....	25
4.1.3 Üstyapı yönetiminde karar destek sistemleri.....	26
4.2 Veri Ambarları (Data Warehousing).....	27
4.3 Veri Tabanı Nedir?.....	27
4.3.1 Veri tabanı yönetim sistemleri.....	27
4.3.2 Veri modelleri	28
4.3.3 İlişkisel veri tabanları.....	28
4.3.3.1 İlişkisel veri tabanının avantajları	29
4.4 İhtiyaca Uygun Veri Tabanı Seçimi.....	30
4.4.1 MySQL.....	30
4.4.1.1 MySQL tablo yapıları	30
4.4.1.2 MySQL istemcisi	31
4.5 Yapısal Sorgulama Dili (SQL)	31
4.5.1 SQL ile ilgili kavramlar.....	31
4.5.1.1 Data definition language (DDL)	31
4.5.1.2 Data manipulation language (DML)	31
4.5.2 Temel MySQL işlemleri.....	31
4.5.2.1 Veritabanı yaratmak	31
4.5.2.2 Tablo işlemleri	32
4.5.2.3 Veri işlemleri	32
4.5.3 ODBC kavramı ve veri tabanı bağlantıları.....	33
4.6 Coğrafi Bilgi Sistemleri.....	34
4.6.1 Coğrafi bilgi sistemlerinin özellikleri nelerdir?.....	35
4.6.2 Coğrafi bilgi sisteminin bileşenleri nelerdir?	35
4.6.2.1 Donanım	36
4.6.2.2 Yazılım	36
4.6.2.3 Veri	36
4.6.2.4 İnsanlar	36
4.6.2.5 Yöntemler	37
4.7 CBS Çalışma Organizasyonu	37
4.8 CBS Veri Yapıları.....	38
4.8.1 Raster veri yapısı.....	38
4.8.2 Vektör veri yapısı.....	39
4.9 ArcGIS Nedir?	39
4.9.1 Şekil dosyaları (Shape Files)	40
4.9.2 Topolojik veri setleri (Coverage).....	40

4.9.3 Katman dosyaları (Layer)	41
5. ÜSTYAPI BOZULMALARININ KARAR DESTEK SİSTEMİ İLE MODELLENMESİ	43
5.1 Veri Toplama	43
5.1.1 Meteorolojik veri	43
5.1.1.1 Basınç ölçen aletler	43
5.1.1.2 Sıcaklık ölçen aletler	45
5.1.1.3 Yağış ölçen aletler	46
5.1.1.4 Nem ölçen aletler	47
5.1.1.5 Güneşlenme ölçen aletler	49
5.1.2 Karar destek sistemine yönelik meteorolojik veri tabanı tasarımı	50
5.1.3 Trafik ve bozulma verileri	50
5.2 Karar Destek Sistemi Programının Arayüzü	52
5.2.1 Arayüz	52
5.2.2 Ana menü	54
5.2.3 Veri giriş menüsü	55
5.2.4 Meteorolojik veri girişi ve görüntüleme	56
5.2.5 Trafik değerleri	58
5.2.6 Coğrafi bilgi sistemi	60
5.2.7 Model verisi hazırlama	64
5.2.8 RN hesaplama ekranı	65
5.3 İklim Etkilerinin Harita Üzerinde Değerlendirilmesi	66
5.4 Bozulmaların Modellenmesi	71
5.4.1 Regresyon teriminin tarihçesi	71
5.4.2 Değişkenler arası ilişki	71
5.4.3 İlişkilerin serpilme diyagramı ile gösterimi	72
5.4.4 Doğrusal regresyon	74
5.4.5 Basit doğrusal regresyon	74
5.4.6 En küçük kareler yöntemi (EKKY)	75
5.4.7 Doğrusal regresyon analizi ile ilgili varsayımlar	76
5.4.8 Çoklu doğrusal regresyon	79
5.4.9 Regresyon denkleminin test edilmesi	81
5.4.10 Çoklu lineer bağımlılık	81
5.4.11 Hata terimleri arasında otokorelasyon	81
5.5 Çalışma Metodu ve Metodoloji	82
5.6 Varsayımların Sınanması	89
5.7 Çoklu Regresyon Çözümlemesi Sonuç Değerlendirmesi	93
5.8 Bulanık Mantık	95
5.8.1 Bulanık mantık nedir?	95
5.8.2 Bulanık düşünme	96
5.8.3 Üyelik fonksiyonları	97
5.8.4 Bulanık (fuzzy) sistemler	99
5.8.4.1 Bulanıklaştırma	99
5.8.4.2 Kural tabanı	99
5.8.4.3 Durulaştırma	99
5.8.5 Bulanık mantık ile modelleme	100
5.8.6 Kümeleme analizi	100
5.8.6.1 Klasik k-means algoritması	100
5.8.6.2 Bulanık c-means algoritması	101
5.8.6.3 “Subtractive Clustering” nedir?	101

5.9 Matlab Yazılımı	101
5.10 Bulanık Mantık Modeli	102
5.11 Bulanık Mantık Model Sonuçlarının Değerlendirmesi	106
5.12 Modellerin Sonuçlarının Karşılaştırılması	106
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR.....	113
EKLER	117
ÖZGEÇMİŞ.....	119

KISALTMALAR

AASHO	: American Association of State Highway Officials
API	: Application Programming Interface
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DBMS	: Database Management System
DDL	: Data Definition Language
DGMS	: Data Grid Management System
DMİGM	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DML	: Data Manipulation Language
DOS	: Disk Operating System
EDYS	: Eşdeğer Dingil Yüğü Sayısı
EKKY	: En Küçük Kareler Yöntemi
ESAL	: Equivalent Single Axle Load
ESRI	: Environmental Systems Research Institute
FCM	: Fuzzy C-Means
FWD	: Düşen Ağırlıklı Deflektometre
GUNSID	: Güneşlenme Değeri
IRI	: International Roughness Index
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
Km	: Kilometre
LAN	: Local Area Network
MAXSIC	: Maksimum Sıcaklık
MBMS	: Modelbase Management System
MINSIC	: En Düşük Sıcaklık
mm	: Milimetre
NCHRP	: National Cooperative Highway Research Program
ODBC	: Open Database Connectivity
ORBUL	: Ortalama Bulutluluk
ORKAR	: Ortalama Kar
ORNEM	: Ortalama Nem
ORSIC	: Ortalama Sıcaklık
PSR	: Present Serviceability Rating
RMSE	: Root Mean Square Error
RN	: Ride Number
SQL	: Stuructured Query Language
TB	: Terrabyte
TL	: Türk Lirası
TOPSIC	: Toprak Sıcaklığı
TOPYAG	: Yağış Miktarı
ÜYS	: Üstyapı Yönetim Sistemi
VIF	: Variance Inflation Factor
WAN	: Wide Area Network
YEDYS	: Yığışımli Eşdeğer Dingil Yüğü Sayısı
YOGT	: Yıllık Ortalama Günlük Trafik

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Avrupa'daki bazı ülkelerde maksimum dingil yükleri (ton).....	4
Çizelge 5.1 : Taşıt eşdeğerlik katsayıları.....	52
Çizelge 5.2 : Modelde kullanılan yol kesimleri.....	84
Çizelge 5.3 : Model analiz verileri.....	85
Çizelge 5.3 : (devam) Model analiz verileri.....	86
Çizelge 5.4 : Stepwise yöntemi sonuçları.....	87
Çizelge 5.5 : Modelde kullanılan veriler.....	88
Çizelge 5.6 : Model özeti.....	89
Çizelge 5.7 : Korelasyon değerleri.....	89
Çizelge 5.8 : ANOVA tablosu.....	90
Çizelge 5.9 : Katsayılar.....	90
Çizelge 5.10 : Normallik testleri.....	91

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Timsah sırtı çatlak (yakın).	7
Şekil 2.2 : Timsah sırtı çatlak (uzak).	7
Şekil 2.3 : Blok çatlak.	8
Şekil 2.4 : Boyuna çatlak.	9
Şekil 2.5 : Oyuklar (Potholes).	10
Şekil 2.6 : Kusma (Bleeding).	11
Şekil 2.7 : Yüzey cilalanması.	11
Şekil 2.8 : Tekerlek izi.	12
Şekil 3.1 : Etki düzeyi.	14
Şekil 3.2 : Üstyapı performans eğrisi.	17
Şekil 3.3 : PSR değerlendirme formu.	19
Şekil 3.4 : Dipstick.	20
Şekil 3.5 : Ultrasonik profilometri aracı (Url-1).	20
Şekil 3.6 : Lazer profilometre (Url-3).	21
Şekil 3.7 : Düşen ağırlıklı deflektometre.	22
Şekil 3.8 : KGM profilometre aracı.	23
Şekil 4.1 : ÜYS karar destek sistemi altyapısı.	26
Şekil 4.2 : Veritabanı ilişki türleri.	29
Şekil 4.3 : ODBC tanımlama arayüzü.	34
Şekil 4.4 : Coğrafi bilgi sisteminin bileşenleri (Delice, 2004).	35
Şekil 4.5 : CBS çalışma organizasyonu.	37
Şekil 4.6 : Raster ve vektör yapıları.	38
Şekil 4.7 : ArcMap arayüzü.	39
Şekil 4.8 : ArcCatalog arayüzü.	40
Şekil 4.9 : CBS katman şematığı.	41
Şekil 5.1 : Barograf.	44
Şekil 5.2 : Barometre.	44
Şekil 5.3 : Sıkletli barograf.	45
Şekil 5.4 : Metal barometre.	45
Şekil 5.5 : Termograf.	46
Şekil 5.6 : En düşük sıcaklık termometresi.	46
Şekil 5.7 : Plüviyometre.	47
Şekil 5.8 : Plüviyograf.	47
Şekil 5.9 : Higrometre.	48
Şekil 5.10 : Higrograf.	48
Şekil 5.11 : Psikometre.	49
Şekil 5.12 : Helyograf.	49
Şekil 5.13 : Aktinograf.	50
Şekil 5.14 : KGM bölge sorumluluk alanları.	51
Şekil 5.15 : Karar destek sistemi akış diyagramı.	53
Şekil 5.16 : Giriş ekranı.	54
Şekil 5.17 : Ana menü.	55

Şekil 5.18 : Veri giriş alt menüsü.....	55
Şekil 5.19 : Meteorolojik veri giriş ekranı.	56
Şekil 5.20 : Veri güncellemesi onay ekranı.	57
Şekil 5.21 : YOGT verisi ekranı.	58
Şekil 5.22 : Hatalı eşdeğerlik faktörü girişi uyarı ekranı.	59
Şekil 5.23 : Tematik veri hazırlama ekranı.	60
Şekil 5.24 : CBS görüntüleme ekranı.....	62
Şekil 5.25 : CBS harita (tekil değerler).....	63
Şekil 5.26 : Veri hazırlama giriş ekranı.....	64
Şekil 5.27 : Model verisi hazırlama ekranı.....	64
Şekil 5.28 : RN hesaplama ekranı.....	65
Şekil 5.29 : Minimum sıcaklık haritası.	66
Şekil 5.30 : Ortalama sıcaklık haritası.	67
Şekil 5.31 : Maksimum sıcaklık haritası.	67
Şekil 5.32 : Güneşlenme şiddeti haritası	68
Şekil 5.33 : Ortalama nem haritası.....	68
Şekil 5.34 : Ortalama kar haritası.	69
Şekil 5.35 : Toprak sıcaklığı haritası.	69
Şekil 5.36 : Ortalama yağış haritası.	70
Şekil 5.37 : Ortalama bulutluluk.....	70
Şekil 5.38 : Serpilme diyagramı ile korelasyon sayılarının gösterimi.	73
Şekil 5.39 : Regresyon doğrusu.	74
Şekil 5.40 : En küçük kareler yöntemi.	75
Şekil 5.41 : Korelasyon katsayıları (doğrusal ve eğrisel).....	77
Şekil 5.42 : Normal dağılımlı bağımlı değişken.	77
Şekil 5.43 : Standart sapmaların birbirine eşitliği.....	78
Şekil 5.44 : Seçilen yollar-Kastamonu-Çankırı-Amasya-Samsun.....	83
Şekil 5.45 : Seçilen yollar- Bilecik-Ankara-Eskişehir-Afyon.	83
Şekil 5.46 : RN normal dağılım.	92
Şekil 5.47 : RN kutu dağılım.	92
Şekil 5.48 : Minimum sıcaklığın bozulmalar üzerine etkisi.....	94
Şekil 5.49 : Güneşlenme şiddetinin bozulmalar üzerine etkisi.....	94
Şekil 5.50 : Yağışın bozulmalar üzerine etkisi.	95
Şekil 5.51 : Klasik mantık bakış açısı ile değerlendirme.	97
Şekil 5.52 : Bulanık mantık bakış açısı ile değerlendirme.....	97
Şekil 5.53 : Üçgen üyelik fonksiyonu.	98
Şekil 5.54 : Yamuk üyelik fonksiyonu.....	98
Şekil 5.55 : S şeklinde üyelik fonksiyonu.	98
Şekil 5.56 : Gaussian üyelik fonksiyonu.	98
Şekil 5.57 : Bulanık sistem.	99
Şekil 5.58 : Bulanık modelin genel yapısı.....	102
Şekil 5.59 : Bulanık modelin ana yapısı.....	103
Şekil 5.60 : Ölçülen ve tahmin bulanık mantık değerlerin karşılaştırılması.	104
Şekil 5.61 : Bulanık mantık serpilme diyagramı.	105
Şekil 5.62 : Ölçüm değerleri ve fuzzy model sonuçlarının karşılaştırılması.....	106
Şekil 5.63 : Ölçüm değerleri ve regresyon model sonuçlarının karşılaştırılması.	107
Şekil 5.64 : Regresyon ve bulanık mantık modellerinin sonuç karşılaştırması.	108

TÜRKİYE’DE ESNEK ÜSTYAPI BOZULMALARININ ÇEVRE ETKİLERİ GÖZ ÖNÜNE ALINARAK MODELLENMESİ

ÖZET

Günümüzde bilgisayar ve bilişim sistemlerinin hayatımızdaki yeri giderek güçlenmektedir. Bilişim sistemleri, diğer alanlarda olduğu gibi, İnşaat Mühendisliği’nde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mühendislik uygulamalarında bilişim sistemlerinin kullanımı, diğer alanlarda olduğu gibi, veri saklama, işleme ve değerlendirme süreçlerinde vazgeçilmez bir organ haline gelmiştir.

Hızlı, doğru ve uygulanabilir karar almada, konuya uygun bir yazılımın rolü tartışılmazdır. Yazılım geliştirmek ve uygulamak için programcılık bilgisi tek başına yeterli olmamaktadır. Efektif sonuçlar uygulama geliştirilecek konu hakkında uzmanlaşmış programcılar tarafından geliştirilen sistemler sayesinde alınabilir.

Bu çalışmada, Türkiye ikliminin esnek üstyapı bozulmalarına etkileri incelenmiş, Devlet Yolları için, trafik değerleri, meteorolojik veriler ve bozulma verilerini içeren geniş bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanında 1993–2007 yılları arasında tüm Devlet Yolları’na ait yıllık ortalama günlük trafik değerleri her kesim no için, otomobil, otobüs, kamyon ve treyler olmak üzere ayrı ayrı veri tabanına işlenmiş durumdadır. Ayrıca, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden alınan meteorolojik veriler ve Karayolları Genel Müdürlüğü’nden alınan yol bozulma verileri de adı geçen veri tabanında yer almaktadır.

Çalışma içerisinde bir karar destek sistemi yaratılarak, yolun etkisi altında kaldığı trafik yükü ve iklim verilerinin beraber kullanıldığı bir bozulma tahmin regresyon modeli geliştirilmiştir. Ayrıca bulanık mantık kullanılarak modele esas olan veriler değerlendirilmiş ve modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Geliştirilen regresyon modeli yardımı ile herhangi bir ilde bulunan esnek üstyapılı bir Devlet Yolu için bozulma verileri tahmin edilebilmektedir. Bununla beraber, karar destek sisteminde oluşturulan yazılım arayüzünün coğrafi bilgi sistemi ile entegrasyonu sağlanmış olup, verilerinin tematik haritalar üzerinde gösterimi yapılabilmektedir.

MODELING OF FLEXIBLE PAVEMENT DETERIORATIONS IN TURKEY CONSIDERING ENVIRONMENTAL EFFECTS

SUMMARY

Recently, the role of personal computers and information technology in our lives has become more important. Similar to other scientific areas, for civil engineering application, the use of information technology has an immense power when data storage, process, and evaluation are concerned.

The role of suitable, user-friendly software is essential for a fast, accurate, and applicable decision making process. Programming knowledge will not be sufficient by itself to develop a useful software application. An effective result can be achieved by an interface, programmed by an expert in the field of study.

In this study, the effect of Turkey's climate on pavement deterioration was analyzed. A database including the traffic loads, meteorological and flexible pavement deterioration data was created. This database consists of meteorological data, which was taken from the Turkish State Meteorological Service. The average daily traffic volume data was gathered for existing roads, for the period beginning in 1993 through 2007. This data includes automobile, bus, truck, and trailer vehicle types and deterioration data collected from the General Directorate of Highways.

Decision support system software was developed, and a model for deterioration prediction was formed by using regression analysis of traffic loads and climate factors. In addition, model data was evaluated by Fuzzy Logic, and results are compared. Therefore, the pavement deterioration can be predicted for any existing flexible pavement within Turkey.

Geographical information system integration is also accomplished. Desired thematic maps can be created and detailed information can be visualized by the decision support interface developed.

1. GİRİŞ

Ülkemizde yol yapım, bakım-onarım, işletme faaliyetleri 1950 yılında kurulmuş olan Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yürütülmektedir. Kurulduğu yılda KGM, 24306 Kilometre (Km) Devlet Yolu, 22774 Km İl Yolu olmak üzere toplam 47080 Km yol ağından sorumlu iken, günümüzde (2009 yılı verilerine göre), 31311 Km. Devlet Yolu, 30312 Km İl Yolu, 2010 Km Otoyol olmak üzere toplam 64033 Km ye ulaşmıştır (KGM, 2009a). Yollarda yapılan bakım, onarım ve ölçüm çalışmaları, her yıl bütçeden hatırı sayılır bir pay almaktadır. 2008 yılında bakım için harcanan bütçe 194.203.069 Türk Lirası (TL) olarak gerçekleşmiştir (KGM, 2009b).

Yol bozulmalarında trafik yükü etkisi ile beraber yolun bulunduğu bölgenin iklim koşulları da önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Türkiye ikliminin esnek yol üstyapısı bozulmaları üzerindeki etkisinin, Devlet Yolları temel alınarak, oluşturulan veri tabanı ve karar destek sistemi yardımı ile modellenmesi ve iklim verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile entegrasyonu üzerine çalışılmıştır. KGM tarafından gerekli tüm yol ölçümlerinin donanım ve yetişmiş eleman eksikliği sebebi ile yapılamadığı göz önüne alındığında, tez sonucu olarak ortaya konan üstyapı düzgünsüzlük tahmin modeli ile üstyapıların bozulma değerlerinin iklim etkisi de göz önüne alınarak önceden tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

1.1 Üstyapı Bozulmaları İle İlgili Önceki Çalışmalar

Bozulmalar ile ilgili çalışmalar, Parkhilovski (1968) ile yollardaki düzgünsüzlüğün güç yoğunluğu fonksiyonunun incelenmesi ile başlamıştır. Daha sonra, Jung, Kher ve Phang trafik yükleri ve çevresel etkilerin bozulmaların ana sebebi olduğu tezi ile bir model geliştirmiştir. Bu çalışmada yolun etkisi altında kaldığı yük nedeni ile meydana gelen bozulmalar, Brampton test yolu bozulmalarından elde edilen çevresel etki alt modeli ile birleştirilmiştir (Jung ve diğ., 1976). Kohn ve Shanin (1982), tarafından geliştirilen PAVER sistemi ile üstyapının mevcut durumunun belirlenmesi, bakım-onarım ihtiyaçlarının planlaması sağlanmıştır.

Bu çalışma, veri saklama, sorgulama, yol ağı belirleme, üstyapı performansı ve bakım ihtiyacının belirlenmesi ile ilgili bir yönetim sistemi ortaya koymuştur (Kohn ve Shanin,1982). Hayek ve diğ. (1987), bilgi tabanlı bir uzman sistem geliştirmiştir. “ROSE” adlı sistem soğuk bölgelerde asfalt betonu çatlak bakımı amacı ile geliştirilmiştir. Aynı yıl, Ritchie ve diğ. (1987), esnek üstyapı yüzey özelliklerini inceleyen ve “SCEPTRE” adı verilen bir uzman sistem geliştirmiştir. Bu sistem bir mikro bilgisayar yardımı ile esnek üstyapılar için yüzey ölçümü ve değerlendirmesi yapılması ve sonuçların proje düzeyi bakım yönetim sistemi planlamasında kullanılması amacı ile tasarlanmıştır. Aynı dönemde Haas ve Shen (1987), “PRESERVER” isimli bir uzman sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem beklenen servis ömrü boyunca yıllık maliyetleri ana ölçüt olarak kabul etmekte ve bakım yöntemini belirlemektedir. Bir yıl sonra Fransa’da Allez ve diğ. (1988) tarafından, üstyapılarda uygun bakım yöntemi seçimi yapmak üzere “ERASME” adı verilen bir uzman sistem geliştirilmiştir. ERASME, mevcut durum değerlendirmesi ve ileriye dönük bakım onarım planlaması yapabilmek üzere tasarlanmış bir uzman sistemdir. Ross ve diğ. (1992), esnek üstyapıların iyileştirme çalışmalarında kullanılmak üzere bir uzman sistem geliştirmişlerdir. PARES adı verilen bu sistem, New Mexico’da üstyapı bakım onarım planlamasında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. İyınam (1997), Türkiye’de karayollarında üstyapı bakım metodolojisini incelemiş ve üstyapı yönetim sistemi Türkiye uygulaması üzerine tahmin modeli oluşturmuştur. Gülen ve diğ. (2001) üstyapının yaşı, trafik değerlerine bağlı bir regresyon modeli geliştirmiştir. Terzi, (2004), Türkiye için bir üstyapı yönetim sistemi geliştirmiştir. Terzi, bulanık mantık modelinde girdi verisi olarak, mekanistik ölçüm gerektirmeyen verileri kullanmış, sonuçları ikinci modelin girdi verisi olarak değerlendirip toplam model çıktısı olarak hizmet yeteneği endeksi değerini elde etmiştir. Aynı yıl, Abaza ve diğ. (2004) bir üstyapı bakım onarım sistemi geliştirmişlerdir.

Daha sonra yapılan çalışmalar incelendiğinde, Türkiye ile ilgili, iklim etkileri, trafik değerleri, coğrafi bilgi sistemi ve bozulma tahmin modellemesi üzerine bütünleşik bir karar destek sistemine rastlanmamıştır. Bu çalışmada bu karar destek sistemi oluşturulmuş ve esnek üstyapı bozulmalarında Türkiye iklim verileri ve trafik değerleri kullanılarak esnek üstyapı bozulma tahmin modeli geliştirilmiştir.

2. ESNEK ÜSTYAPILAR

Esnek üstyapılar, tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan, üzerine gelen trafik yüklerini kaplama, temel ve alttemel tabakaları yolu ile taban zeminine dağıtan ve bitümlü kaplama tabakaları ile oluşturulan yol üstyapılarıdır (İlıcılı ve diğ., 2001).

2.1 Esnek Üstyapılarda Bozulma

Bozulma, üstyapının özgün fiziksel koşullarından herhangi bir şekilde sapması olarak değerlendirilebilir (İyınam, 1997). Bir esnek yol üstyapısı ilk inşa edildiğinde servis yeteneği en üst seviyesindedir. Yolun kullanıma açılması ile yol yüzeyine etkileyen trafik yükleri ve iklim etkilerinin bir araya gelmesi sonucu bozulmalar başlar (Ongel ve Harvey, 2004).

2.2 Esnek Üstyapılarda Bozulmayı Etkileyen Faktörler

Bozulma, üstyapının tasarım hataları, yanlış malzeme seçimi, yapım aşamasında yetersiz sıkıştırma, trafik yükleri, çevresel etkiler ve yetersiz bakım onarım çalışması gibi etkenlerin bir ya da bir kaçının bir araya gelmesi ile ortaya çıkmaktadır.

2.2.1 Trafik yükleri

Yurdumuzda inşa edilmiş olan yollar, 8,2 ton dingil yükü değerine göre projelendirilmiştir. Önce dingil yükü 10 tona, daha sonra da 13 tona çıkartılmıştır. 26 Ekim 1996 gün 22829 sayılı resmi gazetede yayımlanan yönetmelikle dingil yükü 13 tondan 11,5 tona indirilmiştir (Hatipoğlu,1998).

Avrupa'daki bazı ülkelerde dingil yükleri Çizelge 2.1 de gösterilmiştir. Artan dingil yüklerine yolu kullanan sürücülerin bu limitlerin üzerinde yük yükleme eklenince, yol üzerine etkileyen toplam yüklerde artış ve bunun sonucu olarak beklenenden hızlı bozulma meydana gelmektedir.

Çizelge 2.1 : Avrupa'daki bazı ülkelerde maksimum dingil yükleri (ton).

ÜLKE	Aks Başına	2 Aks	3 Aks	4 Aks	5 + Aks
AVUSTURYA	11,5	18	26	36	40
AZERBAYCAN	10	18	24	36	42
BELÇİKA	12	19	26	39	44
BOSNA	11,5	19	26	38	40
BULGARİSTA	11,5	18	26	36	40
HIRVATİSTAN	11,5	18	24	36	40
ÇEK CUM.	11,5	18	26	36	44
DANİMARKA	11,5	18	26	38	42 / 48
ESTONYA	11,5	18	26	36	40
FİNLANDİYA	11,5	18	26	36	44 / 60
FRANSA	13	19	26	38	40
ALMANYA	11,5	18	26	36	40
YUNANİSTAN	13	19	26	33	40
MACARİSTAN	11,5	18	25	30	40
İTALYA	12	18	26	40	44
İSPANYA	11,5	18	26	36	40
İSVEÇ	11,5	18	26	38	48 / 60
İSVİÇRE	11,5	18	26	36	40
TÜRKİYE	11,5	18	25 / 26	36	40
İNGİLTERE	11,5	18	26	36	40

2.2.2 İklim etkileri

Yol üstyapıları, yolun etkisi altında kaldığı trafik yüklerinin yanı sıra yağış, sıcaklık, güneş etkileri ve benzeri iklim etkileri sebebi ile de bozulmaktadır. Bu çalışmada üstyapılardaki bozulmaya etki eden bu unsurlar detaylı olarak incelenmiştir.

2.2.3 Tasarım ve uygulama hataları

Yolun yapılacağı güzergahtaki taban zemini taşıma gücü ile ilgili çalışmaların yeterince sık aralıkla yapılmaması, ölçme hataları, sanat yapılarının uygun projelendirilmemesi ve konumlandırılmaması, diğer projelendirme hataları, uygulamada yetersiz karıştırma, sıkıştırma gibi sebepler sonucu yollar beklenenden daha çabuk bozulmaktadır.

2.2.4 Bakım ve onarım eksikliği ile oluşan bozulmalar

Yağmur ve eriyen kar suları yol yüzeyinden olabildiğince çabuk uzaklaştırılmalıdır. Yollarda, özellikle banketlerde temizliğe özen gösterilmemesi, buzlanmaya karşı doğru yapılmayan müdahaleler, yol gövdesi ve sanat yapılarının bakım ve onarımlarının zamanında ve uygun olarak yapılmaması sonucu üstyapılar beklenenden daha çabuk bozulabilmektedir.

2.3 Bozulma Tipleri

Trafik dingil yükleri üstyapı tabakalarında gerilmeye ve deformasyona yol açmaktadır. Tekrar eden yükler altında bu gerilmeler yol üstyapısında bozulmaya sebep olurlar.

Bununla beraber bozulma üzerinde yolun etkisi altında kaldığı iklim değişkenleri de etkili olmaktadır.

Üstyapı bozulmaları başlıca üç ana sınıfta toplanabilir (İyınam, 1997). Bunlar:

1. Çatlama
2. Dağılma
3. Kalıcı deformasyondur.

İyınam (1997), bakım ile ilgili planlama amacına yönelik olarak en önemli bozulma tiplerini aşağıdaki şekilde belirlemiştir:

1. Çatlama
2. Sökölme
3. Oyuk oluşması
4. Kayma direnci kaybı
5. Tekerlek izi oluşumu
6. Geometrik düzgünsüzlüğün azalması

2.3.1 Çatlama

Çeşitli sebeplerle üstyapıda oluşan çatlamlar ya da kırılmalar bu gurubu oluşturmaktadır. Başlıca türleri yorulma çatlakları (timsah sırtı çatlaklar), blok çatlaklar, boyuna çatlaklardır.

2.3.1.1 Yorulma çatlakları (timsah sırtı çatlaklar)

Yol üstyapısında görülen, “yorulma çatlakları” olarak adlandırılan, tekrarlı trafik yükleri altında ortaya çıkan bozulma türüdür.

Tekrarlı yükler altında boyuna çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlaklar enine oluşan çatlaklarla birleştiğinde çokgen parçalar halinde bir görüntü ortaya koymaktadır. (Şekil 2.1). Bu şekillenmenin timsah sırtına benzemesi sebebi ile bu bozulma türüne “timsah sırtı çatlak” adı da verilmektedir (Şekil 2.2).

Çapları 300 milimetreden (mm) daha küçük olanlara timsah sırtı çatlak, 300 mm den daha büyük olanlara harita şeklinde çatlak adı verilir (İyınam, 1997). Yol üzerinde tasarımda projeye esas alınandan daha ağır taşıtların seyir etmesi bu bozulma türünün ortaya çıkma nedenlerinden biridir (Url-1).



Şekil 2.1 : Timsah sırtı çatlak (yakın).



Şekil 2.2 : Timsah sırtı çatlak (uzak).

2.3.1.2 Blok çatlaklar

Boyları 0,1 m² ile 10 m² arasında değişen, üstyapıyı dikdörtgen sayılabilecek parçalara bölen bozulma türüdür (SHRP, 2003). Bu bozulma türü Şekil 2.3 de gösterilmiştir (Url-1).



Şekil 2.3 : Blok çatlak.

2.3.1.3 Boyuna çatlaklar

Bir tür yorulma çatlağı türüdür. Boyuna çatlaklar yol eksenini boyunca görülmektedir (Şekil 2.4). Boyuna çatlak olan yerlerde yüzey suları alt tabakalara sızarak timsah sırtı çatlaklar için zemin oluşturmaktadır.



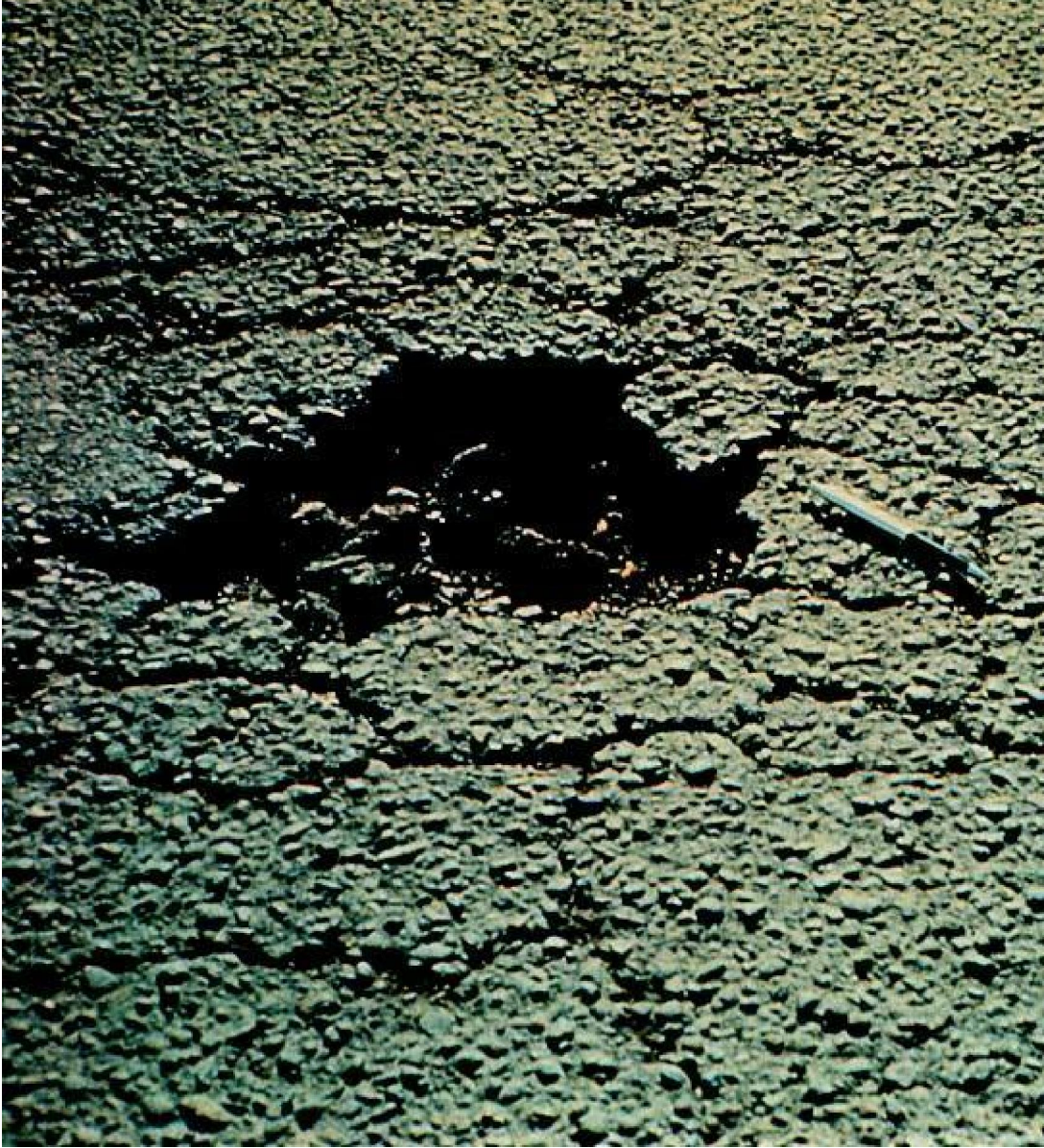
Şekil 2.4 : Boyuna çatlak.

2.3.2 Dağılma

Üstyapı yüzeyinden agrega parçacıklarının kaybı, kenarlardaki kırılmalar sonucu oluşan parçacıkların üstyapıdan ayrılması ve yol yüzeyinde meydana gelen oyuklar bu grubu oluşturmaktadır.

2.3.2.1 Oyuklar

Genellikle yorulma çatlakları sonucu, timsah sırtı çatlakların sıklaşarak, ana gövdeden ayrılabilen parçaların kopması sonucu meydana gelmektedir (Şekil 2.5). Oyuklar, yüzey sularının daha alt tabakalara geçmesine sebep olduğu gibi, yüksek hızlarda seyreden araçlarda tekerlek ve jant hasarına neden olarak trafik güvenliğinin de tehlikeye girmesine sebep olmaktadır.



Şekil 2.5 : Oyuklar (Potholes).

2.3.3 Kalıcı deformasyonlar

2.3.3.1 Kuma

Hava sıcaklığının sonucu olarak ortaya çıkan bir bozulma türüdür. Sıcaklık etkisi ile bitümlü bağlayıcı yol yüzeyi yönünde genişler. Ancak, hava soğuyunca bu olay aksi yönde gerçekleşmez, yani kalıcıdır. Zamanla bitümlü bağlayıcı yol yüzeyinde birikir. Bu birikim yol yüzeyinde cam benzeri bir yansıma tabakası oluşturur (Şekil 2.6). Bu şekilde gerçekleşen bozulmalara kuma adı verilmektedir.



Şekil 2.6 : Kusma (Bleeding).

2.3.3.2 Yüzey cilalanması

Aşınma tabakasındaki agreganın zamanla ve tekrarlı trafik yükleri altında sivriliğini ve köşeli yapısını kaybederek yuvarlaklaşması sonucu ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.7). Yüzey cilalanması kayma direncinde azalmaya sebep olmaktadır.



Şekil 2.7 : Yüzey cilalanması.

2.3.3.3 Tekerlek izi

Trafik yükleri altında, yapım aşamasında yetersiz sıkıştırma, asfalt betonu karışımında gerekenden fazla filler ya da az agrega kullanılması durumlarında ortaya çıkan bir bozulma türüdür (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : Tekerlek izi.

3. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ (ÜYS)

3.1 Üstyapı Yönetim Sistemi Nedir?

Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS), yolu kullanan sürücülere düzgün ve güvenli bir sürüş sağlanması, üstyapı durumunun eldeki bütçe olanakları en ekonomik şekilde kullanılarak istenilen seviyeye getirilmesi, karar vericilerin bakım onarım çalışmaları için en uygun yöntemi belirlemesi amacı ile yapılan aktiviteler bütünüdür.

3.2 Üstyapı Yönetim Sisteminin Amacı

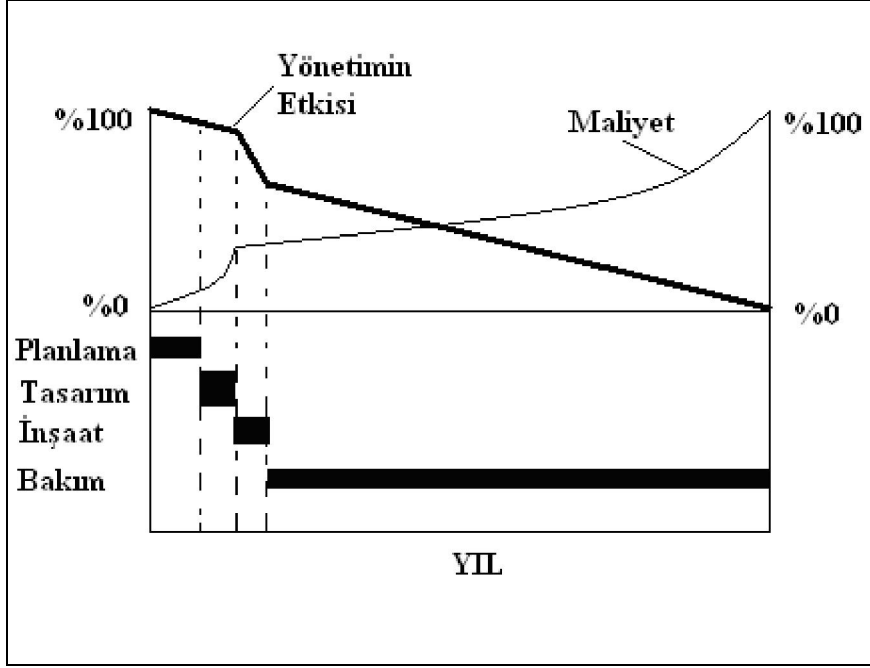
Bir ülkenin gelişmişliğinin ana göstergelerinden biri yol ağıdır. Trafik ve iklim etkileri altında bozulan yollar, ekonomiye direk ve dolaylı olarak etki etmektedir. Ülkemizde ulaşım, çok büyük bir oranda karayolu ile yapılmaktadır. Başarılı bir üstyapı yönetim sistemi, eldeki bütçe olanakları çerçevesinde, hangi bakım ve iyileştirme yönteminin uygun olduğu kararını verme ve kaynakları amaca uygun projelerde değerlendirme amacını taşımalıdır. Haas ve diğ. (2004) bir üstyapı yönetim sisteminin;

1. Yeni yöntemlere ve verilere çabuk adapte edilebilen;
2. Alternatif stratejileri değerlendirebilen;
3. Değerlendirdiği stratejiler içerisinde fayda maliyet oranı en yüksek olanı belirleyen;
4. Verilen kararların sonuçlarından elde edilen geri dönüşleri değerlendirebilen;

yapılar olmaları gerekliliğini ortaya koymuştur. Bir üstyapı yönetim sistemi, ağ düzeyi (network level) ve proje düzeyi (project level) olarak iki bölümden oluşmaktadır. Ağ düzeyinde bütçe kısıtları içerisinde oluşturulan çalışma planlaması, proje düzeyinde uygulamaya konur. Bir üstyapı yönetim sisteminin ana amacı üstyapı performansını olabildiğince istenilen seviyede tutmaktır.

3.3 Üstyapı Yönetiminde Etki Düzeyi Kavramı

Bir proje, planlama aşamasından başlayarak, tasarım, inşaat süreci ve tüm hizmet ömrü boyunca yapılacak bakım onarım uygulamalarını içerir. Projenin başlangıç aşamasında, yapıma karar verilmesi ya da verilmemesi senaryolarına cevap aranır. Bu aşamada yapıma karar verilmesi durumunda, süreç üzerindeki yönetimin etkisi ve maliyet arasındaki ilişki Şekil 3.1 de gösterilmiştir (Haas ve diğ., 1997).



Şekil 3.1 : Etki düzeyi.

3.4 Ağ Düzeyinde Üstyapı Yönetimi

Ağ düzeyinde yönetimin temel amacı, bütçe kısıtları içerisinde kalmak şartı ile bir bakım öncelik planı ve iş takvimi oluşturmaktır (Haas ve diğ., 1994). Ağ düzeyi yönetim seviyesinde;

1. Veri toplama,
2. Kabul edilebilir en düşük hizmet seviyesinin belirlenmesi,
3. Bozulma tahmin modellerinin uygulanması,
4. Mevcut ve gelecekteki ihtiyaçların belirlenmesi ve bütçe ihtiyacı çalışmaları,
5. Alternatiflerin belirlenmesi, öncelik programının oluşturulması ve iş takviminin çıkartılması yer alır.

3.4.1 Ağ düzeyi bilgi sistemi

Bir sistemin analizinde temel olan bilgi toplamak ve değerlendirmektir. Ağ düzeyinde bilgilerin toplanmasında yapılacaklar kısaca şöyledir (Haas ve diğ., 1997):

1. Üstyapının hangi verilerinin ölçüleceğinin, ölçüm yöntemlerinin kararlaştırılması, kullanılacak ekipman ile hangi verilerin saklanacağına kararlaştırılması;
2. Yol ağındaki homojen bölgelerin belirlenmesi;
3. Seçilen bölgeler hakkındaki geometrik karakteristiklerin belirlenmesi;
4. Trafik ölçüm verilerinin elde edilmesi;
5. İnşaat bakım maliyetlerinde birim fiyatların oluşturulması;
6. Yapısal kapasite ile ilgili ölçümlerin gerçekleştirilmesi, sürüş kalitesi, yüzey özellikleri, kayma direnci bilgilerinin elde edilmesi;
7. Ulaşılabilir müteahhit, malzeme ve ekipman planlamasının yapılması;
8. Bakım için gerekli olan kararı vermek için üstyapı durumu ile ilgili kritik değerlerin belirlenmesi;
9. Elde edilen verilerin değerlendirme ve sonraki kullanımlar için veri tabanına aktarılması;

3.5 Proje Düzeyinde Üstyapı Yönetimi

Proje seviyesi, detaylı tasarım kararlarının alınması, çevresel etkiler, malzeme özellikleri, inşaat süreçleri gibi teknik konularla ilgilenir. Ayrıca, toplanan verilerin hangilerinin ne şekilde kullanılacağı belirlenir. Başarılı bir üstyapı yönetim sisteminde en az maliyetle en fazla faydanın sağlanması temel amaç olduğundan, yolu kullanan sürücülerin memnuniyetinden ödün vermeden optimum çözüm stratejileri bu aşamada geliştirilmektedir.

Proje düzeyinde eskiden elde edilen verilerin değerlendirilmesinin yanında, üstyapının durumunu belirlemek amacı ile düzgünsüzlük, tahribatlı ve tahribatsız deneyler ve kayma direnci ölçümleri yapılabilir (Terzi, 2004).

3.5.1 Proje düzeyi bilgi sistemi

Proje ile ilgili en doğru ve uygun kararın verilebilmesi için detaylı verinin toplanması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak bu şekilde çalışmalar sağlıklı olarak yürüyebilir ve uygulama sonuçlarında başarı elde edilebilir. Haas ve diğ., (1994) bu amaçla yapılacak çalışmaları şu şekilde sınıflandırmıştır:

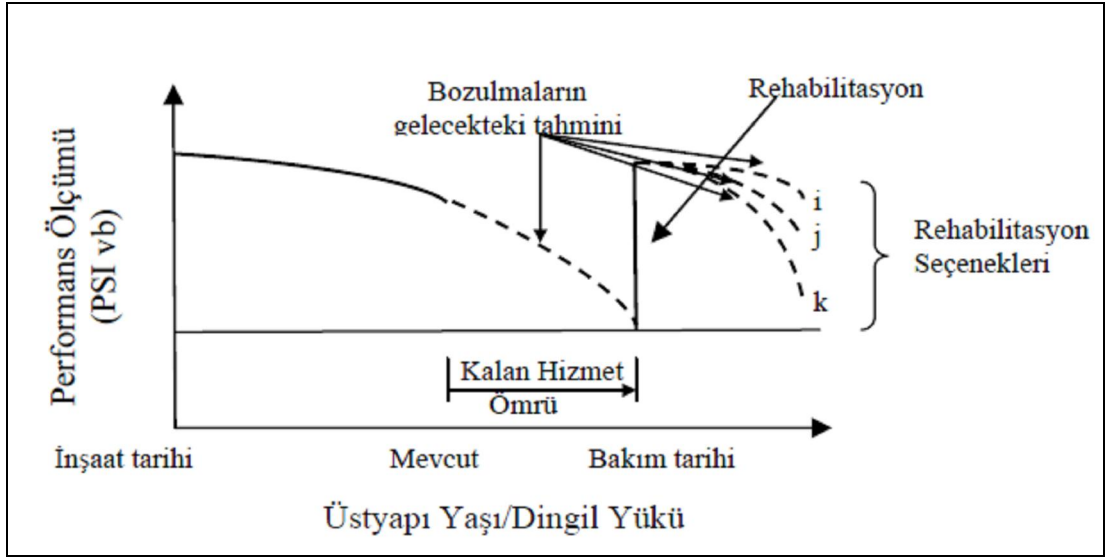
1. Projeye konu olan üstyapı için gerekli kesimlerin ve uzunluklarının belirlenmesi;
2. Üstyapıya ait ölçümlerin gerçekleştirilmesi:
 - a. Yol geometrisi ile ilgili ölçümler;
 - b. Trafik yükleri ve eşdeğer dingil yüklerinin belirlenmesi;
 - c. Yapısal durum ile ilgili bozulma verilerinin toplanması;
3. Malzeme yapısı ile ilgili laboratuvar ölçümleri;
4. İnşaat sürecine yönelik birim maliyetlerin elde edilmesi;
5. Üstyapı bozulmaları ile ilgili verilerin alt ya da üst sınırlarının belirlenmesi;
6. Meteorolojik verilerin toplanması;
7. Bakım onarım çalışmaları ile ilgili diğer verilerin toplanması;
8. Konu ile ilgili verilerin uygun formatlara çevrilerek sayısal ortamlarda saklanması;

3.6 Üstyapı Performansı

Yol üstyapıları sürücülere, güvenli, konforlu, düzgün bir sürüş sağlamak amacı ile inşa edilirler (Haas ve diğ., 2004). İklim ve trafik yükleri altında, zaman içerisinde bozulan yollar, bakım ve onarım çalışmaları sonucunda istenilen servis düzeyine ulaşırlar. Üstyapı performans değerlendirmeleri, üstyapı hakkında gerekli bilgiyi elde etmek veya yeni açılan bir yolun kontrol edilmesi amacı ile yapılmaktadır (Göktepe ve diğ., 2005).

Üstyapıların hepsinin aynı zaman diliminde incelenmesi olası olmadığından, daha sonraki bir zaman dilimi için yol üstyapısının durumunun tahmin edilmesi gerekmektedir. Her hangi bir zaman dilimi için, performans eğrileri kullanılarak tahmin yapılabilir (Terzi, 2004).

Bir üstyapı kesiminin, daha sonraki bir zaman diliminde ihtiyaç duyabileceği bakım ile ilgili kestirimleri yapabilmek için kullanılabilecek performans eğrisi Şekil 3.2 de gösterilmiştir (Terzi, 2004).



Şekil 3.2 : Üstyapı performans eğrisi.

3.6.1 Performans tahmin modelleri

Performans tahmin modellerini dört ana grupta toplanmıştır (Haas ve diğ., 1997):

1. Mekanistik: Üstyapının gerilme, şekil değiştirme davranış parametrelerine bağlıdır.
2. Mekanistik-Ampirik: Üstyapı davranışının, ölçülen yapısal ya da fonksiyonel bozulmalarla olan regresyon eşitliği ilişkisi üzerine kuruludur.
3. Regresyon: Üstyapı bozulmalarının ölçülmesi ile elde edilen bağımlı değişkenin, trafik yükleri, iklim faktörleri gibi bağımsız değişkenlerle olan ilişkisi üzerinedir.
4. Sübjektif: Bozulma tahmin modelleri gibi tecrübeye dayalı olan yöntemdir.

3.7 Geriye Dönük Üstyapı Verilerinin Toplanması

Başarılı bir üstyapı yönetim uygulamasında, üstyapının geçmiş verilerine sahip olmak önem taşımaktadır. Yapılacak olan işe göre veri gereksinimi değişiklik gösterse de, bazı temel bilgilere her zaman ihtiyaç duyulacaktır. Üstyapının inşaat süreci ve hizmete açılması ile ilgili tarihler, hizmete açıldığından bu yana yapılan bakım onarım faaliyetleri ile ilgili detaylı bilgi ve yolun etkisi altında kaldığı trafik ile ilgili veriler doğru bakım onarım kararlarının alınmasında hayati öneme sahiptir. Yol üstyapısının etkisi altında kaldığı trafik yüklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bu değerler, veri tabanında hem Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT), hem de Eşdeğer Dingil Yüğü Sayısı (EDYS) olarak kaydedilmelidir (Terzi, 2004). Bu tez çalışması kapsamında oluşturulan karar destek sisteminin altyapısında bulunan veri tabanında da kayıtlar bu şekilde oluşturulmuştur.

Üstyapı ile ilgili geçmiş bilgiler, ilgili bakım onarım kararının verilebilmesi için gerekli ancak yeterli olmamaktadır. Üstyapının mevcut hizmet yeteneği seviyesinin de değerlendirilmesi gereklidir. AASHO yol deneyi ile ilgili araştırmalar, hizmet yeteneği ile ilgili bilginin yaklaşık olarak %95 oranında yol yüzey profilinin düzgünsüzlüğünden kaynaklandığını ortaya koymaktadır (İyınam, 1997).

3.8 Düzgünsüzlük

Geometrik düzgünsüzlük, yol yüzeyinin taşıt dinamiği, sürüş kalitesi, dinamik drenajı etkileyen, gerçek bir düzlemsel yüzeyden sapmaları şeklinde tanımlanır (İyınam ve diğ., 2000).

3.9 Düzgünsüzlüğün Değerlendirilmesi

3.9.1 Mevcut hizmet seviyesi değerlendirmesi (PSR)

1962 yılında AASHO tarafından gerçekleştirilen yol testleri sırasında, mevcut hizmet yeteneği değerlendirmesi tanımlanmış ve uygulanmıştır. Yöntem, yolu kullanan sürücülerin yolun sürüş kalitesi ile ilgili gözlemlerini değerlendirmeleri üzerine geliştirilmiştir. Yönteme göre sürücüler, yol ile ilgili değerlendirmelerini, 5 en iyi yol durumunu, 0 ise en kötü yol durumunu belirtmek üzere, 0–5 arasında bir sayı ile ifade etmişlerdir. Bu yöntemde kullanılan değerlendirme formu Şekil 3.3 de görülmektedir.

Acceptable?		5		Very Good
Yes	☐	4		Good
No	☐	3		Fair
Undecided	☐	2		Poor
		1		Very Poor
		0		
Section Identification _____		Rating		
Rater _____	Date _____	Time _____	Vehicle _____	

Şekil 3.3 : PSR değerlendirme formu.

3.9.2 Uluslararası pürüzlülük endeksi (IRI)

1982 yılında Brezilya’da, uluslararası yol düzgünsüzlükleri deneyi, “International Road Roughness Experiment” gerçekleştirilmiştir (Sayers ve diğ.,1986). Deneyde yol üzerindeki araçlara yerleştirilen ölçüm aletleri verilerine dayanarak, bir matematik model olan IRI duyurulmuştur (Shanin, 2005).

3.9.3 Sürüş sayısı (RN)

1980 yılında “National Cooperative Highway Research Program” (NCHRP), bir araştırma projesi geliştirmiştir. Bu projede ortaya çıkan “Sürüş Sayısı” (RN) yol yüzey ölçümlerinin lineer olmayan bir fonksiyonu ile elde edilir. Değerin hesaplanmasında sol, sağ ya da her iki tekerlek değeri ortalaması alınabilir. Bulunan değer 0–5 aralığında olup, 5 en iyi üstyapı durumunu ifade eder (Shanin, 2005).

3.10 Düzgünsüzlük Ölçüm Ekipmanları

3.10.1 Yüzey çubuğu (Dipstick)

Üstyapının profilini ölçmede kullanılan en basit araçlardan bir tanesidir (Şekil 3.4). Operatör, aleti daha önceden belirlenmiş yol güzergahı boyunca elde gezdirerek ölçüm yapmaktadır. Alet, kontak ayaklarının birbirine göre göreceli yükseklik farklarını ölçme prensibi üzerine çalışır (Url-1).



Şekil 3.4 : Dipstick.

3.10.2 Yol yüzey profilometreleri

Belli bir hızda seyreden araçlar üzerine monte edilen çeşitli donanımlar yardımı ile yol profilini dijital ortamlara kayıt eden araçlardır. İlk olarak yol yüzeyi ile temas ederek ölçüm yapan sistemler tasarlansa da günümüzde ultrasonik ses dalgaları ya da lazer ışığı kullanarak yol profilini çıkartan ekipmanlar kullanılmaktadır (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6).



Şekil 3.5 : Ultrasonik profilometri aracı (Ur1-1).



Şekil 3.6 : Lazer profilometre (Url-3).

3.11 Ülkemizde Üstyapı Performansı Değerlendirme Çalışmaları

Ülkemizde, üstyapı bakım onarım ve ölçüm çalışmaları, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yürütülmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar aşağıdaki gibidir (KGM 2000):

1. Defleksiyon ölçümleri
2. Performans gözlemleri
3. Çukur doldurma çalışmaları

3.11.1 Defleksiyon ölçümleri

Defleksiyon ölçüm çalışmaları, Şekil 3.7 de gösterilen Düşen Ağırlıklı Deflektometre (FWD) ile yapılmaktadır (Url-4). Ölçüm, 5 tonluk bir yükün yol yüzeyine belli bir yükseklikten düşürülmesi sonucu meydana gelen defleksiyonun alıcılar tarafından algılanarak kaydedilmesi ile gerçekleştirilmektedir (KGM, 2000).



Şekil 3.7 : Düşen ağırlıklı deflektometre.

3.11.2 Performans gözlemleri

Takviye tabakası ile ilgili çalışmalar yapılırken, tekerlek izlerinin oluşumu, çatlaklar ve diğer bozulma türlerinin uzman kişiler tarafından yerinde incelenmesi işleme, performans gözlemi adı verilmektedir. Uzman kişinin gerekli bulması halinde numune alınarak laboratuvar incelemeleri gerçekleştirilebilir.

3.11.3 Profilometre

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından, ülkemizdeki otoyollar ve Devlet Yolları'nın yüzey düzgünsüzlükleri, Ride Number (RN) olarak ölçülmektedir. Yolların ölçümünde kullanılan araç Şekil 3.8 de gösterilmiştir. Ride Number (RN) ölçümlerine göre elde edilen değer, Devlet Yolları için 2,5 den küçük olduğunda onarım gerekmektedir (KGM, 2000).



Şekil 3.8 : KGM profilometre aracı.

3.11.4 Kayma sayısı (Skid Resistance) ölçümü

Kayma sayısı ölçümleri Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yapılmaktadır. Ölçümlerde yol yüzeyinin kaymaya karşı direnci değeri 0–100 arasında değişen kayma sayısı ile ölçülmektedir. Değer büyüdükçe yolun kaymaya karşı direnci de artmaktadır. KGM (2000), trafik güvenliği açısından ölçüm değerlerinin 30'dan küçük olduğu kesimleri riskli kesimler olarak değerlendirmektedir.

4. ÜSTYAPI YÖNETİMİNDE KARAR DESTEK SİSTEMLERİ

4.1 Karar Destek Sistemleri Nedir?

Karar destek sistemleri, konu ile ilgili uzmanların karar verme süreçlerine yardımcı olmak üzere özel olarak tasarlanan bilgisayar yazılımlarıdır (Sauter, 1997). Karar destek sistemleri, üçüncü kuşak bilgi tabanlı uygulamalar olarak değerlendirilmektedir (Sprague ve Watson, 2006).

4.1.1 Karar destek sistemlerinin bileşenleri

İyi bir karar destek sistemi, mantığa dayanan, tüm olası seçenekleri inceleyen, eldeki kaynakların hepsini işleyen, sayısal bir yöntem kullanan yapılardır (Topçu, 2000). Karar destek sistemleri, verilerin işlendiği bir veri tabanına ihtiyaç duymalarının yanında bir modelleme motoruna da ihtiyaç duyarlar (Tok, 2005). Bir karar destek sistemi:

1. Veri tabanı yönetim sistemi (DBMS),
2. Model tabanı yönetim sistemi (MBMS),
3. Arayüz yaratımı ve yönetimi sistemi (DGMS),

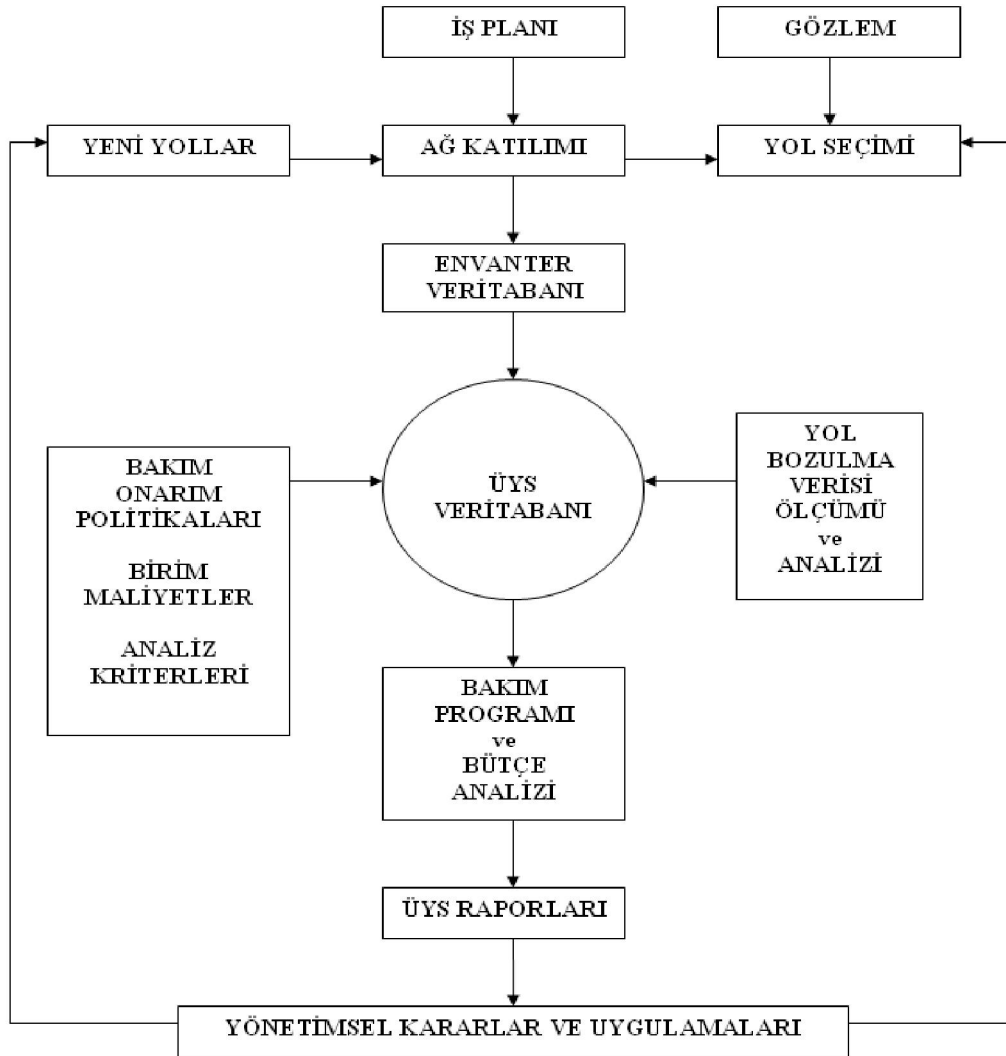
bölümlerinden meydana gelir (Sage, 1991). Karar destek sistemleri, belli bir sonuca varmak üzere yapılan, bilgi işleme mekanizmalarından meydana gelen işlemler ağıdır (Silver, 1991).

4.1.2 Karar destek sistemlerinin genel yapısı

Başarılı bir karar destek sisteminin, sağlıklı bir model kurulması sırasında, yeterli ve gerekli veriyi sağlaması, karar vericinin kullanabileceği bir model geliştirmesi ve kullanıcıya kolay, kullanım sırasında hata oranını en aza indireyecek bir arayüz sunması gerekmektedir.

4.1.3 Üstyapı yönetiminde karar destek sistemleri

Üstyapı yönetiminde veri paylaşımı önemli bir rol üstlenir. Güncel veritabanı yönetim sistemlerinin gelişiminden önce üstyapı yönetimi ile ilgili veriler dijital olmayan ortamlarda saklanmaktaydı. Bu, her departmanın kendi verilerini saklaması sonucu verinin paylaşımında problemlere yol açan, insan gücüne dayalı ve pahalı bir sistemdi (Hudson ve diğ., 1997). Modern bilgisayar sistemleri ile veri tabanı yönetim sistemlerinin gelişmesi sonucu veriye daha etkili ve hızlı ulaşmanın yolu açılmıştır. Bu da üstyapı yönetim sistemi hizmetlerinin daha düşük maliyetlerle gerçekleşmesini sağlamıştır. Üstyapı yönetim sistemi açısından karar destek sistemi genel yapısı Şekil 4.1 de gösterilmiştir (Hudson ve diğ., 1997).



Şekil 4.1 : ÜYS karar destek sistemi altyapısı.

Üstyapı yönetim sisteminin merkezinde bir veri tabanı yer almaktadır. Bu veri tabanının içerisinde birçok tablo yer almaktadır. Tablolar değerlendirmeye esas verileri barındırmaktadır. Veri tabanları, her karar destek sisteminin ihtiyacına göre özel olarak planlanmakta ve yaratılmaktadır.

4.2 Veri Ambarları (Data Warehousing)

Veri ambarı karar verme sürecinde bilgilerin derlenmesi, bir arada tutulması, istendiğinde sorgulanması amacı ile tasarlanmış çok detaylı bilgilerin derlenmesi sonucu oluşturulan konsolide veri tabanıdır. Başka bir deyişle veri ambarı, genel yapıdan ayrı olarak belli bir amaca ya da bilgisayar programının özel kullanımına yönelik olarak tasarlanmış özel verilerden meydana gelen bir veri tabanıdır (Gray ve Watson, 1998).

4.3 Veri Tabanı Nedir?

Belli bir düzen içerisinde saklanmak, paylaşılacak, gerektiğinde erişebilmek üzere depolanan bilgilere veri tabanı adı verilir. Belli bir düzen içerisinde saklanan bilgilere, çabuk ulaşmak ve güvenliğini sağlamak gerekliliği vardır. Bununla beraber bireysel verilerin, diğer verilerin yapısını bozmadan değiştirilmesi, silinmesi ya da yenilerinin eklenmesi gerekebilir. Bu amaca yönelik olarak, “Veri Tabanı Yönetim Sistemleri”, İngilizce’de “Database Management System” (DBMS) geliştirilmiştir.

4.3.1 Veri tabanı yönetim sistemleri

Veri tabanları, temel olarak belli bir hiyerarşi içerisinde çalışan ve sabit disk üzerinde saklanan dosyalardır. Bu dosyalar içerisinde kayıtlar bulunur. Yeni verilerin eklenmesi ile veri tabanının boyutları giderek artar. Veri tabanları birden çok programın ortak kullanımında bulunabilir. Yüksek hacimli ve paylaşılan verinin güvenli yönetilmesi, bir veri tabanı yönetim sistemi ihtiyacını ortaya çıkartmaktadır. Bir veri tabanı yönetim sisteminin ana görevi uygulamalar tarafından gönderilen istekleri almak ve bu istekleri veri tabanı dosyalarından verileri okumak ya da yazmak üzere değerlendirmektir (Kroenke, 2004).

Veri tabanı yönetim sistemleri, veritabanını yaratmak, verilerin ana saklanma yapıları olan tabloları oluşturmak, anahtar (index) adı verilen, verilerin hızlı erişimi için kullanılan destek yapılarını yönetmek, verileri yazmak ve okumak gibi ana görevlere sahip yapılardır.

4.3.2 Veri modelleri

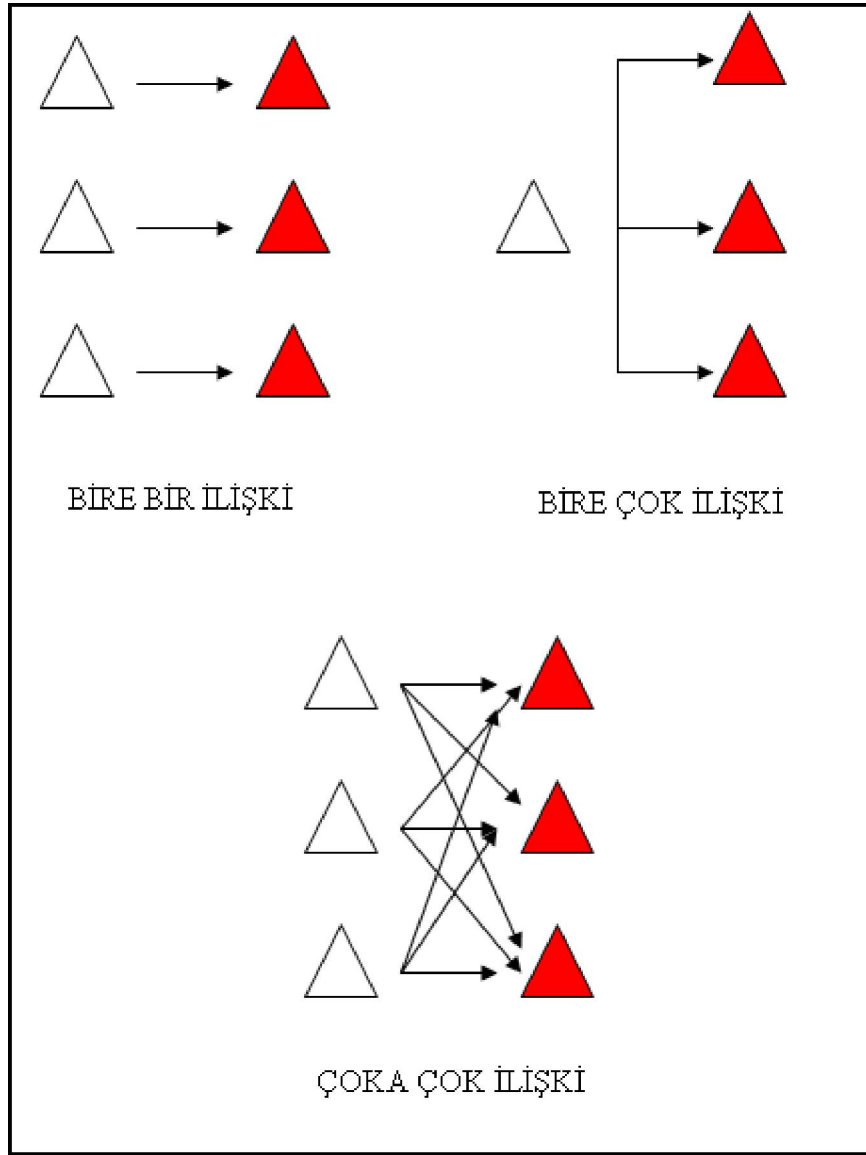
Verilerin düzenlenmesi amacı ile kullanılan, kavram, yapı ve işlemler bütününe “veri modeli” adı verilir. Geliştirilen hiyerarşi modelleri dört ana grupta toplanabilir (Özkan, 2008). Bu modeller:

1. Hiyerarşik veri modeli
2. Ağ veri modeli
3. Nesneye yönelik veri modeli
4. İlişkisel veri modeli

olarak gruplandırılabilir. En yaygın olarak ilişkisel veri modeli kullanılmaktadır. İlişkisel model, temel olarak veri tabanı içerisinde verilerin saklanması amacı ile bulunan tablo yapıları arasında, ortak bir alan kullanarak kayıtların karmaşık ilişkilerinin basitleştirilmesi esasına dayanmaktadır.

4.3.3 İlişkisel veri tabanları

İlişkisel veri tabanı içerisinde verilerin saklandığı tablolar bulunmaktadır. Tablolar düşeyde kolonlardan (alanlardan), yatayda satırlardan (kayıtlardan) meydana gelmektedir. Her tablonun, başlık ve gövde olmak üzere iki bölümü bulunur. Başlık bölümü, tablo ve alan adlarının, gövde bölümü ise kayıtların yer aldığı bölümlerdir (Mannino, 2001). Aynı tablo içerisinde her kayıt tek bir satır üzerinde yer almaktadır. Bir veri tabanı içerisinde bir ya da daha fazla tablo bulunabilir. Bu tablolarda bir adet esas anahtar bulunur ve kayıtlar bu anahtara göre sıralanır. Tablolar birbirleri ile ortak bir alan üzerinden iletişim kurmaktadır. Bu alanlar arası ilişki türleri Şekil 4.2 de görülebilir.



Şekil 4.2 : Veritabanı ilişki türleri.

4.3.3.1 İlişkisel veri tabanının avantajları

İlişkisel veritabanının başlıca tercih edilme sebepleri aşağıdaki gibidir:

- Gerekli olduğu durumlarda veritabanını diğer ağlara açmak kolaydır.
- İşlemci sunucu mimarisi ile verilerin diğer yazılımlarla ortak kullanım olanağı bulunmaktadır.
- Çekirdek fonksiyonlar ilişkisel veri tabanı yönetim sisteminde tanımlıdır.
- İlişkisel veri tabanları platform bağımsızdır.

4.4 İhtiyaca Uygun Veri Tabanı Seçimi

Günümüzde Oracle, MS-SQL, MySQL, DB2, PostgreSQL ve bunun gibi birçok veritabanı yönetim sistemi bulunmaktadır. Bu sistemlerin ana amacı aynı olsa da birbirlerine göre zayıflıkları ya da üstünlükleri bulunmaktadır. Genel olarak tüm veri tabanı yönetim sistemleri “Yapısal Sorgulama Dili”, İngilizce’de “Structured Query Language” (SQL) kullanırlar. Ancak, sorgularda bazı SQL komut farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Bu da bir veri tabanı yönetim sisteminde yazılmış bir kodun başka bir veri tabanı yönetim sisteminde çalışmayabileceği sonucunu doğurmaktadır.

Yukarıda adı geçen yazılımların birçoğu ticari yazılımlardır. PostgreSQL ve MySQL açık kaynak kodlu ve ücretsiz olarak kullanılabilen sistemlerdir. Sistem seçiminde veri tabanının potansiyel büyüklüğü seçim kriterlerinin başında gelmektedir. Eğer küçük ya da orta büyüklükte bir veri tabanı yeterli ise MySQL doğru bir seçim olacaktır.

Veri büyüklüğü arttıkça veri işleme performansı azalabilir. Ancak, burada sözü geçen veri büyüklükleri de çok kolay erişilebilecek kadar az değildir. Örnek olarak, MySQL veri tabanı sunucusu seçildiğinde toplam veri tabanı büyüklüğü iki yüz bin tablo, beş milyar satıra kadar sorunsuzca ulaşabilir (Url-4). Bu büyüklük bu çalışmada kullanılan veri tabanının hiçbir zaman erişmesinin olası olmadığı bir büyüklüktür (Url-5). MySQL, birçok ticari veri tabanı yönetim sisteminin iyi özelliklerini yapısında barındırmaktadır. Bu sebeplerle bu çalışmada MySQL veri tabanı yönetim sistemi kullanılması uygun görülmüştür.

4.4.1 MySQL

MySQL, C programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Linux ve Windows işletim sistemlerinde sorunsuzca çalışabilmektedir. “Open Database Connectivity” (ODBC) desteği ile değişik yazılımlarla iletişim kurabilme özeliğine sahiptir.

4.4.1.1 MySQL tablo yapıları

MySQL standart tablo yapısı “MyIsam”dır. Küçük boyutlu veriler için uygundur. Hızlı veri giriş olanağının yanı sıra metin alanları için “Tam Metin Anahtarlandırma” (Full Text Indexing) desteklemektedir. Ancak, işlenecek olan veri boyutu arttıkça yavaşlama göstermektedir. Daha büyük verilerle çalışılması gereken durumlarda “InnoDB” tablo yapısı kullanılabilir.

4.4.1.2 MySQL istemcisi

Veri tabanı yaratmak, mevcut veritabanında tablo oluşturmak, veri girmek, güvenlik ve bunun gibi, MySQL veri tabanı yöneticisi ile iletişimi sağlayan bir arayüz olarak MySQL istemcisi kullanılmaktadır. “Disk Operating System” (DOS) benzeri bir arayüz kullanır. Komut satırı yardımı ile girilebilen bu arayüzde veri tabanı yönetim sistemi ile ilgili her türlü işlemi yapmak mümkündür.

4.5 Yapısal Sorgulama Dili (SQL)

Veri tabanlarındaki tabloları oluşturabilmek, veri kaydetmek, silmek, güncellemek, sorgulamak gibi işlemleri gerçekleştirmek amacı ile “Yapısal Sorgulama Dili” (SQL) kullanılmaktadır.

4.5.1 SQL ile ilgili kavramlar

4.5.1.1 Data definition language (DDL)

Tabloları yaratmak, veri tiplerini belirlemek, sanal tablolar yaratmak gibi işlevler için SQL dilinin bir alt bölümü olan “Veri Tanımlama Dili”, (İngilizce’de Data Definition Language) kullanılmaktadır (Ramamkrishnan ve Gerke, 2003).

4.5.1.2 Data manipulation language (DML)

DML, yaratılmış olan veri tabanı tabloları üzerinde, kayıt yerleştirme, kayıt güncelleme, kayıt silme ve sorgulama gibi işlemleri gerçekleştirmek amacı ile kullanılmaktadır (Ramamkrishnan ve Gerke, 2003).

4.5.2 Temel MySQL işlemleri

4.5.2.1 Veritabanı yaratmak

Yeni bir veritabanı yaratmak için MySQL istemcisi ekranında “CREATE DATABASE” komutu kullanılır. Bu çalışmada yaratılmış olan veri tabanının adı “TEZ” dir. Yaratılan veri tabanı üzerinde işlem yapabilmek için kullanıma açılması gerekir. Bu da “USE” komutu ile gerçekleştirilebilir.

4.5.2.2 Tablo işlemleri

Aktif olan veri tabanında yeni bir tablo yaratmak için “CREATE TABLE” komutu kullanılmaktadır. Tablo yaratılırken içerisindeki alanların adları ve bu alanların taşıyacağı verilerin veri tipleri belirtilmelidir. Veri tipi seçiminde, program tarafından yapılacak olan veri atamalarında problem yaşanmaması ve bunun doğal bir sonucu olarak yazılımın çökmemesi için, her alan için uygun veri tipinin ayrı ayrı planlanıp, tablo yapılarının buna göre belirlenmesi gerekmektedir. Yaratılmış olan bir tablonun yapısı ile ilgili daha sonra değişiklik yapmak olasıdır. Ancak, yazılımın sağlıklı bir şekilde işlemesi açısından planlamanın baştan yapılması daha uygun olacaktır.

4.5.2.3 Veri işlemleri

Mevcut bir tabloya veri girişi için “INSERT” komutu kullanılmaktadır. Bu komutla ilgili tablodaki veri girişi yapılacak alan adları ve bu alanlara karşılık gelen verilerin değerleri yer almaktadır. Dikkat edilmesi gereken nokta, veri değeri girişi yapılmayan alanlara sistem tarafından “NULL” değerinin atanacağıdır.

Mevcut bir verinin güncellenmesi, bir ya da birden fazla alanının değiştirilmesi amacı ile “UPDATE” komutu kullanılır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta komutun öncelikle değiştirilecek veri satırını bulması ve değişikliği yapması gerekliliğidir. Bu nedenle değiştirilecek kaydın bulunduğu satırın veri tabanı yöneticisi tarafından bulunmasını sağlamak gereklidir. Bunun gerçekleşebilmesi için, kaydın içerisindeki bir ya da daha fazla alanın ve bu alanların içerdiği değerlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla SQL cümlesinde tanımlayıcı kriter olarak “WHERE” komutu kullanılmalıdır.

“WHERE” komutunu alan adı karşılaştırma operatörü ve alan adı değeri takip etmelidir. Karşılaştırma kriterlerinin birden fazla olması durumunda kriterler arası “AND” ya da “OR” ile birleştirilmelidir. İngilizce’deki karşılıklarında olduğu gibi “AND”, eklenen kriterin de kayıttaki herhangi bir şartı beraberce karşılaması gerekliliğini, “OR” ise beraber karşılama şartı olmaksızın kayıtlarda herhangi bir şartın sağlanmasının yeterli olacağını ifade etmektedir.

Mevcut bir kaydın silinmesi amacı ile “DELETE” komutu kullanılmaktadır. Bu komut “UPDATE” komutunda olduğu gibi bir ya da birden fazla kriterin karşılandığı kayıt ya da kayıtların silinmesi için kullanılır.

Kayıtların aranması ve sonuçların filtrelendirilmesi amacı ile “SELECT” deyimi kullanılmaktadır. Select komutu ile beraber sorgu sonucu listelenecek olan alanların hangileri olacağı, hangi tablolarda yer aldıkları ve arama kriterleri belirtilmelidir.

Sorgu sonuçlarında her zaman veri tabanından alınan veriler birebir kullanılmayabilir. Bu amaçla sorgu sonuçları üzerinde, kayıt sayımı (COUNT), toplama işlemi (SUM), ortalama işlemi (AVG), maksimum (MAX) ve minimum (MIN) sonuçlar alınması istenebilir. Bu durumda ilgili SQL cümlesinin doğru olarak yazılması halinde sonuçlar istenen değerlendirme uygulanmış halleri ile ekrana gelecektir.

Veri tabanında bulunan veriler karışık olarak bulunabilir. Verilerin belli bir alana göre sıralanması işlemi de veri tabanı yöneticisi tarafından otomatik olarak gerçekleştirilebilir. Bu amaçla, “ORDER BY” komutu sorgu cümleciğinin sonuna eklenmelidir.

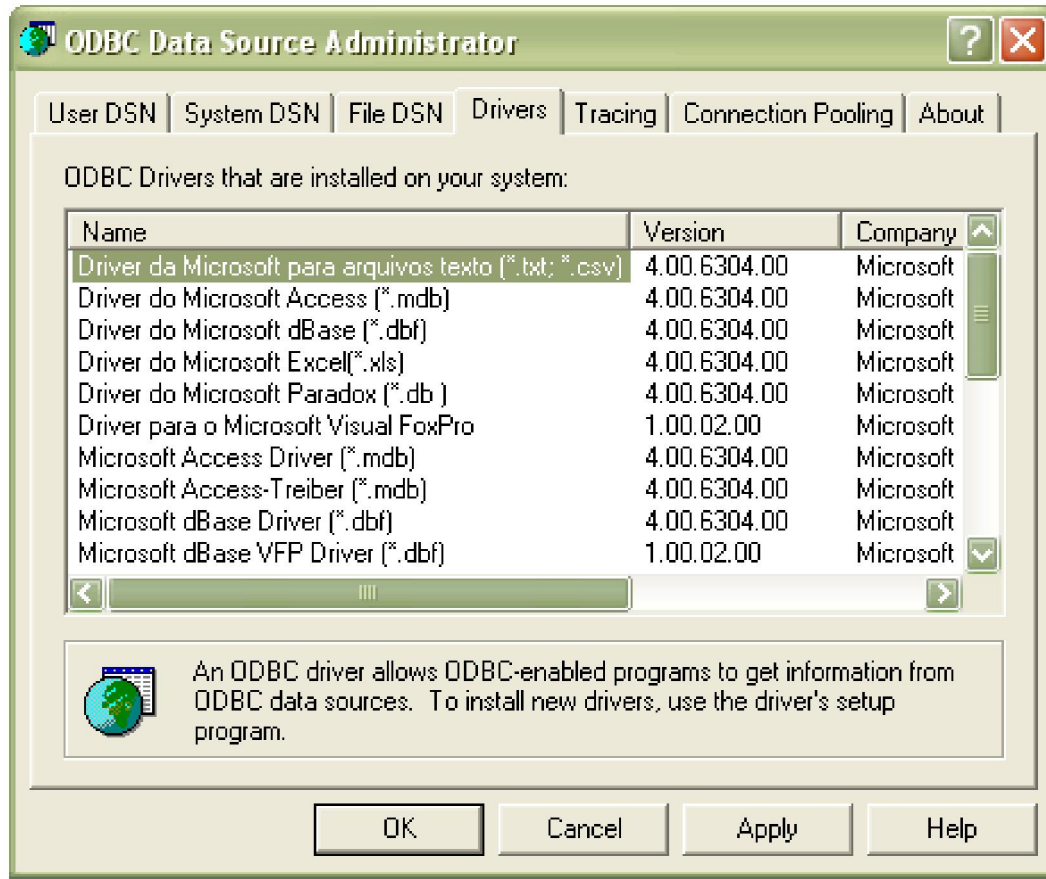
4.5.3 ODBC kavramı ve veri tabanı bağlantıları

Bir bilgisayar uygulamasının bir başka yazılım ile iletişimi ve etkileşimi için gerekli olan fonksiyonlar bütününe “Application Programming Interface” (API) adı verilir. Uygulamalar gerek diğer yazılımlarla gerekse de işletim sistemlerinin kaynaklarını kullanmaya ihtiyaç duyduklarında, API’lerden yararlanırlar. API’ler bir yazılımın geliştiricileri tarafından yaratılarak uygulamaya açılırlar. Genel amaç, bazı izin verilen fonksiyonların dışarıdan çağırılmalarına olanak vererek yazılımlar arası iletişimi olanaklı kılmaktır.

“Open Database Connectivity” (ODBC) kavramı ise, ilişkisel olan ya da olmayan veri tabanları ile yazılım arayüzlerinin iletişime geçerek veri alış verişinde bulunabilmeleri amacı ile veri tabanı yönetim sistemi programcıları tarafından yazılan API dosyaları ve veri tabanı sürücülerini bütünüdür.

Bir veri tabanı yönetim sistemi, yaratılan bir yazılım arayüzü içerisinde kullanılmak istenildiğinde, işletim sistemi desteği de alınarak bazı ayarlamaların yapılması gerekir.

Windows XP işletim sisteminde bu ayarların yapılabilmesi için “Denetim Masası” altında bulunan “Yönetimsel Araçlar” içerisindeki “Veri Kaynakları” üzerinden gerekli ayarlamaların yapılması gerekmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : ODBC tanımlama arayüzü.

4.6 Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi bilgi sistemi, bir coğrafi bölgeye ait bilgileri belirli bir amaç doğrultusunda kullanmak, bilgisayar ortamında saklamak, sonuçları değerlendirmek, gerektiğinde analizler yapmak üzere tasarlanmış bir bilgisayar yazılımıdır.

Coğrafi bilgi sistemi, harita verisi ile çalışmak üzere tasarlanmış bir veri tabanı olarak değerlendirilmelidir. Bir coğrafi bilgi sistemi ile çalışırken, projenin gerekleri belirlenmeli, uygun bir model geliştirildikten sonra, çalışılacak coğrafi bölge ile ilgili veriler toplanmalıdır. Sistemin gereklerine göre uygun formatta işlenen veriler, sayısal analizlerin tamamlanmasından sonra, sonuçların görüntülenmesi amacı ile harita ortamına aktarılır.

4.6.1 Coğrafi bilgi sistemlerinin özellikleri nelerdir?

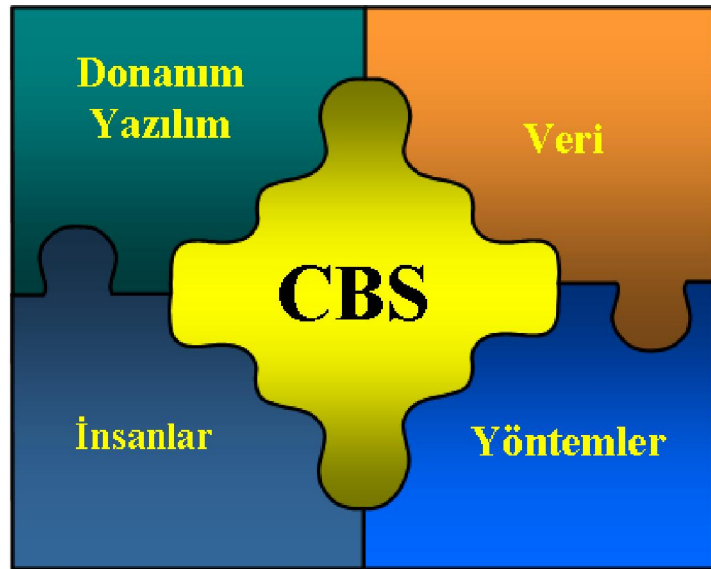
Bir coğrafi bilgi sisteminde bulunması gereken özellikler aşağıdaki gibidir (Url-8):

1. Coğrafi bilgi ve diğer verilerin girişinin yapılabilmesi amacıyla yönelik araçları bulundurmak;
2. Bir veri tabanı yönetim sistemine sahip olmak;
3. Sorgulama, görüntüleme, analiz ile ilgili işlemleri gerçekleştirebilmek;
4. Kullanılması muhtemel ek donanımlarla uyumlu çalışabilecek desteğe sahip olmak;

4.6.2 Coğrafi bilgi sisteminin bileşenleri nelerdir?

Coğrafi bilgi sistemlerinin bileşenleri Şekil 4.4 de gösterilmiştir Bu bileşenler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Url-8):

1. Donanım
2. Yazılım
3. Veri
4. İnsanlar
5. Yöntemler



Şekil 4.4 : Coğrafi bilgi sisteminin bileşenleri (Delice, 2004).

4.6.2.1 Donanım

Donanım, coğrafi bilgi sistemi yazılımının çalışmasına olanak veren, bilgisayar, yazıcı, çizici, tarayıcı, veri depolama ekipmanları gibi elemanlardan oluşur. Bir coğrafi bilgi sistemi kişisel bir bilgisayarda çalışabileceği gibi, bir yerel alan ağı, “Local Area Network”, (LAN) ya da geniş alan ağı, “Wide Area Network”, (WAN) üzerinden servis veren bir sunucuya da bağlı olabilir.

4.6.2.2 Yazılım

Sistemin işletileceği donanım üzerinde çalışan, coğrafi bilgileri işlemek, coğrafi verileri bilgisayar ortamında saklamak, sonuçları değerlendirmek, gerektiğinde analizler yapmak üzere tasarlanmış bir bilgisayar programıdır. Piyasada farklı firmalar tarafından üretilmiş yazılımlar bulunmaktadır. Bu yazılımlardan bazıları: ArcGIS, MapInfo, AutoCad Map ve Grass dır. Bu tez çalışması kapsamında ArcGIS yazılımı ile çalışılmıştır.

4.6.2.3 Veri

Coğrafi bilgi sisteminin en önemli ögesidir. Veri olmadan bir sistemden söz etmek, analiz yapmak ve sonuç beklemek olası değildir. Coğrafi bilgi sistemlerinde tanımlayıcı veriler veya tablo verileri gerekli kaynaklardan toplanabileceği gibi, piyasada bulunan hazır haldeki veriler de satın alınabilir (Delice, 2004). Verilerin yüzde yüz doğru olarak elde etmenin zor olması sebebi ile veri kalitesi, ancak kullanıcının ulaşabileceği bir yaklaşıklıkta belirlenebilir (Url-10).

4.6.2.4 İnsanlar

Sistemi oluşturan, analiz eden, kullanan ve sonuçları değerlendiren insan faktörüdür. Tüm diğer yönetim sistemlerinde olduğu gibi, coğrafi bilgi sistemlerinde de kullanıcı ya da programcı seviyesinde ihtiyaçların belirlenmesi ve sonuç kararlarının alınmasında öncelikli olan insan faktörüdür.

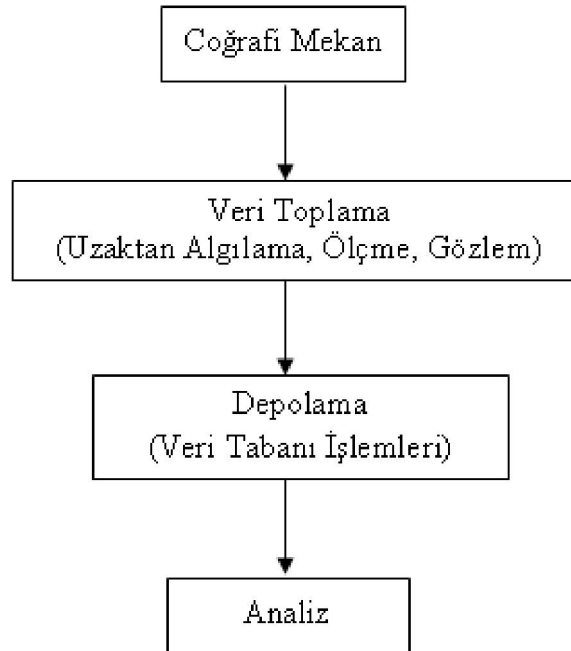
4.6.2.5 Yöntemler

Coğrafi bilgi sistemlerinde verilerin bir araya getirilmesi, uygun formatlara çevrilmesi, veri tabanlarının, sayısal hartaların ve diğer bilgilerin derlenmesi ve saklanması maliyetli, zor ve uzun bir süreç ister. Bu süreçte başarılı bir sistem oluşturmak için belli yöntem, işleyiş kurallarının oluşturulması ve standardize edilmesi gerekmektedir.

4.7 CBS Çalışma Organizasyonu

CBS uygulamalarında çalışma organizasyonu Şekil 4.5 de gösterilmiştir. Bu organizasyonun elemanları dört ana başlıkta incelenebilir (Turoğlu, 2000):

1. Veri toplama
2. Veri girişi ve depolama
3. Görüntü ve çıktı alma
4. Analiz



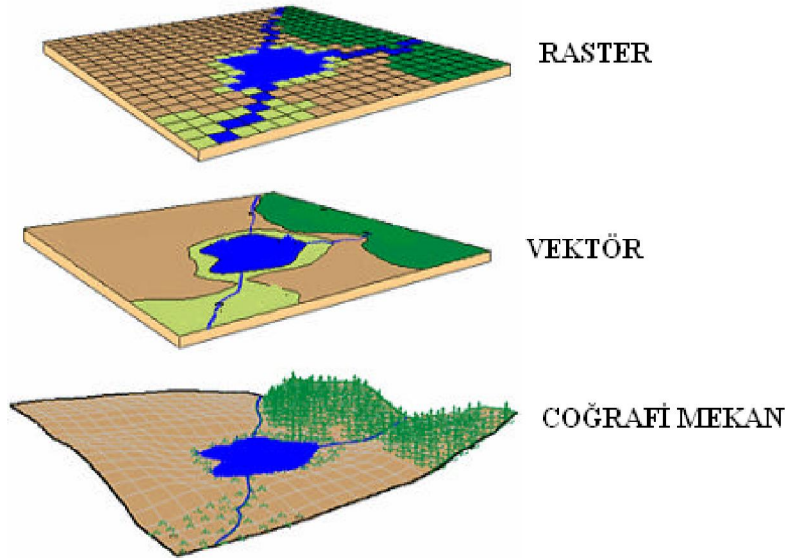
Şekil 4.5 : CBS çalışma organizasyonu.

Veri toplama bir coğrafi bilgi sistemi uygulamasının en önemli adımını oluşturmaktadır. Gerekli analizlerin doğru yapılabilmesi ve karar alma sürecinde etkin karar verilebilmesi toplanan verinin gerçeğe yakınlığı ile doğru orantılıdır.

Çalışma için gereken verilerin hangileri olduğu belirlendikten sonra veri toplama süreci başlatılmalıdır. Veri toplama sürecinde ortak bir format belirlenmesi ve tüm verilerin aynı şekilde elde edilmesi daha doğru sonuç almaya yardımcı olur. Veri toplamada arazi çalışmaları, ölçme verileri, uydu ve hava fotoğrafları, mevcut haritalardan alınan veriler kullanılabilir.

4.8 CBS Veri Yapıları

Şekil 4.6 da görülen coğrafi bilgi sistemlerinde veriler, “Raster” ve “Vektör” olmak üzere iki grupta incelenebilir (İşlem, 2004).



Şekil 4.6 : Raster ve vektör yapıları.

4.8.1 Raster veri yapısı

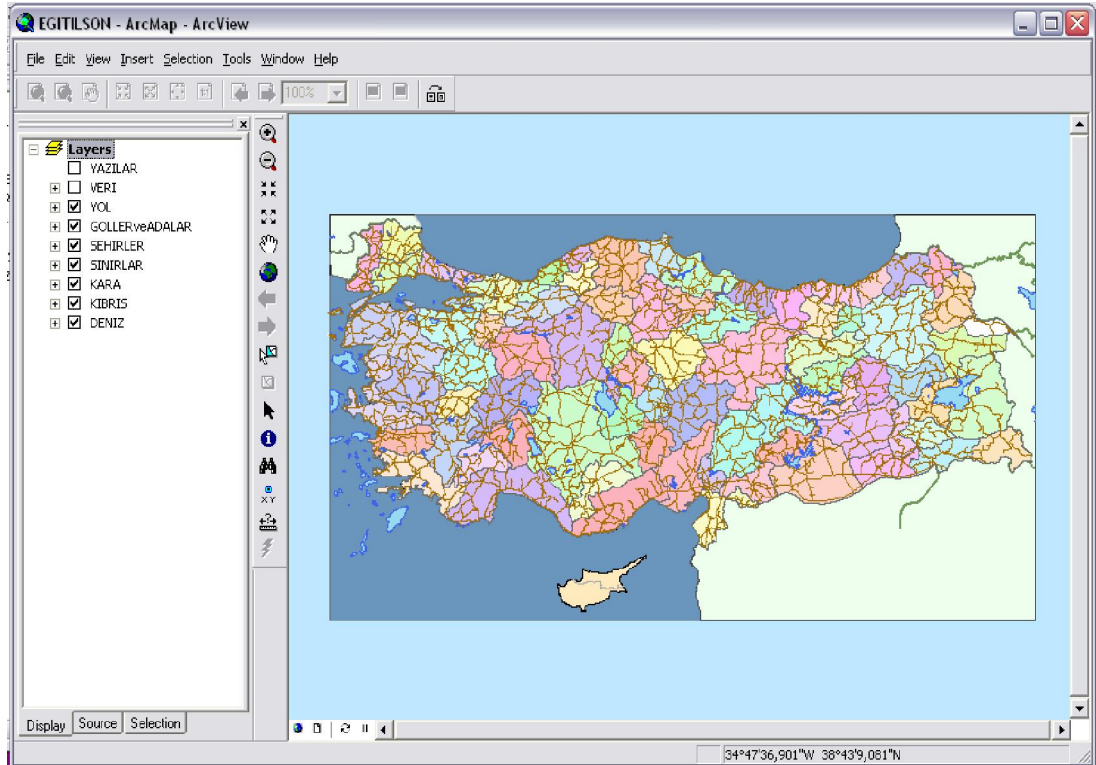
Raster veri yapısında, bilgiler hücrelere bağlı olarak belli ölçülerde bir alan veya alanlar grubu ile tanımlanmaktadır. Raster veri daha çok süreklilik gösteren coğrafi yapıların gösteriminde kullanılmakta ve birbirine komşu aynı boyutlu hücrelerden oluşmaktadır (Url-8). En küçük veri birimi piksel olup, genellikle mevcut haritaların taranması sonucu elde edilen raster veri tipinde piksellerden oluşan ve çözünürlük adı verilen kavram görüntü netliği üzerinde etkin olmaktadır.

4.8.2 Vektör veri yapısı

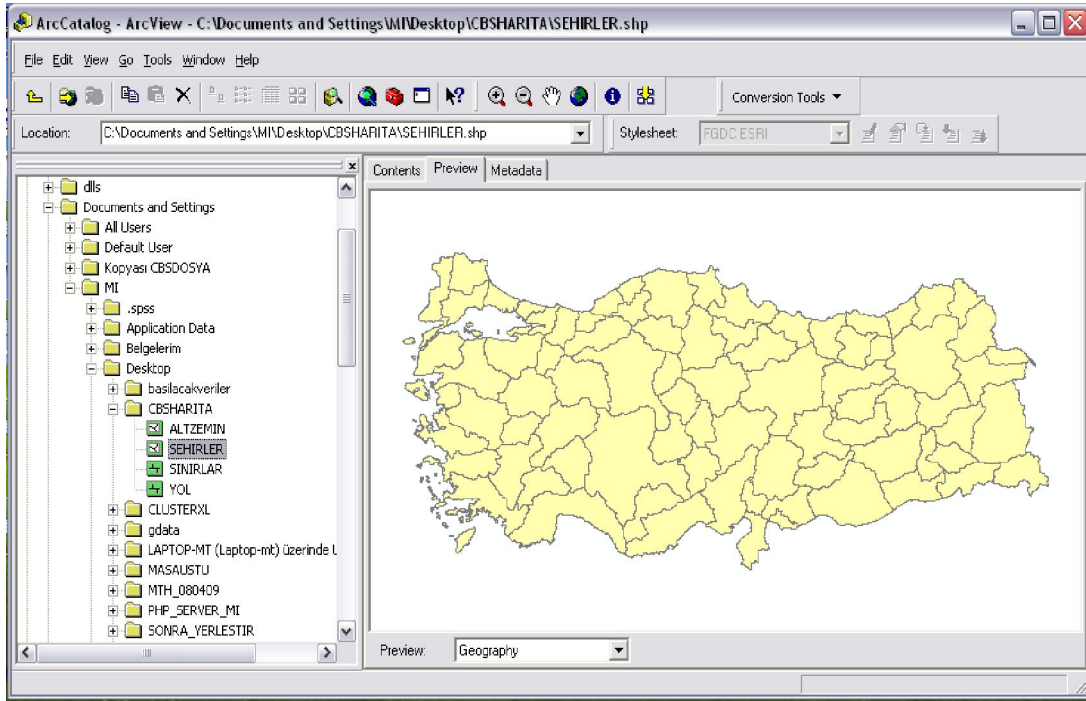
Vektör veri yapısında coğrafi mekana ait veriler koordinat değerleri ile kodlanıp depolanırlar (Url-8). Kapalı bir poligon olarak sembolize edilebilen coğrafi yapılar, bir dizi vektör yapısı ile ifade edilebilir. Raster veri yapısında yakınlaştırma işleminden sonra yakınlaştırma oranı ve çözünürlüğe de bağlı olarak görüntüde bozulmalar meydana gelebilirken vektör veri yapılarında bu bozulma söz konusu değildir.

4.9 ArcGIS Nedir?

ArcGIS, “Environmental Systems Research Institute, Inc.” (ESRI) firması tarafından üretilmiş bir coğrafi bilgi sistemi veri işleme yazılımıdır. Desktop ve server sürümleri bulunmaktadır. Bu çalışmada desktop sürümü kullanılmıştır. Bu sürümde ArcMap, ArcCatalog modülleri bulunmaktadır. Bu modüllerden Şekil 4.7 de arayüzü gösterilen ArcMap, harita görüntüleme, analiz, sorgulama ve raporlama imkanları sunarken, ArcCatalog, haritaları oluşturan veri dosyalarını görüntüleme, tanımlama ve değişiklikler yapma olanağı vermektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.7 : ArcMap arayüzü.



Şekil 4.8 : ArcCatalog arayüzü.

Bu modüllere ek olarak, ArcToolbox adı verilen ve Arcmap ile ArcCatalog üzerinde çalışabilen birçok fonksiyon ve gereç barındıran bir modül daha bulunmaktadır.

ArcGIS birçok değişik dosya formatı ile işlem yapabilmektedir. Bu formatlardan bazıları şekil dosyaları, topolojik veri setleri ve katmanlardır.

4.9.1 Şekil dosyaları (Shape Files)

Şekil dosyaları, nokta, çizgi ya da poligon şeklinde verileri yapısında bulunduran, veri saklama alanında bulunan ve shp, shx, dbf gibi dosya uzantılarına sahip dosyaları içerisinde barındıran bir katalog dosya formatıdır.

4.9.2 Topolojik veri setleri (Coverage)

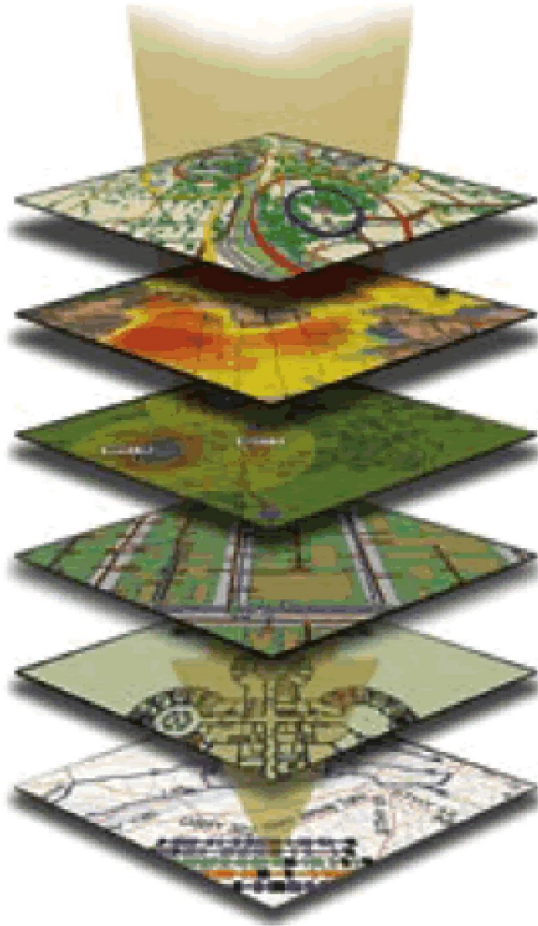
Topolojik veri setleri, şekil dosyaları gibi birden fazla değişik formatta dosyanın bileşiminden meydana gelen vektörel veri formatlarıdır. Bu format hem coğrafi konum hem de tanımlayıcı veri içermektedir.

4.9.3 Katman dosyaları (Layer)

Katman dosyaları esas olarak herhangi bir vektörsel görüntüleme verisi içeremezken bunların nasıl görüntüleneceği ve özellikleri ile ilgili detayları barındırmaktadır.

Aynı veri yapısı tekrar görüntülenmek istendiğinde katman dosyaları bir önceki kaydedilen görüntülenme detaylarını sakladığından aynı sonuç çıktısını oluşturmada yardımcı olur.

Bununla beraber bir ya da daha fazla katman dosyası aynı grup içerisinde yer alabilmektedir. Ekranda oluşan görüntü, üst üste gelmiş olan katmanların ortak görüntüsüdür (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : CBS katman şematığı.

5. ÜSTYAPI BOZULMALARININ KARAR DESTEK SİSTEMİ İLE MODELLENMESİ

5.1 Veri Toplama

5.1.1 Meteorolojik veri

Yurdumuzda meteorolojik veri ölçümleri, Çevre ve Orman Bakanlığı'na bağlı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan iklim verilerinin tümü, adı geçen kurumdan resmi başvuru ile elde edilmiştir.

Bu kapsamda kurumdan, ortalama sıcaklık, ortalama nem, en yüksek sıcaklık, en düşük sıcaklık, toprak sıcaklığı, güneşlenme şiddeti, toplam yağış, ortalama bulutluluk ve ortalama kar verileri alınmıştır. Çalışma kapsamında yapılan analizlerde don derinliği etkisi göz önüne alınmamıştır.

Ayrıca, “meteorolojik veri” ana başlığı ve diğer ilgili alt başlıklar altında anlatılan bilgiler, kuruma ait olan bilgi, ölçme yöntemleri ve diğer içerik kurumun resmi internet sitesinden çalışma süresince değişik zamanlarda elde edilen verilerden derlenmiştir (Url-11).

DMİGM tarafından yurt genelinde küçük ve büyük klima istasyonlarında meteorolojik ölçümler gerçekleştirilmektedir. Kurumca bu ölçümlerde veri türüne göre çeşitli ekipmanlar kullanılmaktadır.

5.1.1.1 Basınç ölçen aletler

Birim alana etkiyen kuvvet basınç olarak tanımlanır. Bu ölçümde, alçak buhar basıncına sahip cıvanın oluşturduğu sıvı sütunu ile atmosferik sütunun dengesi kullanılmaktadır. Bu ölçümlerin gerçekleştirilmesinde kurum tarafından, Şekil 5.1 de gösterilen Barograf, Şekil 5.2 de gösterilen Barometre, Şekil 5.3 de gösterilen Sıkletli Barograf ve Şekil 5.4 ile gösterilen Metal Barometre kullanılmaktadır.



Şekil 5.1 : Barograf.



Şekil 5.2 : Barometre.



Şekil 5.3 : Sıkletli barograf.



Şekil 5.4 : Metal barometre.

5.1.1.2 Sıcaklık ölçen aletler

Sıcaklık ölçümünde termometre ve ölçülen sıcaklıkları sürekli olarak kayıt eden termograflar kullanılmaktadır (Şekil 5.5). Herhangi bir anda bulunulan konumdaki sıcaklığın ölçümünde normal termometre, gün içerisindeki en yüksek sıcaklığın ölçümünde ise “azami termometre” kullanılmaktadır. İçerisinde cıva yerine alkol bulunan termometre ise “en düşük sıcaklık” termometresidir (Şekil 5.6).



Şekil 5.5 : Termograf.



Şekil 5.6 : En düşük sıcaklık termometresi.

5.1.1.3 Yağış ölçen aletler

Atmosferde bulunan ve yeryüzünden buharlaşma ile gaz haline geçmiş olan suyun tekrar yoğunlaşarak yeryüzüne düşmesi sonucu yağış oluşur. Yağış miktarları, Şekil 5.7 de gösterilen Plüviyometre ve Şekil 5.8 de gösterilen ve yağış miktarlarını kayıt eden Plüviyograf adı verilen aletlerle ölçülmektedir,



Şekil 5.7 : Plüviometre.



Şekil 5.8 : Plüviyograf.

5.1.1.4 Nem ölçen aletler

Bir sıcaklık derecesinde havanın sahip olduğu nem miktarının maksimum nem miktarına oranına nispi nem denmektedir. Nem, Şekil 5.9 da gösterilen higrometre denilen aletler yardımı ile ölçülür. Bulunduğu yerin nem miktarını sürekli olarak ölçen aletlere ise Higrograf adı verilmektedir (Şekil 5.10). Bundan başka basit psikometre ve havalandırılmalı psikometre kullanılmaktadır (Şekil 5.11).



Şekil 5.9 : Higrometre.



Şekil 5.10 : Histrograf.



Şekil 5.11 : Psikometre.

5.1.1.5 Güneşlenme ölçen aletler

Güneşlenme verilerini ölçen aletlere helyograf adı verilmektedir (Şekil 5.12). Bu alet gelen direkt güneş ışınlarını kayıt eder. Ayrıca, aktinograf adı verilen bir alet gelen verileri bir diyagram üzerine kayıt etmektedir (Şekil 5.13).



Şekil 5.12 : Helyograf.



Şekil 5.13 : Aktinograf.

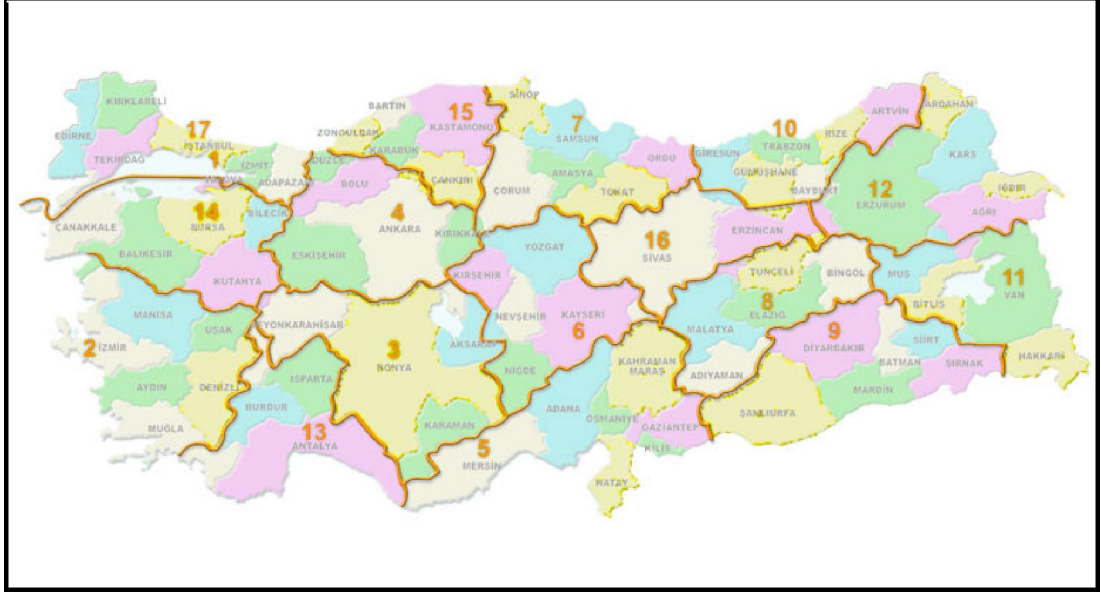
5.1.2 Karar destek sistemine yönelik meteorolojik veri tabanı tasarımı

Kurumdan ham halde alınan verilerin, hazırlanan veri tabanına uygun formata getirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda, veri tabanında meteorolojik verilere ait iki adet tablo oluşturulmuştur. Tablolardan birinde tüm iller için 1987–2006 yıllarına ait veriler yer almaktadır. İkinci tabloda ise bu verilerin maksimum, minimum ve ortalama değerleri bulunmaktadır.

5.1.3 Trafik ve bozulma verileri

Ülkemizde bulunan yol ağı ile ilgili trafik ve bozulma ölçümleri, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yapılmaktadır. Çalışma içerisinde asfalt betonu kaplamalı Devlet Yolları için bir model geliştirilmiş olup, sathi kaplamalı yollarda bozulma ölçüm değerleri olmadığından bu yollar değerlendirmeye alınamamıştır.

Karayolları Genel Müdürlüğü, yurdumuzdaki yol ağı ile ilgili çalışmalarını 17 adet bölge müdürlüğü aracılığı ile yürütmektedir. Adı geçen bölge müdürlüklerinin sorumluluk alanları Şekil 5.14 de gösterilmiştir (Url–4).



Şekil 5.14 : KGM bölge sorumluluk alanları.

Müdürlük, trafik sayımlarını üç değişik şekilde yapmaktadır. Bunlar:

- Seyyar
- Sabit
- Özel

sayımlardır. Sabit sayımlar yıl boyu sürekli yapılır. Seyyar sayımlar ise kısa süreli sayımlardır. Buralardan elde edilen veriler YOGT değerlerine dönüştürülür.

Özel sayımlar talep üzerine yapılır. Bu ölçümler cihazlı sayımlarda 48 saat, cihazsız sayımlarda ise sekiz saat boyunca yapılmaktadır. KGM, ilgili sayımları dört farklı tipte otomatik sayım makinesi ile gerçekleştirmektedir. Hata yüzdeleri sayımlar için %5, sınıflandırma için %10 dur (KGM, 2007).

Trafik sayımları sonucu elde edilen veriler, taşıt eşdeğerlik faktörleri kullanılarak Eşdeğer Dingil Yüğü değerine dönüştürülmektedir.

Taşıt eşdeğerlik faktörleri, yolu karakterize eden lodometre çalışması ve dingil yükü etütleri sonucu elde edilen dingil yükü dağılımı ve dingil eşdeğerlik faktörü kullanılarak bulunur (Terzi, 2004). Bu çalışma yapılamadığı durumda da verilen eşdeğerlik faktörleri Çizelge 5.1 yardımı ile hesaplanmaktadır.

Çizelge 5.1 : Taşıt eşdeğerlik katsayıları.

Taşıt Türü	Taşıt Eşdeğerlik Katsayısı
Otomobil	0,0006
Otobüs	3,9
Kamyon	2,8
Treyler	4,4

Bu çalışmada KGM tarafından elde edilen veriler derlenmiş ve 1993–2007 yılları arasında, tüm Devlet Yolları kesimleri için bir veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri tabanında, eşdeğer dingil yükü tekrar sayısı hesaplamalarında ve kullanılan karar destek sistemi altyapısında yukarıda çizelgede verilen eşdeğerlik faktörlerinden yararlanılmıştır.

5.2 Karar Destek Sistemi Programının Arayüzü

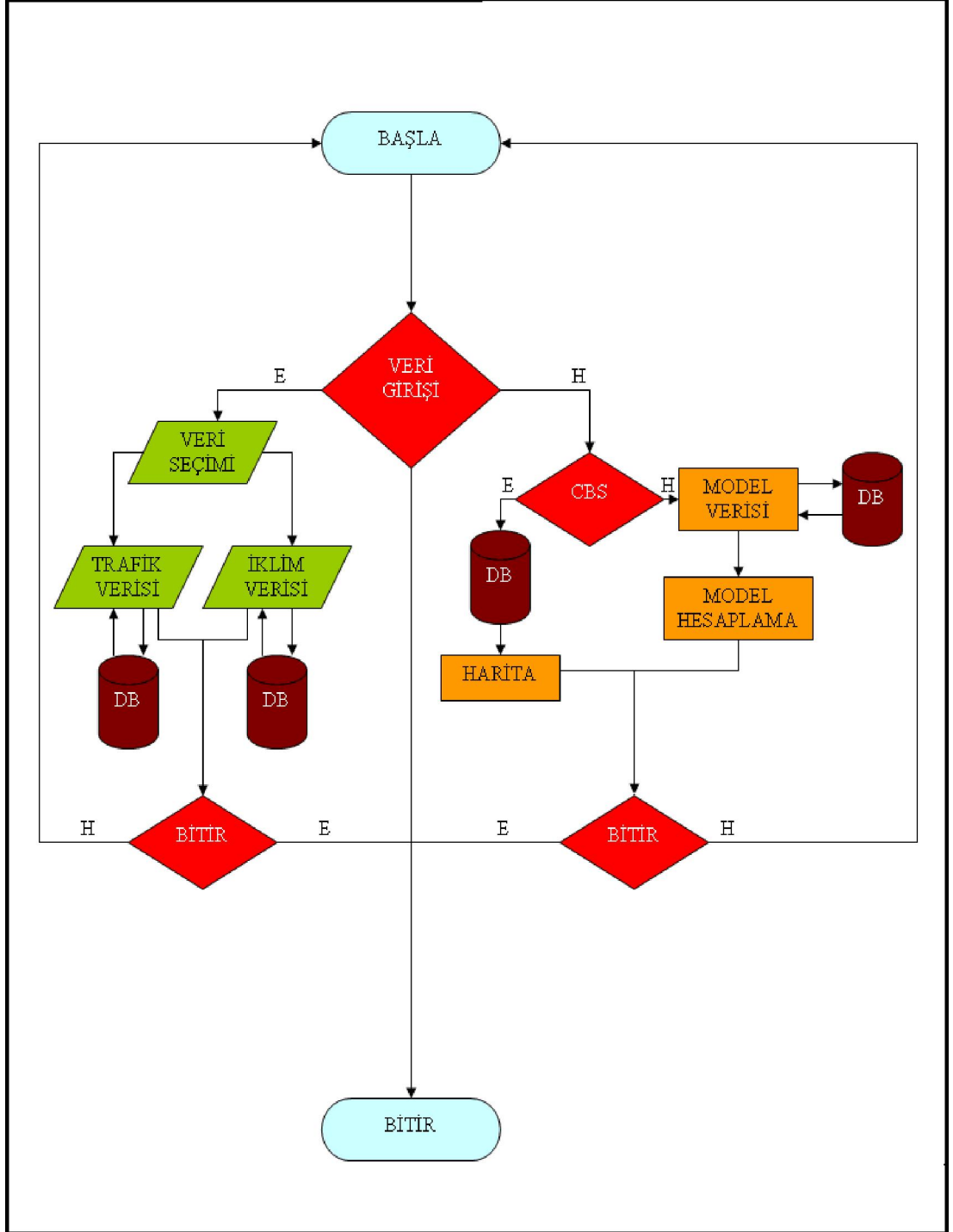
5.2.1 Arayüz

Karar destek sistemi programlamasında Visual Basic yazılım geliştirme dili kullanılmıştır. Veri tabanı yönetim sistemi olarak MySQL seçilmiştir.

Karar destek sistemi, “Veri Sorgulama Dili” (SQL) kullanılarak oluşturulmuş olan sorgular ile veri tabanından çekilen bilgileri değerlendirerek kullanıcıya sunmakta ve model verilerini otomatik olarak hazırlamaktadır.

Karar destek sistemi, bulanık mantık modelinde Matlab programının alt yapısını kullanarak sonuçları değerlendirmek üzere optimize edilmiştir.

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) entegrasyonu için ARCGIS altyapısı kullanılmıştır. Karar destek sistemi ile ilgili tüm programlamada, dijital harita sınıflandırma kısmında, renklendirme algoritmaları ARCGIS firmasının örnek kaynak kodu temel alınarak oluşturulmuştur. Karar destek sisteminin akış diyagramı Şekil 5.15 de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.15 : Karar destek sistemi akış diyagramı.

5.2.2 Ana menü

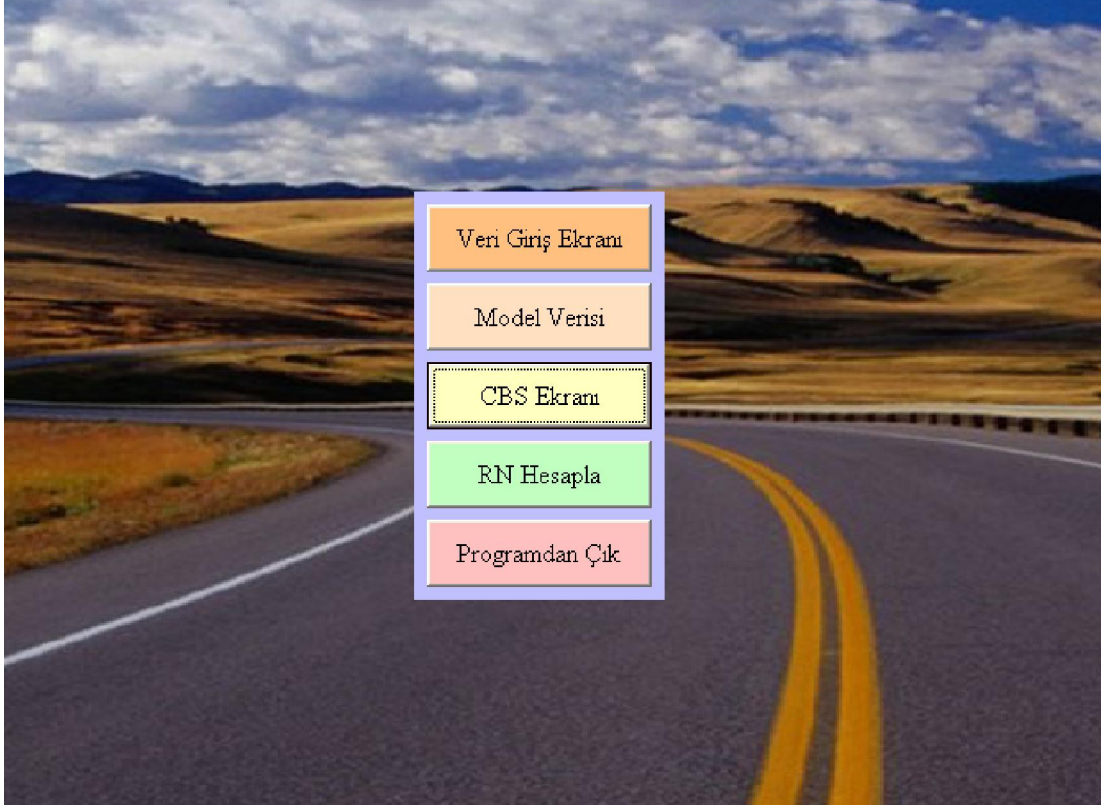
Program ilk başlatıldığında bir karşılama ekranı ile açılış yapar. Programa İngilizce’de yol üstyapısı ve bozulma kelimelerinden (Pavement, Deterioration) yola çıkılarak “PAVEDET” adı verilmiştir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16 : Giriş ekranı.

Açılış ekranı 5 saniye sonra otomatik olarak yerini yazılımın ana menü ekranına bırakır (Şekil 5.17). Ana menü içerisinde “Veri Giriş Ekranı”, ”Model Hesapla”, “CBS Ekranı”, “RN Hesapla” ve “Programdan Çık” seçenekleri yer almaktadır.

Veri giriş ekranı adından da anlaşılacağı üzere veri girilmesi ve güncellemesi için kullanılmaktadır. Bu butona basıldığında veri giriş alt menüsü ekrana gelmektedir (Şekil 5.18).



Şekil 5.17 : Ana menü.

5.2.3 Veri giriş menüsü

Bu ekran, görüntüleme, yeni ya da değişiklik yapılacak olan verinin türünü seçmek amacı ile tasarlanmıştır. Kullanıcı, meteorolojik veri, Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) verilerinden birini seçme ya da ana menüye geri dönme seçeneklerinden dilediğini seçebilir. Kullanıcı, “Meteorolojik Veri” butonuna bastığında, il bazında iklim verilerini girebileceği, görüntüleyebileceği ya da değiştirebileceği ekrana geçiş yapmış olur.



Şekil 5.18 : Veri giriş alt menüsü.

5.2.4 Meteorolojik veri girişi ve görüntüleme

Bu ekranda hatalı giriş olasılığını minimize etmek için veri yılı, il adı ve veri tipi seçeneklerine elle giriş yapılması engellenmiştir.

İlgili alanlardaki veriler veri tabanındaki tablolarından otomatik olarak çekilip güncellenmektedir. Veri yılı girişleri sisteme 1987–2017 yılları için tanıtılmıştır. Hali hazırda 1987 yılından itibaren yirmi yıllık veriler de veri tabanına işlenmiş durumdadır (Şekil 5.19).

VERİ YILI	1987
İL ADI	ADANA
PLAKA NO	1
VERİ TİPİ	ORTALAMA SICAKLIK

OCAK	10,5	TEMMUZ	30,1
ŞUBAT	11,3	AĞUSTOS	29,1
MART	12,2	EYLÜL	26,2
NISAN	17,6	EKİM	20,3
MAYIS	22,3	KASIM	12,6
HAZİRAN	25,2	ARALIK	11,4

Güncelle

Ana Menü

Şekil 5.19 : Meteorolojik veri giriş ekranı.

Girişi yapılacak olan il adı açılan liste kutucuğundan seçildiğinde, o ile ait plaka numarası “Plaka No” kutusundaki yerini sistemin yapacağı veri tabanı sorgulaması sonucu otomatik olarak alacaktır.

Programın ileri bölümlerinde, veri tabanı ile yapılan işlemlerde il adı türevleri sebebi ile oluşacak hataları ortadan kaldırmak amacı ile tüm işlemlerde “il plaka kodu” kullanılmıştır. İl plaka kodları veri tabanında ayrı bir tabloda saklanmaktadır.

Kullanıcı üçüncü adımda girişini yapacağı veri türünü ve veri girişi yapılacak olan yılı seçmelidir. Bu seçimden sonra değerler, hangi aya ait ise ilgili kutucuklara girilmeli ve güncelle butonuna basılmalıdır. Kullanıcı tarafından istem dışı olarak “Güncelle” butonuna basılması ve veri tabanına hatalı veri girişini önlemek amacı ile sistem ikinci bir onay isteyecektir (Şekil 5.20).

Kullanıcı bu onay kutucuğunda “TAMAM” seçeneğini işaretlerse veri girişi gerçekleşecek, “İPTAL” seçeneğini seçer ise hiçbir veri girişi ya da güncelleme yapılmadan veri tabanında kayıtlı veri değeri değişmeden kalacaktır.

Bu veri ekranında yapılacak işlemler tamamlandıktan sonra kullanıcı “Ana Menü” butonuna basarak ilk giriş ekranına geri dönebilir.

VERİ YILI	1987
İL ADI	ADANA
PLAKA NO	1
VERİ TİPİ	ORTALAMA SICAKLIK

OCAK	10,5	TEMMUZ	30,1
ŞUBAT	11,2	AĞUSTOS	29,1
		EYLÜL	26,2
		EKİM	20,3
		KASIM	12,6
HAZİRAN	25,2	ARALIK	11,4

Güncelle

Ana Menü

Veri Değişiklik Onayı

Veri Güncellemesi Yapılacak Onaylıyormusunuz?

Tamam İptal

Şekil 5.20 : Veri güncellemesi onay ekranı.

5.2.5 Trafik değerleri

Bu ekrandaki işlemler tamamlandıktan sonra kullanıcı trafik verilerini görüntüleyip, dilerse değişiklik yapabileceği YOGT verisi butonuna basabilir. Trafik değer ekranı üç kısımdan oluşur (Şekil 5.21).

The screenshot displays the YOGT (Traffic Data) screen with a background image of a road and sky. The screen is divided into three main sections:

- Eşdeğerlik Faktörleri (Equivalence Factors):** A table with four rows: Otomobil (0,0006), Otobus (2,9), Kamyon (2,8), and Treylar (4,4).
- Yol Seçimi (Road Selection):** A form with fields for K.No - Dilim No (200-07-2), Yıl seçiniz... (07), IL ADI: BİLEÇİK, and input fields for Otomobil (9998), Otobus (567), Kamyon (3943), Treylar (1595), and ESAL (20276). A "Güncelle" (Update) button is at the bottom.
- Önceki Üç Yıllık Trafik Değişim Değerleri (Previous Three Yearly Traffic Change Values):** A table with three columns: Üç Yıl Önceki, İki Yıl Önceki, and Bir Yıl Önceki. The rows are Otomobil (7855, 8389, 9375), Otobus (539, 561, 567), Kamyon (3225, 3354, 3669), Treylar (880, 977, 1254), and ESAL (15009, 15882, 18008).

At the bottom right, there is a red button labeled "Ana Menü" (Main Menu).

Şekil 5.21 : YOGT verisi ekranı.

Ekranın sol tarafında eşdeğerlik faktörleri görülmektedir. Bu bölümde yer alan eşdeğerlik faktörleri gerekli olması halinde ilgili veri tabanı tablosundan değiştirilebilir. Kullanıcı bu değişikliği kalıcı yapmak istemez ise ilgili değeri değiştirdiğinde, hesaplamalarda bu ekran sonlandırılana dek (geçici olarak) yeni değerler kullanılabilir. Kullanıcı “Yol Seçimi” bölümünden değerlerini görüntülemek, değişiklik yapmak ya da yeni veri girmek işlemlerinden dilediğini yapabilir. K.No ve dilim no ikilisinden oluşturulan rakam veri tabanındaki girişlerde indeks değeri olarak kullanılmaktadır. Örnek olarak “270–02–1” kodu “270–02” K.No’lu yolun birinci dilimini ifade etmektedir. Türkiye’deki tüm Devlet Yolları, ilgili kesim numaraları ve dilim numaraları ile sisteme kayıtlıdır. Böylece hatalı veri girişinin en aza indirgenmesi planlanmıştır.

Açılan liste kutusundan ilgili yol kodu seçildiğinde, yolun bağlı olduğu ilin adı sistem tarafından veri tabanından otomatik olarak çağrılarak ilgili alana yazılacaktır. Bu yöntemle hatalı kod numarası ile girişlerin azaltılması planlanmıştır. Yıl bölümünde girişi ya da değişiklik yapılacak yılın son iki rakamı kullanılmaktadır. Yol kodu ya da yıl değiştirildiğinde veri tabanından seçimi yapılmış olan yol kesimine ait veriler çekilerek ilgili alanlara yazdırılacaktır.

Sağ tarafta yer alan önceki üç yıla ait değerler, veri giriş aşamasında kullanıcının girilen verideki tutarlılığı karşılaştırması amacını taşımaktadır. Böylece kullanıcının hatalı veri girme ihtimalinin azaltılması amaçlanmıştır.

Kullanıcı eşdeğerlik faktörü değerini değiştirdiğinde, yeni girdiği verinin programa önceden tanıtılmış olan maksimum ve minimum değer aralığından fazla ya da az olması durumunda, program bu hatayı kendisine bildirecek ve uygun değer aralığında yeni bir veri girmeden herhangi bir işlem yapmasını engelleyecektir (Şekil 5.22).

The screenshot displays a software interface with a warning dialog box in the center. The dialog box has a red 'X' icon and the text: "Girdiğiniz değerler uygun aralıktadır..." (The values you entered are within the appropriate range...). Below the text is a "Tamam" (OK) button. The background interface is divided into three main sections:

- Eşdeğerlik Faktörleri (Equivalent Factors):** A table with four rows: Otomobil (0,0000), Otobus (3,9), Kamyon (2,3), and Treylar (4,4).
- Yol Seçimi (Road Selection):** Fields for "K.No - Ditim No" (200-07-2) and "Yıl seçiniz..." (07). Below these are input fields for "IL ADI: BİLECİ TEZ", "Otomobil", "Otobus", "Kamyon", "Treylar", and "ESAL".
- Önceki Üç Yıllık Trafik Değişim Değerleri (Previous Three Yearly Traffic Change Values):** A table with three columns: "Üç Yıl Önceki", "İki Yıl Önceki", and "Bir Yıl Önceki". The rows are "Otomobil", "ESAL", and "Treylar".

At the bottom of the interface are two buttons: "Güncelle" (Update) and "Ana Menü" (Main Menu).

Eşdeğerlik Faktörleri	
Otomobil	0,0000
Otobus	3,9
Kamyon	2,3
Treylar	4,4

Yol Seçimi	
K.No - Ditim No	200-07-2
Yıl seçiniz...	07
IL ADI: BİLECİ	TEZ
Otomobil	
Otobus	
Kamyon	3943
Treylar	1595
ESAL	20276

Önceki Üç Yıllık Trafik Değişim Değerleri			
	Üç Yıl Önceki	İki Yıl Önceki	Bir Yıl Önceki
Otomobil	7835	8389	9375
ESAL	15009	15883	18008
Treylar		561	567
		3354	3669
		977	1254

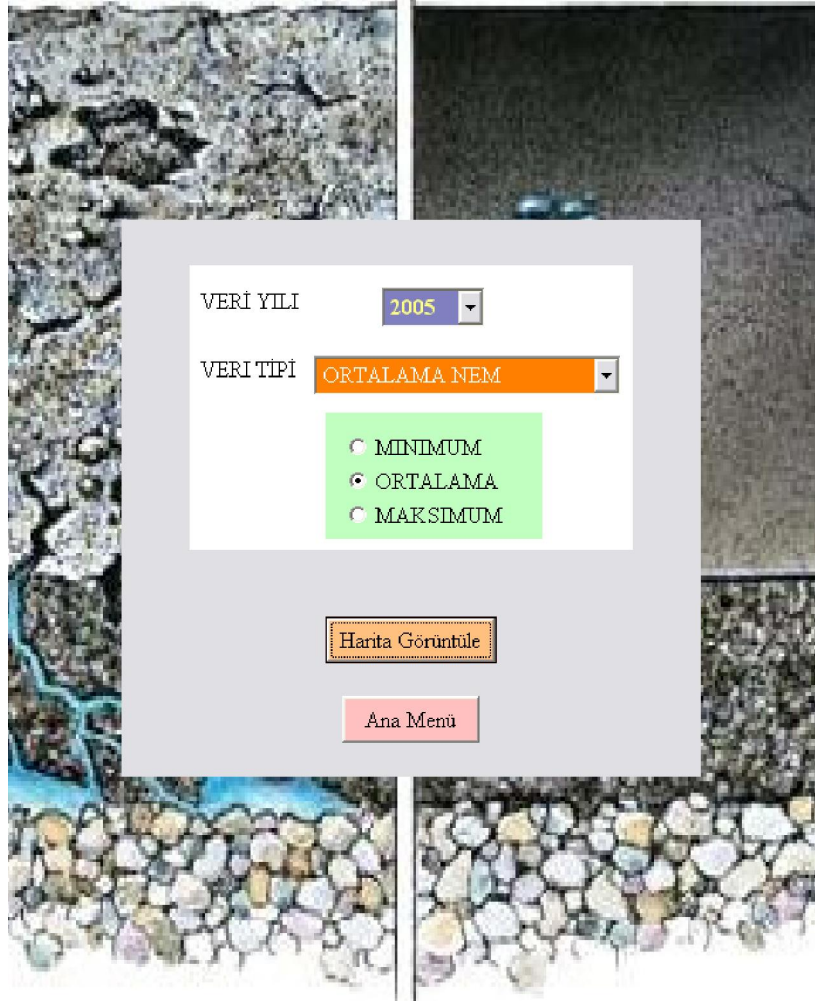
Şekil 5.22 : Hatalı eşdeğerlik faktörü girişi uyarı ekranı.

En altta bulunan ESAL değeri sistemde kayıtlı olan değerdir. Eşdeğerlik katsayılarında değişiklik yapılması halinde “Güncelle” butonuna basıldığında, yeni ESAL değeri sistem tarafından otomatik olarak hesaplanacak ve bir öncekinin yerine veri tabanına kaydedilecektir.

5.2.6 Coğrafi bilgi sistemi

CBS ekranında verilerin coğrafi bilgi sistemi ile entegrasyonu sağlanmıştır. Bu ekranda kullanıcı hangi veri tipinde, hangi yıla ait verileri CBS de görüntülemek istiyorsa bunun seçimini yapması istenir.

Kullanıcı “Harita Görüntüle” butonuna bastığında, gerekli veriler program tarafından otomatik olarak veri tabanından çekilip hazırlanacaktır (Şekil 5.23).



Şekil 5.23 : Tematik veri hazırlama ekranı.

Veri tabanından alınan veriler CBS'ye uygun formata dönüştürölüp, program gerekli hesaplamaları yapıldıktan sonra tematik haritalarda kullanıcıya sunulabilecektir. Bu sonuçlar, karar destek sistemi içerisinde oluşturulan coğrafi bilgi sistemi görüntölleme arayüzünde Şekil 5.24 deki gibi görüntölünir.

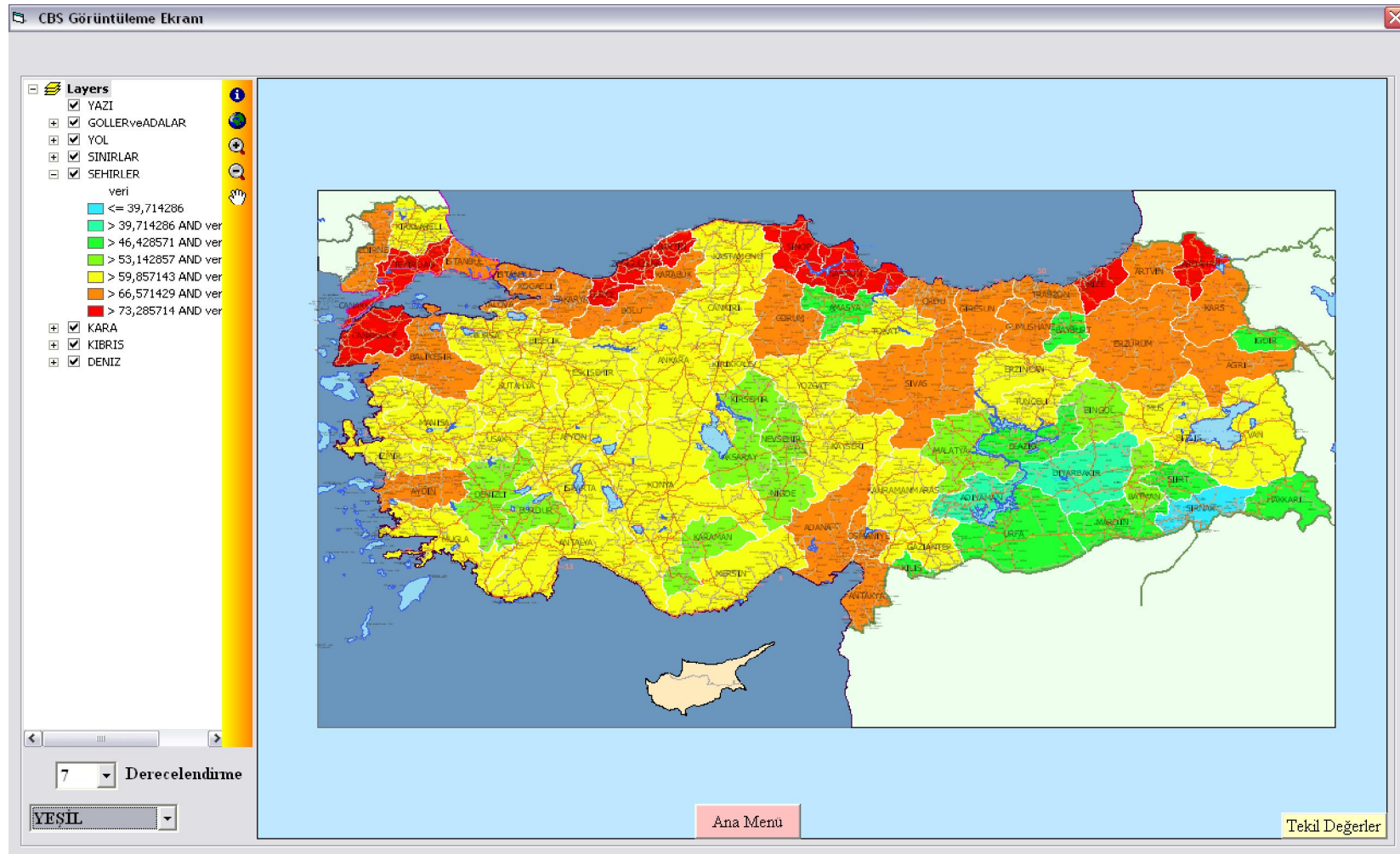
Kullanıcı dilerse harita renklerini değıştirebilir. Bunun için sol alt köşede bulunan renk seçeneklerinden birini seçmesi yeterli olacaktır. Kullanıcı dilerse kendi renk yelpazesini de belirleyebilir.

Bunun için en altta bulunan seçeneğı işaretlemesi yeterli olacaktır. Bu seçenek işaretlendiğinde başlangıç ve bitiş değerlerinin kırmızı, yeşil ve mavi değerleri tek tek girilmelidir.

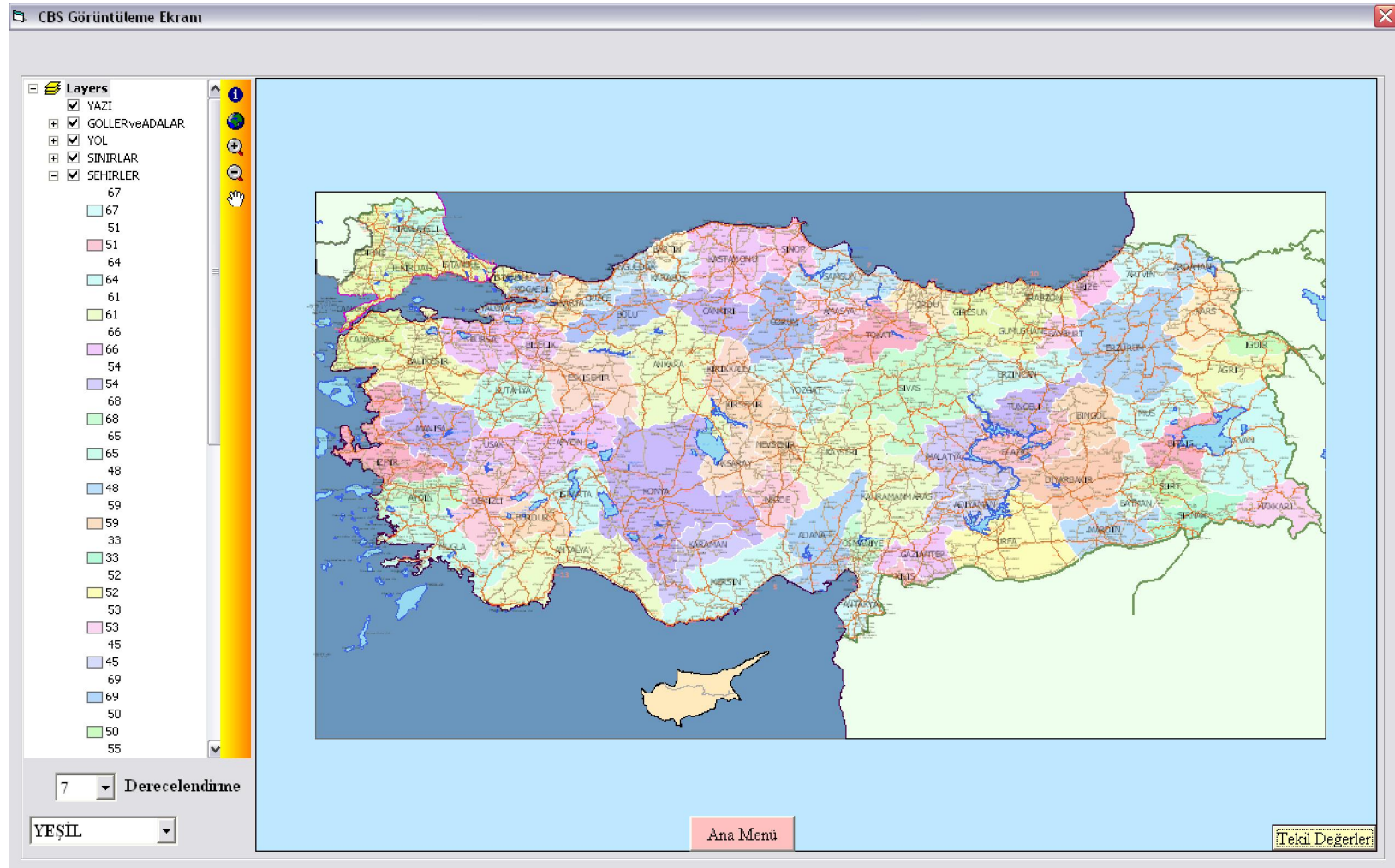
Ayrıca sağ alt köşede bulunan “Tekil Değerler” butonuna basmak sureti ile haritanın tekil değeri halini de değeriendirebilir (Şekil 5.25).

Türkiye'deki tüm yollar CBS veri tabanında ayrıntıları ile bulunmaktadır. CBS görüntölleme ekranında, sol tarafta bulunan menü ile harita arasında yer alan sarı renkli çubukta bulunan düğmeler kullanılarak harita üzerinde yakınlaştırma, uzaklaştırma veya gezinme yapılabilir.

Ayrıca yollar hakkındaki ayrıntılı bilgilere “i” butonuna basıldıktan sonra ilgili yol üzerine bilgisayar faresi ile çift tıklayarak ulaşabilir. Bu durumda, veri tabanına kayıtlı olan ve seçilmiş bulunan yol kesimine ait veriler sorgulandıktan sonra ekranda bulunan harita üzerinde görüntölünecek olan formdaki yerini otomatik olarak alacaktır.



Şekil 5.24 : CBS görüntüleme ekranı.



Şekil 5.25 : CBS harita (tekil değerler).

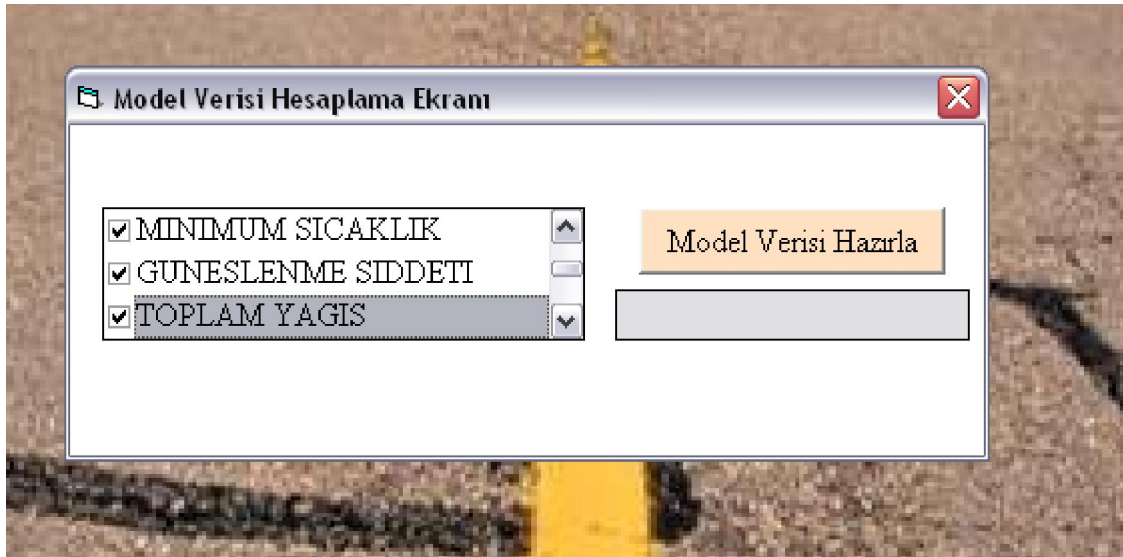
5.2.7 Model verisi hazırlama

Kullanıcı, “Model Verisi” butonuna bastığında veri hazırlama menüsüne ulaşmış olur. Bu alt menü kullanıcıya model verisi hazırlama ya da hazırlanmış olan model verilerinin bulanık mantık çözümlemesini yapma olanağı vermektedir (Şekil 5.26).



Şekil 5.26 : Veri hazırlama giriş ekranı.

“Veri Hazırlama” butonuna basıldığında bir sonraki ekran olan verileri seçme ve hazırlama ekranı gelecektir. Bu butona basılması ile veri tabanından bir dizi sorgu sonucu çekilen veriler, Matlab ortamında değerlendirilmek üzere uygun formata dönüştürülecektir (Şekil 5.27).

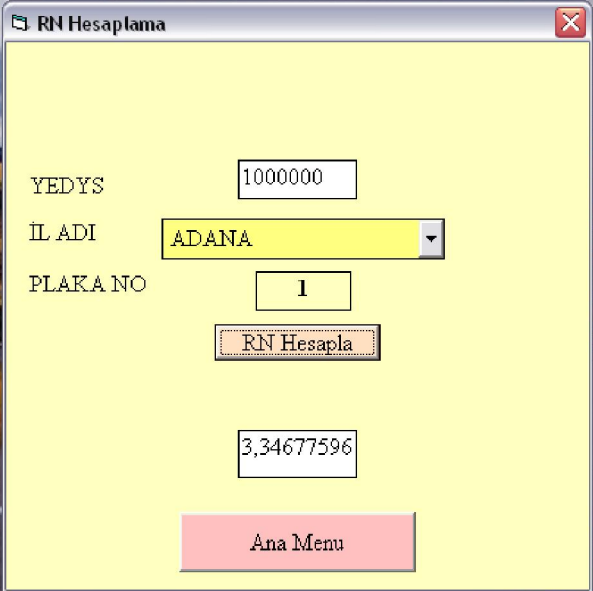


Şekil 5.27 : Model verisi hazırlama ekranı.

“Matlab” butonuna basıldığında hazırlanmış olan verilerin değerlendirilmesi için karar destek sistemi programı arayüzü, Matlab programı ile otomatik olarak iletişime geçerek gerekli bulanık mantık çözümlemesini tamamlayacak ve sonuç grafiklerini ekrana getirecektir.

5.2.8 RN hesaplama ekranı

Kullanıcı dilerse bu çalışmanın sonuçlarında ortaya konan regresyon modeli hesaplamasını kullanarak karar destek sistemi yardımı ile herhangi bir ilde, herhangi bir YEDYS değeri için tahmin edilecek RN değerini otomatik olarak hesaplayabilir. Hesaplamanın yapılabilmesi için kullanıcının herhangi bir yığışımlı eşdeğer dingil yükü sayısını aşağıdaki ekranda “YEDYS” kutucuğuna girmesi ve “RN Hesapla” butonuna basması yeterli olacaktır (Şekil 5.28).



The screenshot shows a software window titled "RN Hesaplama" with a yellow background. It contains the following elements:

- A text label "YEDYS" followed by a text input field containing the value "1000000".
- A text label "İL ADI" followed by a dropdown menu showing "ADANA".
- A text label "PLAKA NO" followed by a text input field containing the value "1".
- A button labeled "RN Hesapla" below the input fields.
- A text box at the bottom displaying the calculated result "3,34677596".
- A button labeled "Ana Menu" at the very bottom.

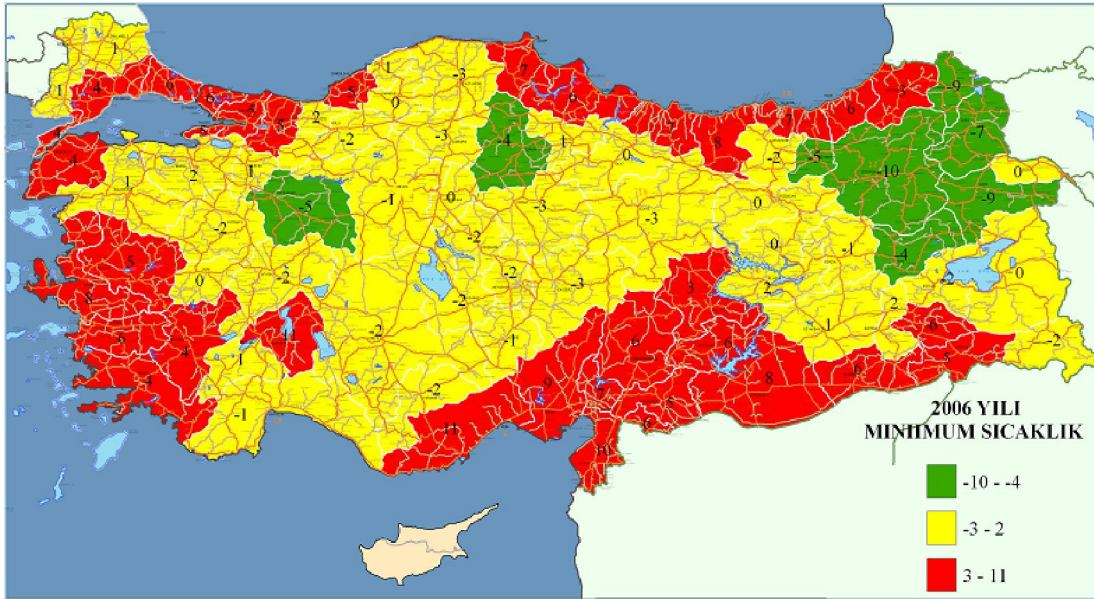
Şekil 5.28 : RN hesaplama ekranı.

5.3 İklim Etkilerinin Harita Üzerinde Değerlendirilmesi

Coğrafi bilgi sistemi yardımı ile, yaratılan tematik haritalarda elde edilen iklim değişkenlerinin etkisi incelenmiştir.

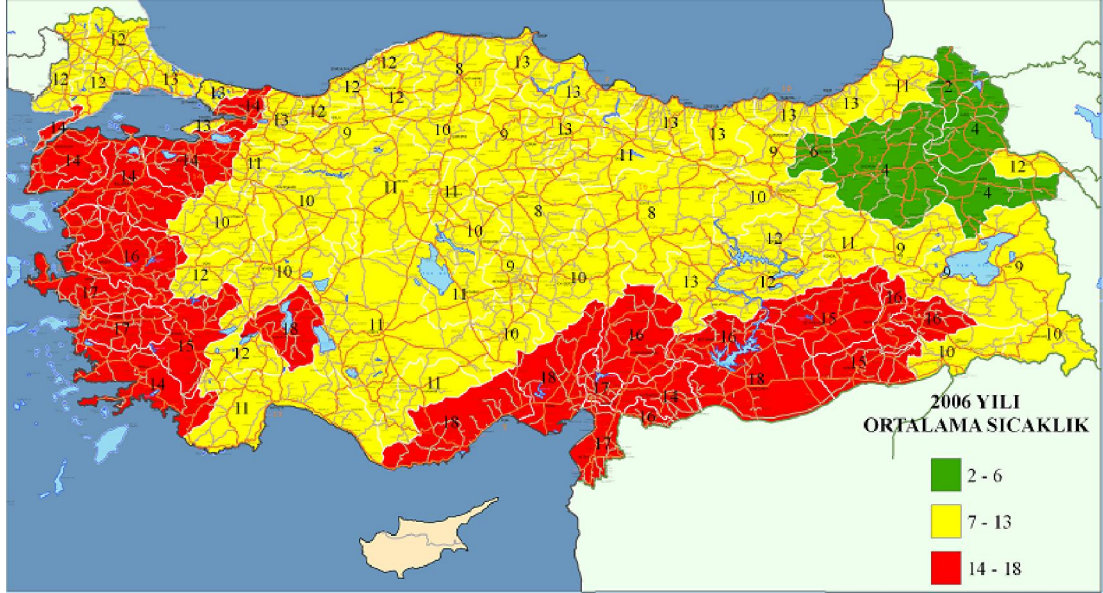
İncelemelerde 2006 yılına ait yıllık ortalamaların göz önüne alındığı tematik haritaların verileri, az, orta ve çok ya da düşük, orta, yüksek ve benzeri sözel kelimeler ile ifade edilebilmek amacı ile üçe ayrılarak değerlendirilmiştir.

Bu incelemeler sonucunda, Minimum sıcaklık değerlerinin Doğu Karadeniz, Ege, Marmara ile İç Anadolu'nun Güney doğusunda yüksek olduğu, yurdun iç ve orta kesimlerinde ise orta seviyede kaldığı ve Doğu Anadolu'da düşük değerler aldığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.29).



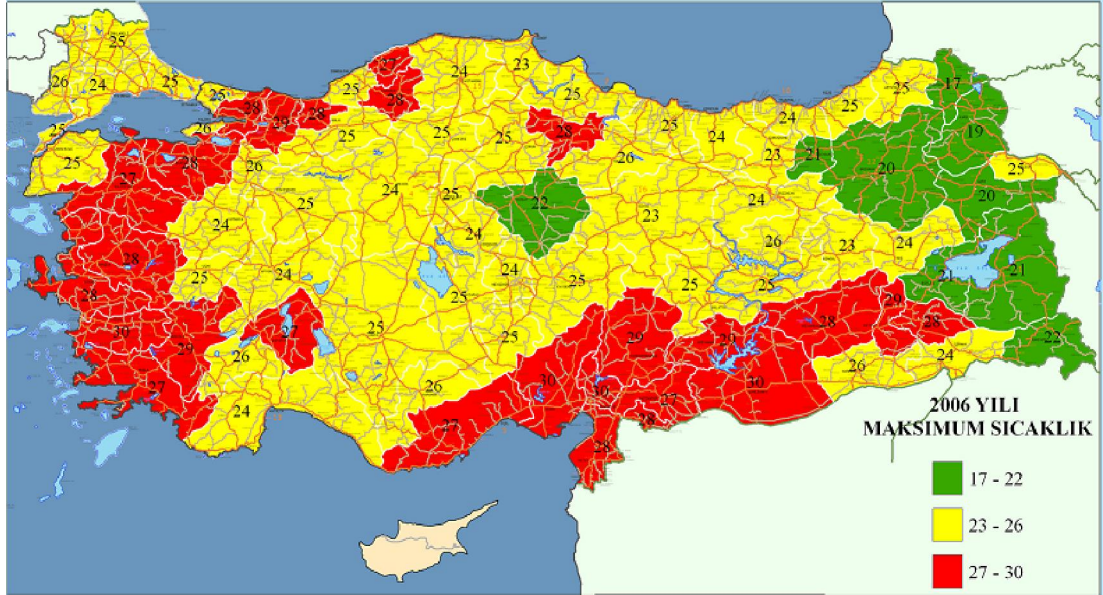
Şekil 5.29 : Minimum sıcaklık haritası.

Ortalama sıcaklık haritası incelendiğinde, Güney Marmara ve Ege'nin sahil kesimleri ile Güney Doğu Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu Bölgeleri'nde ortalama sıcaklıkların yüksek olduğu, Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey kesimlerinde ise ortalama sıcaklığın düşük olduğu görülmüştür. Bu bölgeler dışında kalan kesimlerde ise sıcaklıklar orta seviyededir (Şekil 5.30).



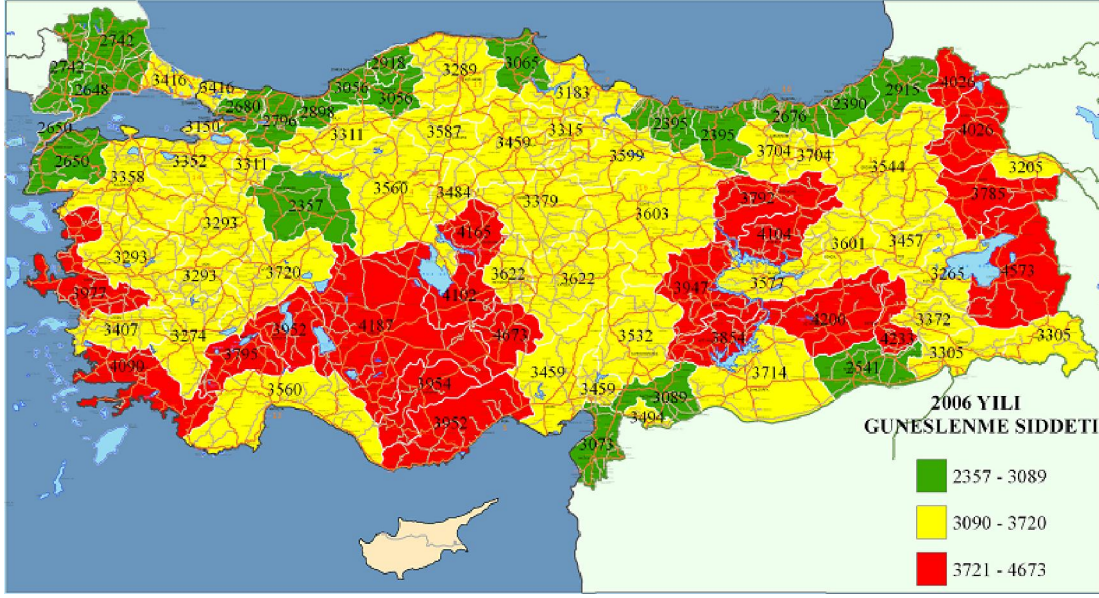
Şekil 5.30 : Ortalama sıcaklık haritası.

Maksimum sıcaklık haritası değerlendirildiğinde, Doğu Anadolu'nun kuzeyinde sıcaklıkların düşük, Güney Marmara, Ege'de ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde ise sıcaklıkların daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 5.31). Bu bölgeler dışında sıcaklıklar orta seviyede gerçekleşmiştir.



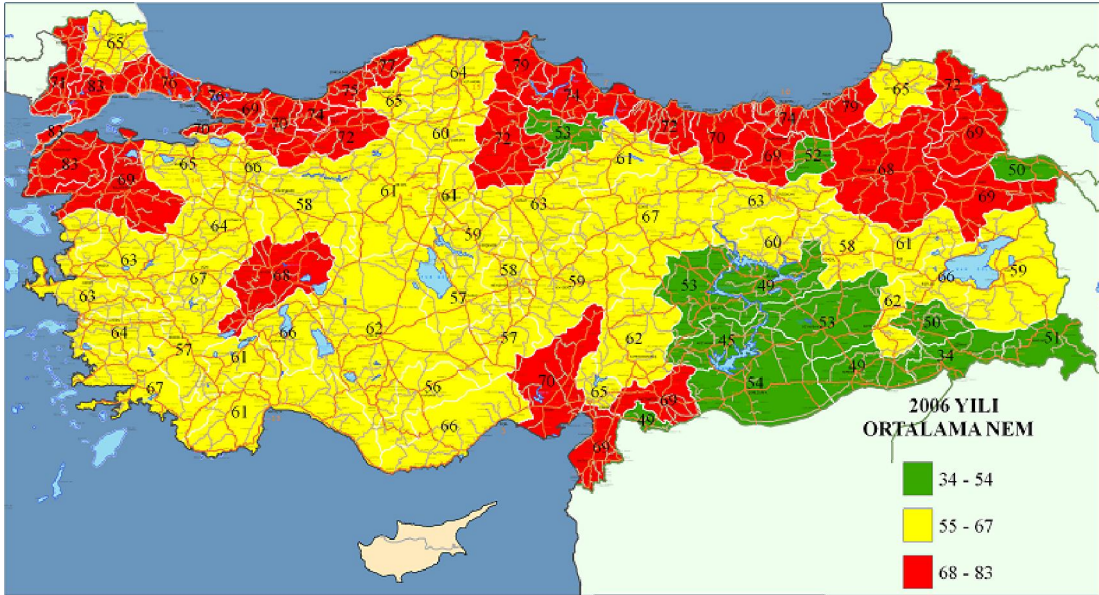
Şekil 5.31 : Maksimum sıcaklık haritası.

Güneşlenme değerinin Doğu Anadolu'nun doğu kesimleri, İç Anadolu'nun güneyi ve Güney Ege'de yüksek olduğu, Doğu ve Batı Karadeniz ile Marmara'nın batısında ise düşük olduğu, bunun dışındaki bölgelerde ise orta seviyede bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 5.32).



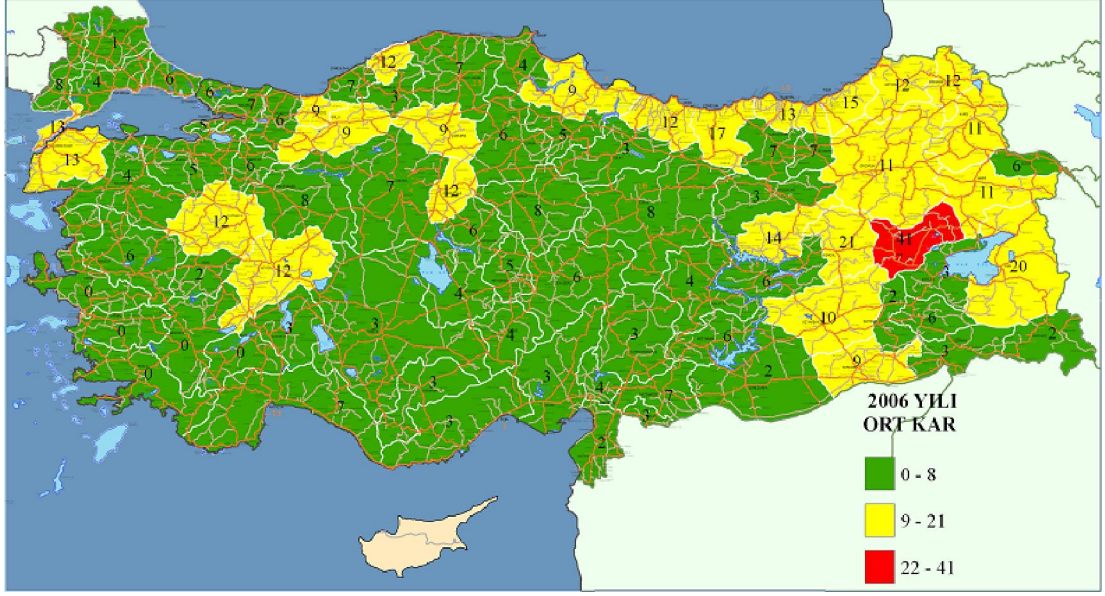
Şekil 5.32 : Güneşlenme şiddeti haritası

Nem haritası değerlendirildiğinde yurdun kuzeyinde, Karadeniz sahilinde yıllık ortalama bazında, yüksek nem ortalaması gözlemlenirken, iç ve orta kesimlerde nem oranının azaldığı ve orta seviyelere düştüğü, Güneydoğu’da ise düşük seviyelere indiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.33).



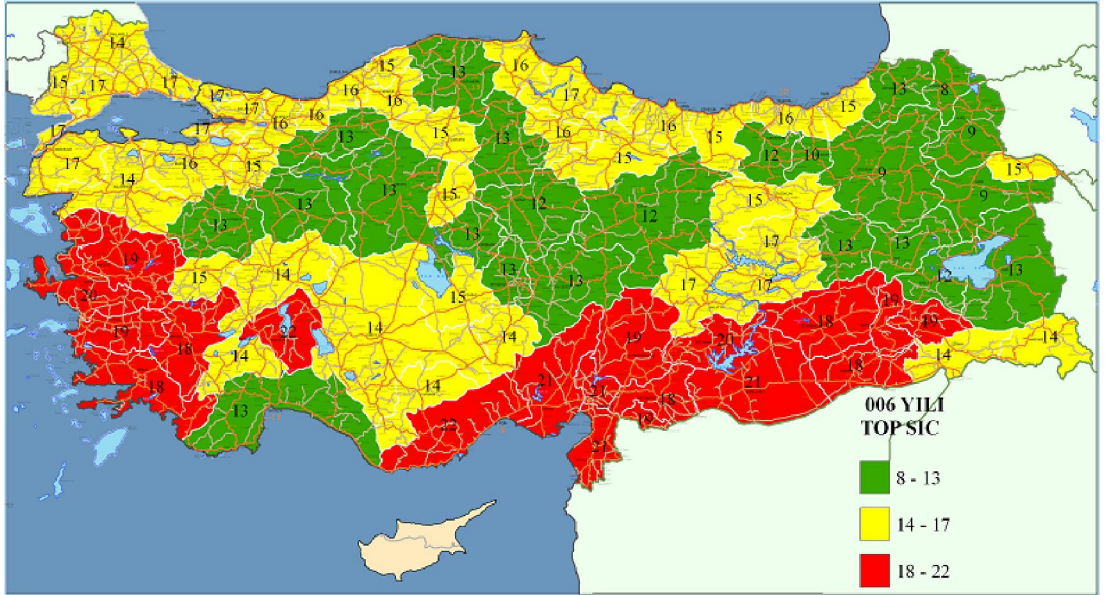
Şekil 5.33 : Ortalama nem haritası.

Kar haritasında Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde kar kalınlıklarının yüksek olduğu, Ege, Akdeniz bölgelerinde ise kar yağışı görülmediği, buna karşın İç Anadolu’nun doğu bölgesinde orta derecede kar olduğu görülmektedir (Şekil 5.34).



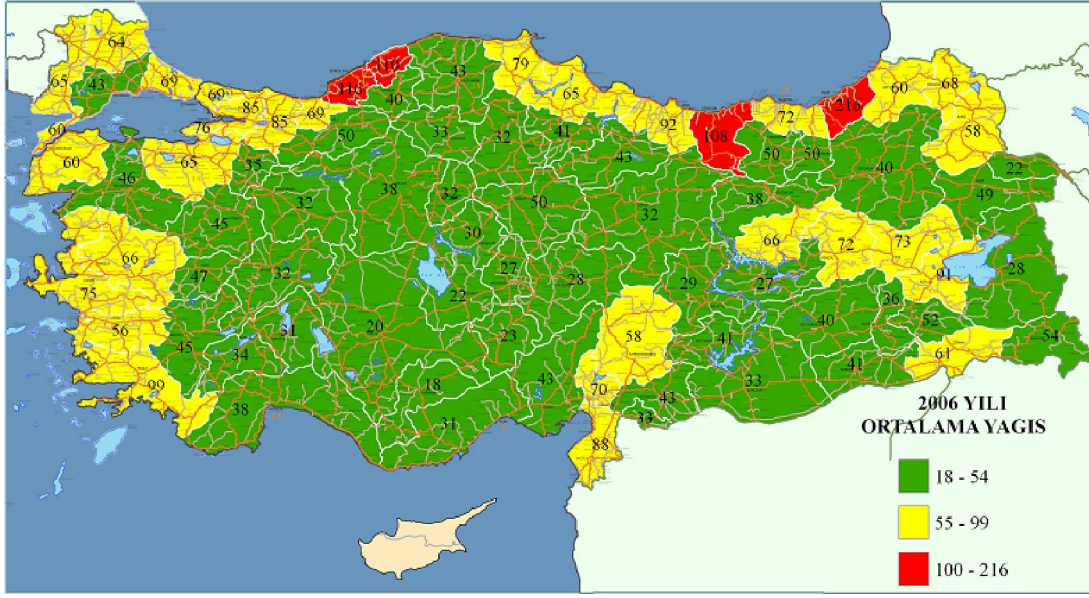
Şekil 5.34 : Ortalama kar haritası.

Toprak sıcaklığı haritasında, Batı Ege, Doğu Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yüksek, iç ve orta Anadolu ile doğu illerinde düşük değerler gözlemlenmektedir. Bunun dışındaki bölgelerde değerler normal aralıkta görülmektedir (Şekil 5.35).



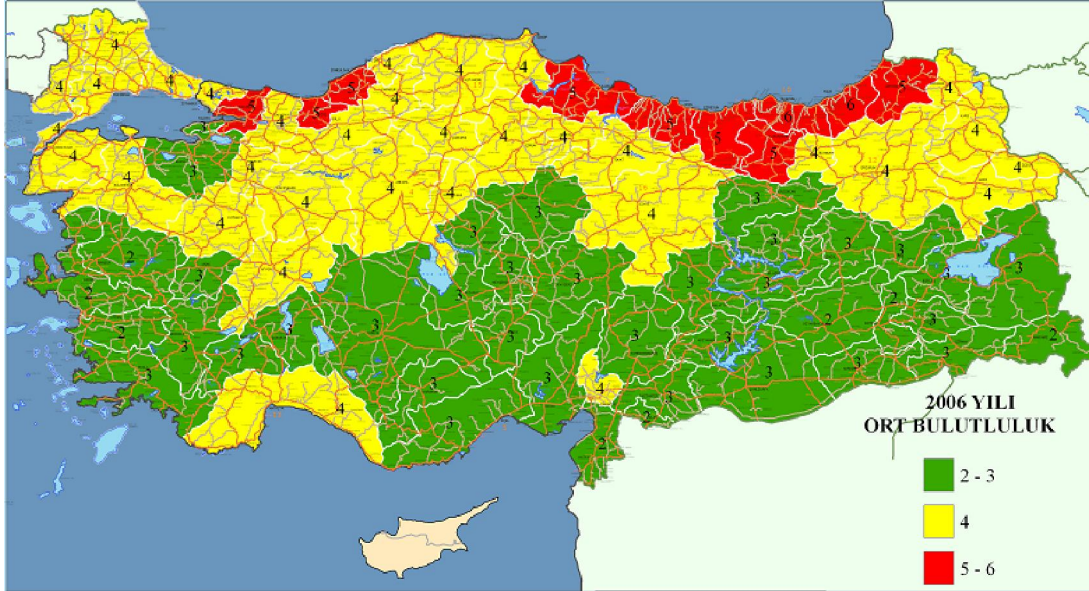
Şekil 5.35 : Toprak sıcaklığı haritası.

Yıllık yağış ortalamaları incelendiğinde iç ve orta Anadolu'da ve Güney Doğu bölgesinde yağışların düşük seviyede kaldığı ve doğu ve batı Karadeniz'de ise yüksek seviyelere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bunun dışındaki bölgeler de ise yağışlar orta seviyededir (Şekil 5.36).



Şekil 5.36 : Ortalama yağış haritası.

Bulutluluk oranının, Doğu ve Batı Karadeniz’de yüksek seviyede seyrederken, Orta Karadeniz ve iç bölgelerden başlayarak yurdun güneyine doğru azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 5.37).



Şekil 5.37 : Ortalama bulutluluk.

5.4 Bozulmaların Modellenmesi

Bozulmaların modellenmesinde ilk olarak çoklu regresyon çözümlemesi kullanılmış, daha sonra bulanık mantık yöntemi ile modellenmeye çalışılmıştır.

5.4.1 Regresyon teriminin tarihçesi

Regresyon terimi ilk kez Francis Galton tarafından kullanılmıştır. Galton bir makalesinde uzun boylu ebeveynlerin uzun, kısa boylu ebeveynlerin kısa boylu çocukları olur eğiliminin doğruluğuna karşın, belli boydaki ebeveynlerin çocuklarının ortalama boyunun genel nüfustaki ortalamaya doğru yaklaşma (İngilizce karşılığı ile “regress”) eğiliminde olduğunu bulmuştur (Galton, 1886).

Galton’un evrensel regresyon yasası, aile bireylerinin boylarına ait binden fazla veri toplayan Karl Pearson tarafından doğrulanmıştır (Pearson ve Lee, 1903). Regresyonun günümüzdeki yorumu ise şöyle yapılabilir: Bir bağımlı değişkenin, başka açıklayıcı değişken(ler)e olan bağımlılığının, birincinin (ana kütle) ortalama değerini, ikinci(ler)in (yinelenen örneklerdeki) bilinen ya da değişmeyen değerleri cinsinden tahmin etme ve/veya kestirme amacı ile incelenmesidir (Gurjati, 1999).

5.4.2 Değişkenler arası ilişki

İlişki, istatistiksel olarak iki değişken arasındaki bağ olarak tanımlanabilir. Örneğin yollardaki bozulma ölçüm değeri RN’nin, YOGT değerleri artarken azalması, aralarındaki ilişkinin varlığına işaret eder. Bir ilişkideki değişkenler matematiksel olarak bir fonksiyon ile ifade edilebilir ise diğer değişkenin değeri az bir hata ile tahmin edilebilir.

Değişkenler arasında istatistiksel olarak bir ilişkinin olmaması birinin diğerini etkilemediği anlamına gelse de bunun tersi doğru olmayabilir (Serper, 2004).

Değişkenler arası ilişki birinin sonuçlarından diğerinin değerini tahmin etmek ya da değişkenler arası farkların değeri üzerindeki etkisini belirlemeye yöneliktir.

Değişkenlerden biri azalır ya da çoğalırken diğerinin de değeri herhangi bir yönde değişiyorsa aralarında bir ilişkiden söz edilebilir.

Regresyon çözümlemesi ilişkinin fonksiyonel şeklini, korelasyon çözümlemesi ise ilişkinin boyutunu ölçmede kullanılır. İlişkinin boyutu korelasyon katsayısı ile gösterilir. Bu sayı değişkenlerin birlikte değişiminin bir değerlendirmesidir.

İki değişken arasında korelasyon sayısı 0'a eşitse aralarında hiçbir ilişkinin olmadığı sonucu çıkartılır. Korelasyon katsayısı, ± 1 'e ne kadar yakınsa diğer değişkeni tahmin etme olasılığı da o kadar yüksek olmaktadır.

Regresyon ise bilinenleri kullanarak bilinmeyenlerin tahmin edilmesidir. "Sonuç" değişkenine bağımlı değişken, sonucu ortaya çıkartan değişkene ise bağımsız değişken adı verilir (Serper, 2004).

Değişkenler arası ilişkiler iki çeşittir:

1. Deterministik
2. Stokastik

Deterministik, değişkenlerden birinin değeri belli olduğunda, diğerinin alacağı değerin kesin olarak belirlenmesi anlamına gelir. Bir başka deyişle bağımlı değişkenin açıklanmasında bağımsız değişken gereklidir ve yeterlidir.

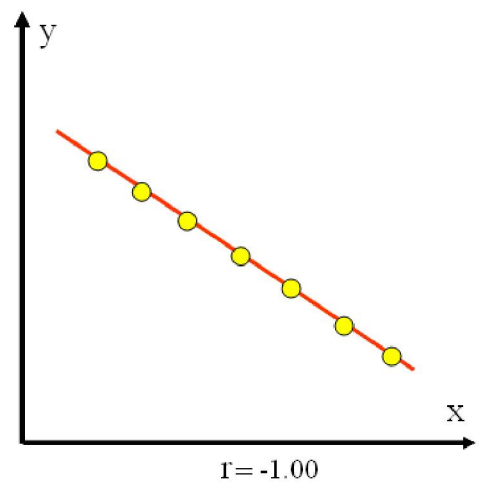
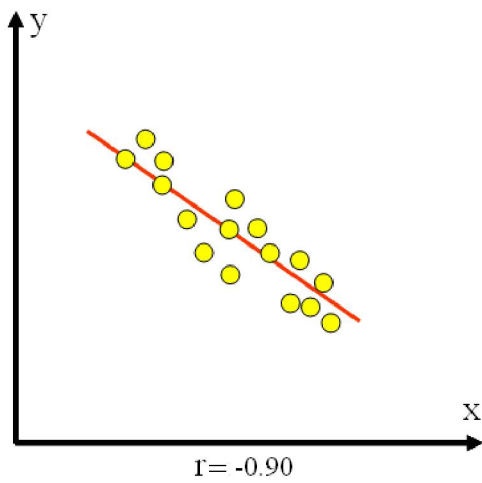
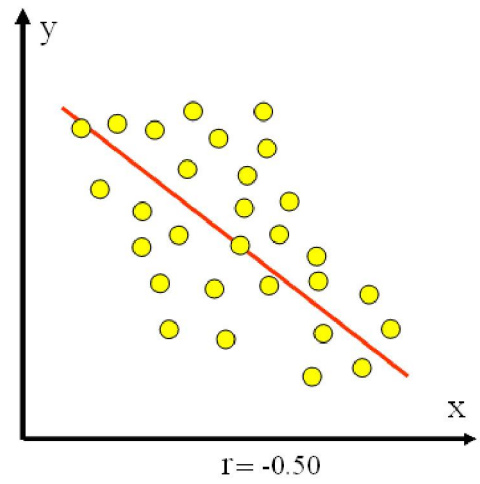
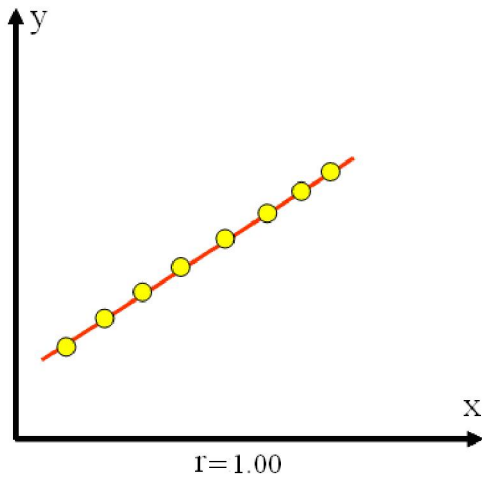
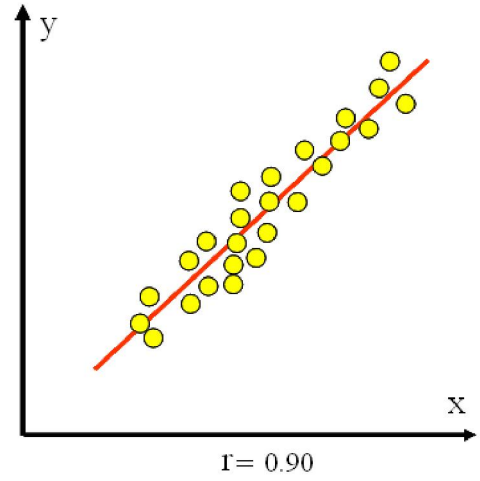
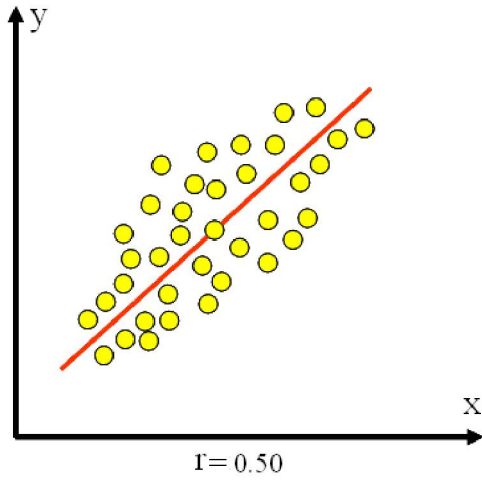
Bağımlı değişkenin açıklanmasında, bağımsız değişken gerekli, ancak yetersiz ise stokastik ilişki söz konusudur.

5.4.3 İlişkilerin serpilme diyagramı ile gösterimi

Değişkenler arası ilişki, verilerin bir koordinat düzlemi üzerinde gösterilmesidir. Bu şekilde gösterilmiş olan verilerin oluşturduğu şekle serpilme diyagramı denir. Verilerin işlenmesi ile oluşan grafik incelendiğinde, değişkenler arası ilişkinin yönünü belirlemek olasıdır.

Grafik gösterimde, dar mekik şekline yaklaştıkça ilişkinin arttığı, geniş mekik şekline yaklaştıkça da ilişkinin azaldığı sonucuna varılabilir.

Şekil 5.38, bir bağımlı ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkinin gücünü serpilme diyagramı ile göstermektedir (Bluman, 1997). Serpilme diyagramında, noktaların birbirlerine yakınlığı ilişkinin gücü hakkında sayısal hesaplama yapmadan araştırmacıya bilgi vermektedir. Diyagramdaki noktalar, noktaları en iyi temsil eden hayali doğruya ne kadar yakında, formülden hesaplanacak korelasyon sayısı +1 veya -1 e o kadar yakın olacaktır.



Şekil 5.38 : Serpilme diyagramı ile korelasyon sayılarının gösterimi.

5.4.4 Doğrusal regresyon

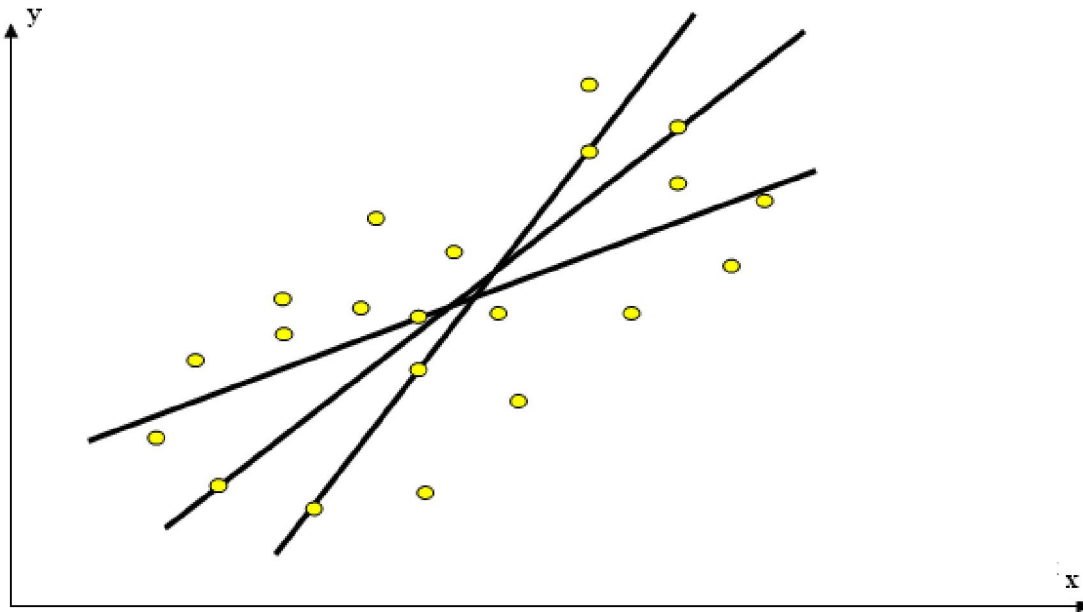
Regresyon çözümlemesinde değişken sayısı bir ya da daha fazla sayıda olabilir. Örnek olarak esnek yol üstyapısı bozulmalarında eşdeğer dingil yükü tekrar sayısı, yağış ve güneşlenme şiddeti arasındaki ilişki gösterilebilir.

Eğer modelde sadece bir bağımsız değişken varsa basit regresyon, birden fazla bağımsız değişken varsa çoklu regresyon modeli söz konusudur. Bununla beraber ilişkin şekli de önem taşır. Eğer ilişki doğrusal ise modelde doğrusal regresyon söz konusudur.

5.4.5 Basit doğrusal regresyon

İlişkilerin serpilme diyagramı ile gösteriminde, noktalar arasından geçirilecek doğrunun (eğrinin), bu noktaları en iyi şekilde temsil etmesi (The Line of Best Fit) arzu edilir.

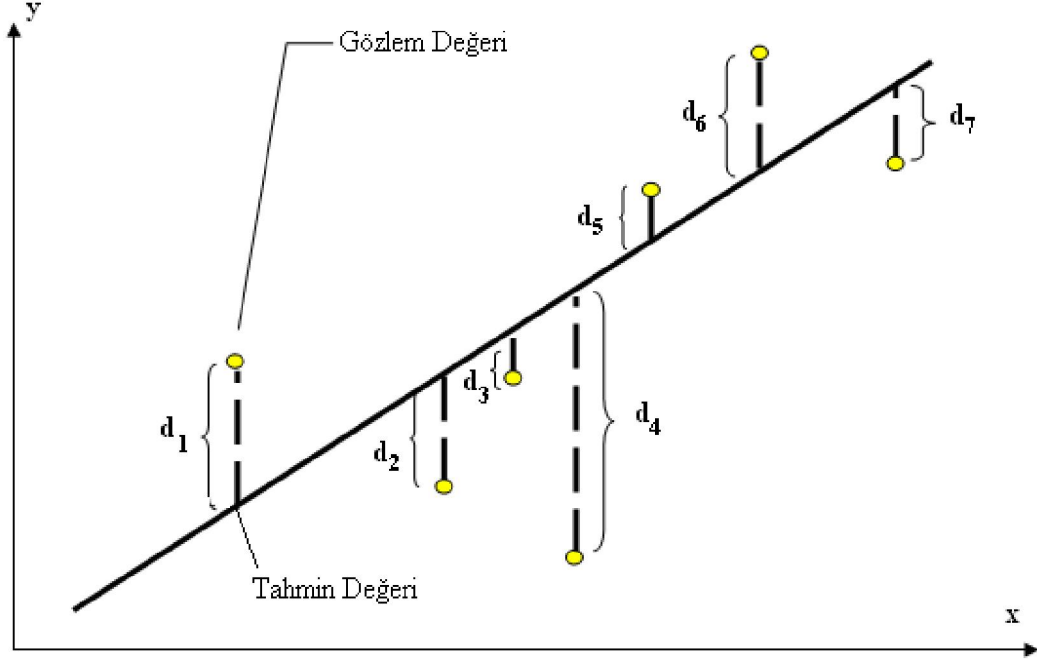
Aşağıdaki serpilme diyagramında noktalar arasından geçirilebilecek (bu noktaları en iyi şekilde temsil edecek) çeşitli doğrular seçilebileceği gösterilmiştir (Şekil 5.39). Ancak, en iyi doğrunun seçimi, çok değişkenli regresyon analizi yöntemi ile yapılmaktadır.



Şekil 5.39 : Regresyon doğrusu.

5.4.6 En küçük kareler yöntemi (EKKY)

En küçük kareler yöntemi serpilme diyagramındaki noktaların, bu noktaları en iyi temsil eden doğruya (regresyon doğrusu) olan uzaklıklarının karelerinin toplamının en küçüklenmesini öngörür. Söz konusu noktaların uzaklık değerleri Şekil 5.40 da gösterilmiştir.



Şekil 5.40 : En küçük kareler yöntemi.

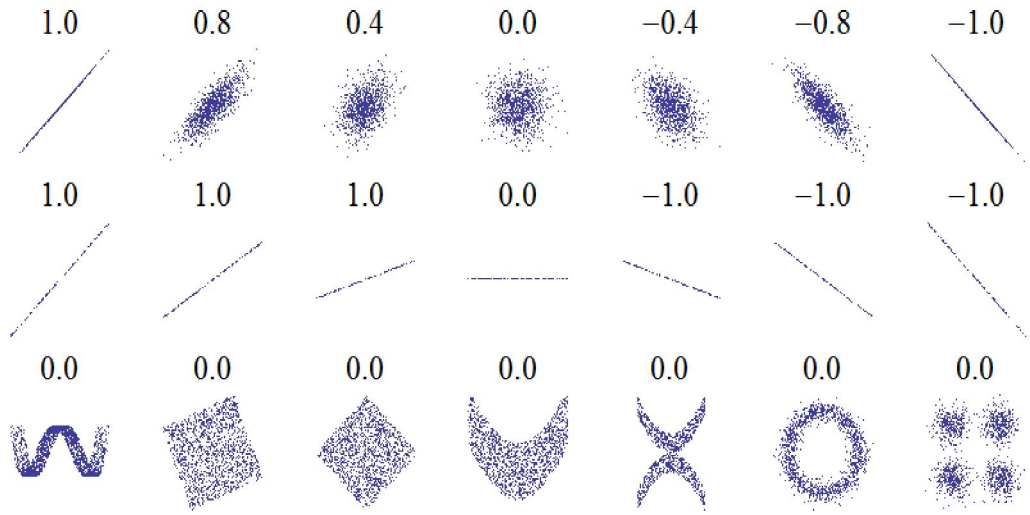
Amaç fonksiyonunun türevi bize, regresyon parametrelerini tahmin eden “normal denklemlere” ulaştırır. Bu yöntemle bulunan tahmin edicilerin özellikleri aşağıdaki gibidir (Gurjarati, 1999):

1. En küçük kareler yönteminin tahmin edicileri, yalnız gözlemlenebilen büyüklükleri cinsinden gösterilebilir.
2. Örnekler veri iken, her tahmin edici ilgili parametrenin sadece tek bir nokta tahminini verir.
3. En küçük kareler yönteminin tahmin edicileri bulunduktan sonra, elde edilen regresyon doğruları aşağıdaki özellikleri taşır.
 - a. Bağımlı değişken ve bağımsız değişkenin ortalama değerlerinden geçer.
 - b. Tahmin edilen bağımlı değişkenin ortalama değeri, ölçülen bağımlı değişken değerinin ortalamasına eşittir.

5.4.7 Doğrusal regresyon analizi ile ilgili varsayımlar

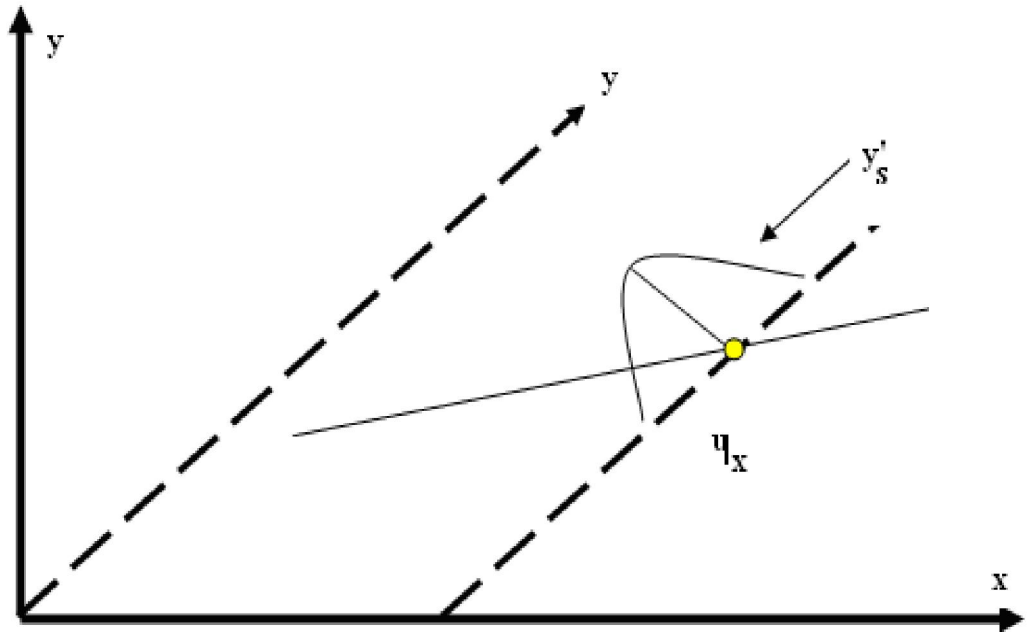
Doğrusal regresyon analizinin varsayımları aşağıdaki gibidir (Serper, 2000):

- i. Hata teriminin alabileceği değerler, X 'in her bir değeri için artı, eksi ya da sıfır değerlerinden herhangi biri olabilir. Modelde, hata terimi, modele katılmayan bağımsız değişkenler ve yapılan ölçüm hatalarının model üzerindeki etkisini göz önüne almak için kullanılır.
- ii. Hata terimi ortalaması sıfırdır.
- iii. Hata teriminin varyansı sabittir yani X değerlerine göre değişmez.
- iv. Hata terimi normal dağılım gösterir.
- v. Birbiri ardına gelen hata terimleri bağımsızdır. Ardışık bağımlılık yoktur.
- vi. Serbest değişken değerleri sabit sayılardır. Hata terimi bu sayılardan bağımsızdır.
- vii. Serbest değişkende ölçme hatası yoktur.
- viii. Serbest değişkenler arasında kuvvetli bir doğrusal bağ yoktur.
- ix. Modele giren değişkenlerin veri toplaması doğru yapılmıştır.
- x. Modelin başkaca bir matematiksel kalıbı yoktur.
- xi. Model kalıbı doğru seçilmiş ve tüm önemli değişkenler modele dahil edilmiştir.
- xii. İki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı ile ölçülür. Korelasyon katsayısı " r " harfi ile sembolize edilir. Bu sayı, bir neden sonuç ilişkisi kurmasa da, değişkenlerin yeni değerler almasının ne kadar uygun olduğunu belirler. Korelasyon katsayısı, -1 ile +1 değerleri arasında yer alır. Artı değer alması değişkenlerden biri artarken diğerinin de arttığını, eksi değer alması ise değişkenin değerinin artarken diğer değişkenin değerinin azaldığının bir göstergesidir (Şekil 5.41).



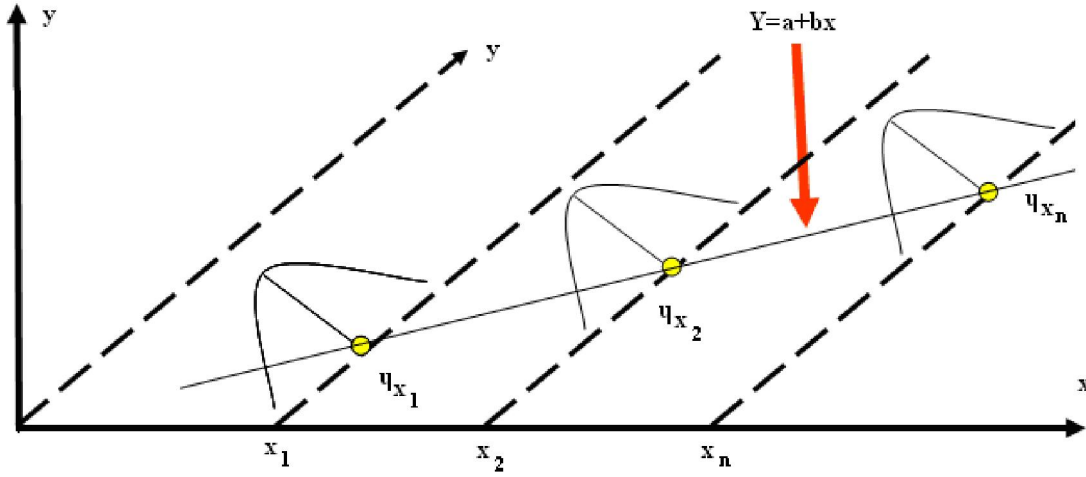
Şekil 5.41 : Korelasyon katsayıları (doğrusal ve eğrisel).

Elde bulunan verilerin, sınırlarının dışına doğru tahminler yapıldığında bu sonuçlar dikkatle yorumlanmalıdır. $\hat{Y}$ için yapılacak varsayımlardan biri de, regresyon analizine giren bağımlı değişken Y 'nin normal dağılımlı olma koşuludur (Şekil 5.42). Diğer bir ifade ile X bağımsız değişkeninin her bir değeri için, Y bağımlı değişkeninin değeri, normal dağılım göstermelidir (Bluman, 1997).



Şekil 5.42 : Normal dağılımlı bağımlı değişken.

Regresyon yöntemi ile yapılacak geçerli tahminler için diğer bir varsayım da şudur: her bir bağımlı değişkenin standart sapması, bağımsız değişkenin alabileceği her bir değer için aynı kalmalıdır (Bluman, 1997). Söz konusu durum Şekil 5.43 de gösterilmiştir..



Şekil 5.43 : Standart sapmaların birbirine eşitliği.

Basit (iki değişkenli) regresyon modelinde tek bir bağımsız değişken söz konusudur (5.1).

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + u_i \quad (5.1)$$

Burada α ve β parametreleri, Y'ye bağlı X değişkeni değerleri kullanılarak bulunur. Regresyon modelinde kullanılmayan değerler için, u hata terimi her zaman var olmayabilir. Bu durumda bazı varsayımlarda bulunulur. Formül 5.1 de verilen, X ile Y arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir (5.2).

$$Y_i = a + bX_i + e_i \quad (5.2)$$

Burada;

Y_i : Gözlem değeri

a: α kesim noktasının tahmin değeri

b: β parametresi tahmin değeri

e: u hata teriminin tahmin değeri

Değerin sıfır olması değişkenler arası bir ilişkinin var olmadığına işaret eder. Korelasyon katsayısı hesaplamasında formül 5.3 kullanılabilir.

$$r = \frac{\sum x_i y_i}{\sqrt{\sum x_i^2 y_i^2}} \quad (5.3)$$

Formülde;

$$x_i = X_i - \bar{X}$$

$$y_i = Y_i - \bar{Y}$$

Bulunan 0 ile 1 arasındaki değerlerin istatistiksel bakımdan ne anlama geldiğinin belirlenmesi amacı ile hipotez testleri yapılabilir. Analizde kullanılan n sayıdaki veriler, tüm veri alanından alınan örneklem verilerdir.

Sıfır hipotezi ($\rho=0$) X ve Y değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki olmadığı şeklindeki hipotezdir. Hipotezi test etmek için “t-tablo” değeri formül 5.4 kullanılarak elde edilen t sonucu ile karşılaştırılır.

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (5.4)$$

Formülde;

t: Test istatistiği

n: Gözlem sayısı

r: Korelasyon katsayısı

5.4.8 Çoklu doğrusal regresyon

Basit regresyonda bağımsız değişken adedi bir tane iken, bu araştırmada oluşturulacak modelde de görüleceği gibi uygulamada bağımsız değişken sayısı birden fazladır. Değişkenler arasındaki ilişki 5.5 formülü ile ifade edilebilir.

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \gamma Z_i + u_i \quad (5.5)$$

Tahmin edilen ilişki ise formül 5.6 ile gösterilmiştir.

$$\hat{Y}_i = a + bX_i + cZ_i + e_i \quad (5.6)$$

Formülde:

Y_i : Gözlem değeri

$\hat{Y}$: X'in herhangi bir değeri için tahmin edilen y değeri

a: α kesim noktasının tahmin değeri

b: β parametresi tahmin değeri

c: γ parametresi tahmin değeri

e: u hata teriminin tahmin değeri

Bu verilere göre tahmin edilen regresyon doğrusu formül 5.7 de gösterilmiştir.

$$\hat{Y}_i = a + bX_i + cZ_i \quad (5.7)$$

Yukarıdaki formülde Y'deki değişim hem X'e hem de Z'ye bağlıdır. Formülde a, b ve c regresyon katsayılarıdır. Değişken sayısının birden fazla olması halinde değişkenler arasındaki ilişki çoklu korelasyon katsayısı olan r ile hesaplanabilir. Bu sayının karesi olan R^2 ile ifade edilen çoklu belirlilik katsayısı ile formül 5.8 hesaplanabilir.

$$R^2 = \frac{b \sum x_i y_i + c \sum z_i y_i + d \sum t_i y_i + \dots}{\sum y_i^2} \quad (5.8)$$

Modeldeki bağımsız değişken sayısı arttığında serbestlik derecesi azalır. Bu sebeple R^2 'nin düzeltilmesi gerekir. Düzeltilmiş R^2 formül 5.9 ile hesaplanabilir.

$$(R')^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-k} \quad (5.9)$$

Formülde

n: Gözlem sayısı

k: Parametre sayısıdır.

Modele yeni eklenen değişkenler (R^2) yi arttırıyorsa modelde kalmalı arttırmıyorsa modelden çıkartılmalıdır. R^2 nin anlamlılığını ortaya koymak üzere F testi yapılabilir (5.10).

$$F = \frac{\frac{R^2}{k-1}}{\frac{1-R^2}{n-k}} \quad (5.10)$$

Formülde

n: Gözlem sayısı

k: Parametre sayısıdır.

Burada k-1 ve n-k serbestlik dereceleri ele alınarak F değer tablosundaki değerle karşılaştırılır.

5.4.9 Regresyon denkleminin test edilmesi

Regresyon çözümlemesi ile elde edilen denklemin irdelenmesi, varsayımların test edilmesi ile yapılır. Bu testler, bulunan denklemin güvenilirliğinin değerlendirilmesi amacını taşır.

5.4.10 Çoklu lineer bağımlılık

Değişkenler arasında doğrusal bir ilişki bulunmasına çoklu lineer bağımlılık adı verilmektedir. Bu bağımlılık modelin spesifikasyon hatasına yol açar. Çoklu lineer bağımlılığın var olması durumunda aşağıda yer alan önlemlere başvurulabilir.

- i. Analize dahil edilen örnek sayısı fazlalaştırılır.
- ii. Önemli olmayan bağımsız değişkenler analizden çıkartılır.
- iii. Yakın bir ilişki içerisinde olan serbest/bağımsız değişkenler birleştirilerek tek bir değişken olarak kullanılabilir.

5.4.11 Hata terimleri arasında otokorelasyon

Lineer regresyon modelinde, hata terimleri arasında otokorelasyon olmadığı varsayımı yapılır. Ancak eğrisel bir model seçilmesi yerine doğrusal bir model seçilmesi, model dışında kalan bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni sadece azaltıcı ya da attırıcı etkilerinin olması ve bağımlı değişkenin ölçme hatalarının bulunması durumlarında otokorelasyon meydana gelebilir.

Hata terimleri arasında otokorelasyon varsa, denkleme güvenilmemesi gerekir. Hata terimlerinin bağımsızlığını test etmek amacı ile Durbin-Watson testi uygulanmalıdır. Bu testin temelindeki d istatistiği formül 5.11 ile hesaplanabilir.

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (5.11)$$

Bu formülde;

Y_i : Gözlem değeri

$\hat{Y}$: X'in herhangi bir değeri için tahmin edilen y değeri

e_i : $Y_i - \hat{Y}$

e_{i-1} : $Y_{i-1} - \hat{Y}_{i-1}$

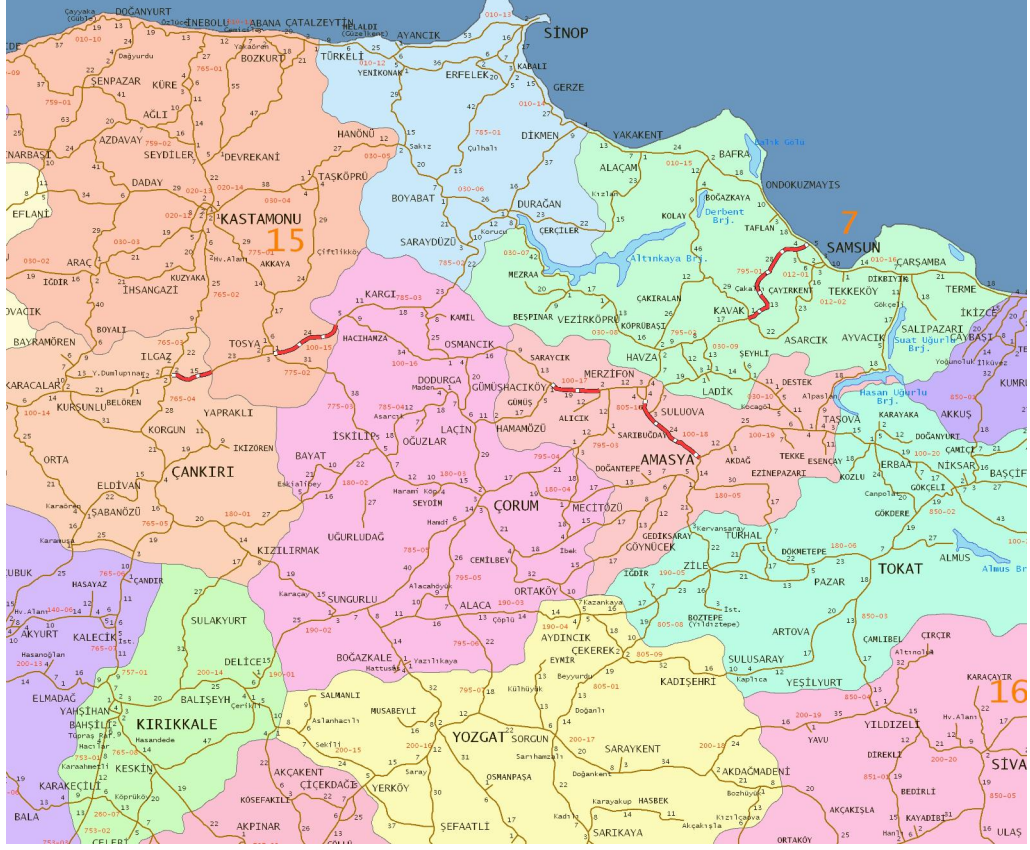
dir. Pozitif otokorelasyonun varlığı durumunda d testi küçük, negatif otokorelasyon durumunda ise büyük çıkar. Bu testin sayısal değerlendirmesinde d değeri sıfıra yakınsa pozitif otokorelasyon, 4'e yakınsa negatif otokorelasyondan bahsedilir. Otokorelasyonun var olmadığını ise 2'ye yakın değerler ifade eder.

5.5 Çalışma Metodu ve Metodoloji

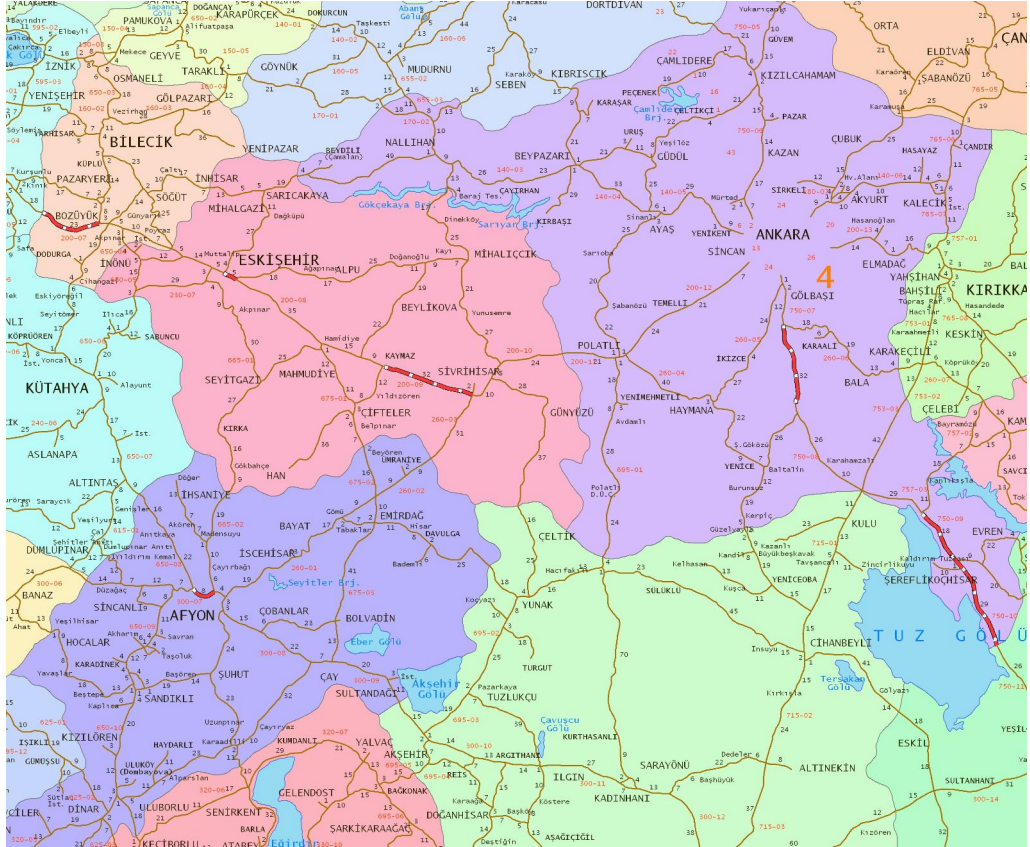
Araştırma sonucunda önerilmek üzere oluşturulacak modeli belirlemek amacı ile 40 adet Devlet Yolu kesimi belirlenmiştir. Bu seçimi belirlerken herhangi bir örnekleme metodundan çok, güvenilir veriye sahip olan veri seti kullanılmıştır. Bu yollardan bazılarının harita üzerindeki konumu Şekil 5.44 ve Şekil 5.45 de gösterilmiştir.

Çoklu regresyon analizi ile oluşturulan modelde kullanılan yol kesimleri yukarıdaki haritalarda verilenlerle sınırlı değildir. Modelde kullanılan yol kesimlerinin tam listesi Çizelge 5.2 de gösterilmiştir.

Bu çizelgede, “Tüm No” bölümünde, ilk kesme işaretinin sağında ve solundaki sayılar yol numarasını, ikinci kesme işaretinin sağında yer alan sayı ise dilim numarasını ifade etmektedir. Ölçüm yılı, RN değeri ölçümü yapılan yılı ifade etmektedir.



Şekil 5.44 : Seçilen yollar-Kastamonu-Çankırı-Amasya-Samsun.



Şekil 5.45 : Seçilen yollar- Bilecik-Ankara-Eskişehir-Afyon.

Çizelge 5.2 : Modelde kullanılan yol kesimleri.

SIRA NO	TÜM NO	DEĞER ÖLÇÜM YILI	RN	SIRA NO	TÜM NO	DEĞER ÖLÇÜM YILI	RN
1	200-08-3	1996	3,22	21	750-16-1	2000	3,21
2	795-01-1	1996	3,16	22	400-31-1	2000	3,53
3	100-17-2	1996	3,91	23	750-10-0	2000	3,22
4	750-10-0	1996	3,73	24	565-08-2	1998	3,03
5	750-09-2	1996	3,56	25	750-11-2	2000	2,80
6	200-09-2	1996	3,82	26	200-07-1	2000	3,43
7	100-14-5	1998	3,51	27	100-18-2	2000	3,47
8	400-31-1	1998	2,75	28	750-08-1	2000	3,65
9	100-15-2	1998	3,64	29	750-12-2	2002	2,85
10	565-09-1	1998	3,97	30	565-09-1	2002	2,80
11	400-28-1	1998	2,81	31	400-30-1	1998	3,24
12	200-07-1	1998	3,73	32	750-10-0	2002	2,98
13	400-27-2	1998	2,95	33	750-11-2	2002	2,49
14	400-26-1	1998	3,48	34	400-27-2	2002	2,80
15	320-02-3	2000	3,79	35	400-26-1	2002	2,98
16	200-09-2	1998	3,71	36	320-02-3	2002	3,39
17	200-08-3	2000	3,09	37	300-07-3	2002	2,85
18	795-01-1	2000	2,90	38	750-08-1	2002	3,43
19	100-14-5	2000	3,44	39	565-08-2	2000	2,95
20	750-12-2	2000	3,24	40	565-10-2	1998	3,20

Modele girecek olan bağımsız değişkenlerin belirlenmesi aşamasında, sistemdeki tüm iklim verileri derlenmiş ve çoklu regresyon çözümlemesi yapılmıştır. İklim verileri ortalama sıcaklık, ortalama nem, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, güneşlenme şiddeti, toplam yağış, ortalama bulutluluk, ortalama kar ve toprak sıcaklığıdır.

Farklı yıllarda Devlet Yolları'nın değişik kesimlerinde yapılan bozulma ölçümlerinde, o yola ait üstyapı kalınlığı verileri KGM tarafından tam olarak verilemediği için modelde değerlendirmeye alınamamıştır. Bu aşamada kullanılan veri tablosu Çizelge 5.3 de görülebilir.

Çizelge 5.3 : Model analiz verileri.

YEDYS	ORSIC	ORNEM	MAXSIC	MINSIC	GUNSID	TOPYAG	ORBUL	ORKAR	TOPSIC	RN
16776130	10	67	25	-4	0,00033	0,03846	4	3	0	3,22
23300870	14	73	26	5	0,00031	0,01695	5	5	16	3,16
10342640	13	60	29	0	0,0003	0,02564	4	7	15	3,91
12839240	12	62	24	0	0,00029	0,0303	4	2	13	3,73
12398685	12	62	24	0	0,00029	0,0303	4	2	13	3,56
5852410	10	66	25	-4	0,00035	0,03846	4	3	0	3,82
17071780	11	65	25	-3	0,00028	0,0303	5	3	14	3,51
1179680	4	37	10	1	0,01	0,02778	2	2	0	2,75
13504635	10	66	24	-2	0,00037	0,02632	5	3	12	3,64
15600100	16	62	28	4	0,0004	0,0137	3	0	19	3,97
7479580	15	49	26	5	0,00699	0,01471	3	3	18	2,81
9663375	12	75	26	1	0,00032	0,02222	4	5	12	3,73
9465910	18	55	30	7	0,00024	0,02083	0	0	20	2,95
7581780	18	55	30	7	0,00024	0,02083	0	0	20	3,48
14288655	17	59	30	6	0,00024	0,01563	2	0	19	3,79
11343835	10	68	25	-4	0,00034	0,03333	4	3	0	3,71
33342020	10	66	25	-4	0,00033	0,03448	4	3	0	3,09
42842970	14	71	26	5	0,00031	0,01754	5	3	16	2,9
21392285	11	66	25	-3	0,00028	0,02857	5	3	14	3,44
6965660	11	48	25	-1	0,00027	0,03704	3	3	15	3,24

Çizelge 5.3 : (devam) Model analiz verileri.

19914765	11	59	24	-2	0,00022	0,03333	3	5	13	3,21
2099480	7	37	14	2	0,002	0,02632	2	2	0	3,53
30830455	12	62	24	0	0,00028	0,02857	5	3	13	3,22
24507195	16	60	29	5	0,0012	0,01538	3	1	19	3,03
41059945	11	44	26	0	0,00028	0,03571	3	3	15	2,8
17350640	12	74	26	2	0,00031	0,02381	4	4	12	3,43
20318820	13	59	28	1	0,0003	0,02564	4	4	15	3,47
23927940	12	62	24	0	0,00028	0,02632	6	4	13	3,65
14244490	11	49	26	-1	0,00027	0,03704	3	3	15	2,85
46258640	17	62	29	5	0,00105	0,01429	3	1	20	2,8
10995625	15	49	26	5	0,00699	0,01471	3	3	18	3,24
40300745	12	61	25	0	0,00028	0,02857	5	4	13	2,98
56465135	11	47	26	-1	0,00027	0,03704	3	3	15	2,49
20704260	18	54	30	8	0,00024	0,02273	0	2	20	2,8
17705055	18	54	30	8	0,00024	0,02222	0	2	21	2,98
19277475	17	60	30	6	0,00024	0,01515	2	0	19	3,39
59944680	11	64	24	-1	0,00026	0,02703	4	7	13	2,85
33608105	12	62	25	0	0,00028	0,02703	5	4	13	3,43
35314115	17	61	29	5	0,0014	0,01538	3	1	19	2,95
15377450	16	62	29	5	0,0006	0,01515	3	0	19	3,2

Çoklu regresyon çözümlemesinde bağımsız değişkenlerin belirlenmesi için veri setinin birçok farklı kombinasyonlarından oluşan model denemeleri yapılmıştır. SPSS paket programında “Stepwise” yöntemi kullanılarak çoklu regresyon modeline esas oluşturacak bağımsız değişkenler, YEDYS, minimum sıcaklık, güneşlenme şiddeti ve toplam yağış olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5).

Çizelge 5.4 : Stepwise yöntemi sonuçları.

Model		Standardize Edilmemiş		Standardize	t	Sig.
		B	Std. Hata	Beta		
1	(Sabit)	3,562	0,092		38,529	0,000
	YEDYS	-1,396E-08	0,000	-0,527	-3,819	0,000
2	(Sabit)	2,355	0,284		8,281	0,000
	YEDYS	-1,630E-08	0,000	-0,615	-5,349	0,000
	ORNEM	0,021	0,005	0,506	4,403	0,000
3	(Sabit)	2,802	0,333		8,405	0,000
	YEDYS	-1,802E-08	0,000	-0,680	-6,037	0,000
	ORNEM	0,015	0,005	0,362	2,871	0,007
	GUNSID	-53,271	23,383	-0,297	-2,278	0,029
4	(Sabit)	3,115	0,322		9,683	0,000
	YEDYS	-2,029E-08	0,000	-0,766	-7,184	0,000
	ORNEM	0,006	0,006	0,140	1,016	0,316
	GUNSID	-68,228	21,880	-0,380	-3,118	0,004
	ORBUL	0,090	0,031	0,357	2,917	0,006
5	(Sabit)	3,425	0,104		32,797	0,000
	YEDYS	-2,069E-08	0,000	-0,781	-7,390	0,000
	GUNSID	-80,162	18,470	-0,447	-4,340	0,000
	ORBUL	0,107	0,026	0,426	4,174	0,000
6	(Sabit)	3,668	0,148		24,846	0,000
	YEDYS	-2,131E-08	0,000	-0,804	-7,974	0,000
	GUNSID	-89,055	17,988	-0,496	-4,951	0,000
	ORBUL	0,121	0,025	0,480	4,806	0,000
	TOPYAG	-10,510	4,732	-0,219	-2,221	0,033
7	(Sabit)	4,761	0,395		12,066	0,000
	YEDYS	-1,977E-08	0,000	-0,746	-7,987	0,000
	GUNSID	-97,319	16,530	-0,542	-5,887	0,000
	ORBUL	0,027	0,039	0,107	0,685	0,498
	TOPYAG	-37,271	10,046	-0,776	-3,710	0,001
	MINSIC	-0,079	0,027	-0,770	-2,945	0,006
8	(Sabit)	4,983	0,224		22,231	0,000
	YEDYS	-1,923E-08	0,000	-0,726	-8,259	0,000
	GUNSID	-99,075	16,206	-0,552	-6,113	0,000
	TOPYAG	-41,920	7,350	-0,872	-5,703	0,000
	MINSIC	-0,094	0,015	-0,916	-6,076	0,000

Çizelge 5.5 : Modelde kullanılan veriler.

YEDYS	MINSIC	GUNSID	TOPYAG	RN
16776130	-4	0,000328	0,038462	3,22
23300870	5	0,000312	0,016949	3,16
10342640	0	0,000297	0,025641	3,91
12839240	0	0,000286	0,030303	3,73
12398685	0	0,000286	0,030303	3,56
5852410	-4	0,000347	0,038462	3,82
17071780	-3	0,000283	0,030303	3,51
1179680	1	0,01	0,027778	2,75
13504635	-2	0,000372	0,026316	3,64
15600100	4	0,0004	0,013699	3,97
7479580	5	0,006993	0,014706	2,81
9663375	1	0,000321	0,022222	3,73
9465910	7	0,000245	0,020833	2,95
7581780	7	0,000245	0,020833	3,48
14288655	6	0,000243	0,015625	3,79
11343835	-4	0,000335	0,033333	3,71
33342020	-4	0,000329	0,034483	3,09
42842970	5	0,00031	0,017544	2,9
21392285	-3	0,000279	0,028571	3,44
6965660	-1	0,000274	0,037037	3,24
19914765	-2	0,000216	0,033333	3,21
2099480	2	0,002	0,026316	3,53
30830455	0	0,000282	0,028571	3,22
24507195	5	0,001199	0,015385	3,03
41059945	0	0,000275	0,035714	2,8
17350640	2	0,000312	0,02381	3,43
20318820	1	0,000299	0,025641	3,47
23927940	0	0,000279	0,026316	3,65
14244490	-1	0,000269	0,037037	2,85
46258640	5	0,001052	0,014286	2,8
10995625	5	0,006993	0,014706	3,24
40300745	0	0,000281	0,028571	2,98
56465135	-1	0,000269	0,037037	2,49
20704260	8	0,000241	0,022727	2,8
17705055	8	0,000241	0,022222	2,98
19277475	6	0,000244	0,015152	3,39
59944680	-1	0,000262	0,027027	2,85
33608105	0	0,000278	0,027027	3,43
35314115	5	0,001403	0,015385	2,95
15377450	5	0,000599	0,015152	3,2

Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni en iyi açıkladığı model Çizelge 5.4 de model no: 8 olarak görülmektedir. Elde edilen model özeti çizelge 5.6 da gösterilmiştir.

Model özetinde R^2 (Belirginlik Katsayısı) değeri, modelin, değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklama gücünü göstermektedir. Modelde elde edilen R^2 değeri, modelin, RN değerini tahmin etmede yeterli güce sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.6 : Model özeti.

Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası	Durbin-Watson
1	0,870	0,757	0,729	0,19526	1,992

5.6 Varsayımların Sınanması

Model üzerinde yapılan Durbin-Watson test sonucunun değeri, otokorelasyonun var olmadığını kesin bir değerle ortaya koymaktadır (Chattejee ve Hadi, 2006).

Modelde elde edilen sonuçlarda, bağımsız değişkenler arası korelasyonlar incelenmiş olup, sonuçlar korelasyon çizelgesinde gösterilmiştir (Çizelge 5.7). Çizelgedeki değerler incelendiğinde, modelde kullanılan değişkenlerin uygun olduğu sonucuna varılmaktadır. Modele ait varyans çözümlemesi Çizelge 5.8 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 : Korelasyon değerleri.

		RN	YEDYS	MIN SIC	GUNSID	TOP YAG
Pearson Korelasyonu	RN	1,000				
	YEDYS	-0,527	1,000			
	MINSIC	-0,237	-0,063	1,000		
	GUNSID	-0,280	-0,304	0,168	1,000	
	TOPYAG	-0,003	0,030	-0,631	-0,235	1,000

Çizelge 5.8 : ANOVA tablosu.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Regresyon	4,157	4	1,039	27,259	0,000
Kalıntı	1,334	35	0,038		
Toplam	5,491	39			

Varyans çözümlemesi (ANOVA) çizelgesindeki en önemli sonuç son sütundaki anlamlılık (significance-sig.) değeridir. Bu değer (0,000...) seçilen alfadan ($\alpha=0,05$) çok daha küçük olduğundan, “modelin tümü geçersizdir” şeklindeki sıfır hipotezi reddedilir. Diğer bir deyişle modelin geçerliliği ispatlanmış olur. Çizelge 5.9 da katsayılar çizelgesinde model sonucu elde edilen parametrelere (katsayılara) ait değerler görülmektedir.

Çizelge 5.9 : Katsayılar.

Model	Katsayılar		Std.	T	Sig.	Bağılık İstatistikleri	
	B	Std. Hata	Beta			Tole.	VIF
SABİT	4,983	0,224		22,231	0,000		
YEDYS	-1,923E-08	0,000	-0,726	-8,259	0,000	0,899	1,113
MINSIC	-0,094	0,015	-0,916	-6,076	0,000	0,306	3,270
GUNSID	-99,075	16,206	-0,552	-6,113	0,000	0,852	1,174
TOPYAG	-41,920	7,350	-0,872	-5,703	0,000	0,297	3,370

Değişkenlerin bağımlı değişken RN 'ye göre anlamlılık (sig.) değerlerinin tümü $\alpha=0,05$ değerinden çok küçüktür. Ayrıca modeldeki hata terimleri arasında otokorelasyon olup olmadığının anlaşılması amacı ile varyans artış faktörlerine (VIF) bakılmalıdır.

Modeldeki VIF değerlerinin, 10 değerinden büyük olması, aralarındaki korelasyonun çok yüksek olduğu anlamını taşır. Bazı araştırmacılar daha da katı davranarak bu değerin 5 den küçük olmasının uygun bulmaktadır (Levine ve diğ., 2000).

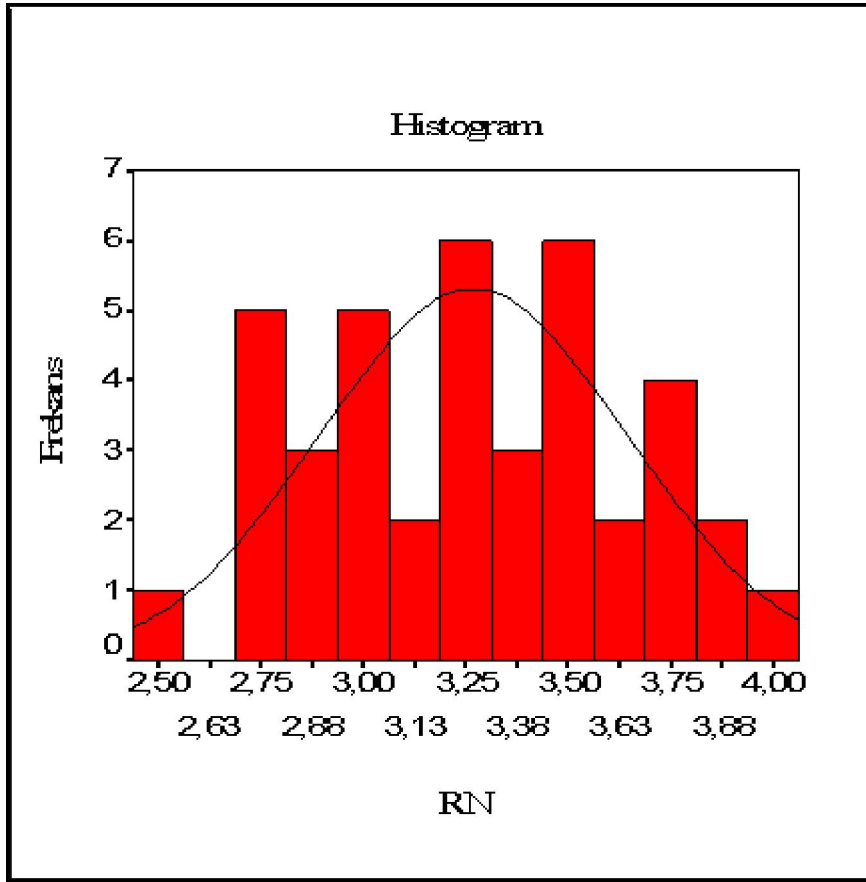
Her iki durumda da modeldeki tüm VIF değerleri limit değerin altında kalmaktadır. Bu da modeldeki her bağımsız değişkenin, bağımlı değişkeni açıklamakta kullanılmasının doğru olduğunu teyit eder.

Diğer taraftan, regresyon çözümlemesinin varsayımlarından olan “Bağımlı değişkenin normal dağılımlı olması” yani, RN değerlerinin normal dağılım gösterdiğinin belirlenmesi amacı ile normallik testleri yapılmıştır. Bu testler Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleridir (Çizelge 5.10).

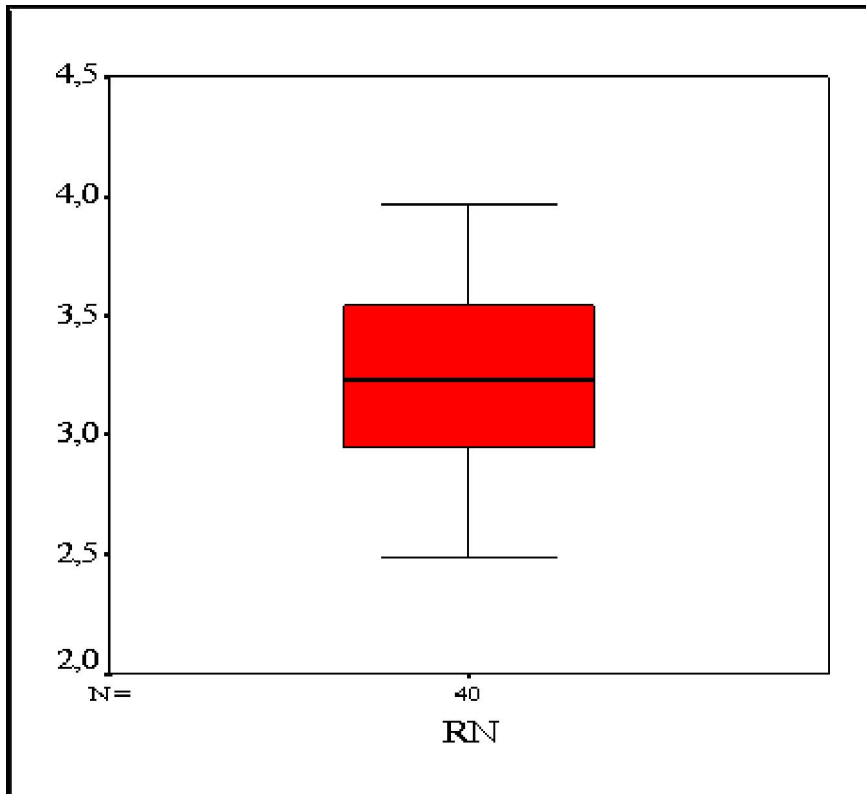
Çizelge 5.10 : Normallik testleri.

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	Df	Sig.	İstatistik	Df	Sig.
RN	0,103	40	0,200	0,967	40	0,295

Her iki testteki sig. sonuçları 0,05 değerinden büyük olduğundan RN nin normal dağıldığı sonucuna varılır. Bu durum ayrıca Şekil 5.46 da grafik olarak gösterilmiştir. Aynı dağılım Şekil 5.47 de gösterilen kutu grafiğinde de teyit edilebilir.



Şekil 5.46 : RN normal dağılım.



Şekil 5.47 : RN kutu dağılım.

5.7 Çoklu Regresyon Çözümlemesi Sonuç Değerlendirmesi

Bağımlı değişken olan “Ride Number” (RN) değerini; yığılımlı eşdeğer dingil yükü sayısı yanında minimum sıcaklık, güneşlenme şiddeti ve toplam yağış bağımsız değişkenlerini kullanarak tahmin eden bir model bulunmuştur.

Geliştirilen çoklu regresyon modelinin tüm varsayımları sağladığı ispatlanmış ve konu ile ilgili yapılan test ve değerlendirmelerin tümünden başarı ile geçmiştir. Sonuç olarak, aşağıdaki model RN değerini, herhangi bir yol kesimi için %95 güvenilirlikle tahmin edebilir (5.14).

$$\hat{RN} = 4,983 - 1,923 \cdot 10^{-8} YEDYS - 0,094 MINSIC - 99,075 GUNSID - 41,92 TOPYAG \quad (5.14)$$

Modelde;

$\hat{RN}$: hesaplanacak bozulma tahmin değeri

YEDYS: Yığılımlı eşdeğerlik dingil yükü tekerrür sayısı

MINSIC: En düşük sıcaklık değeri

GUNSID: Güneşlenme şiddeti

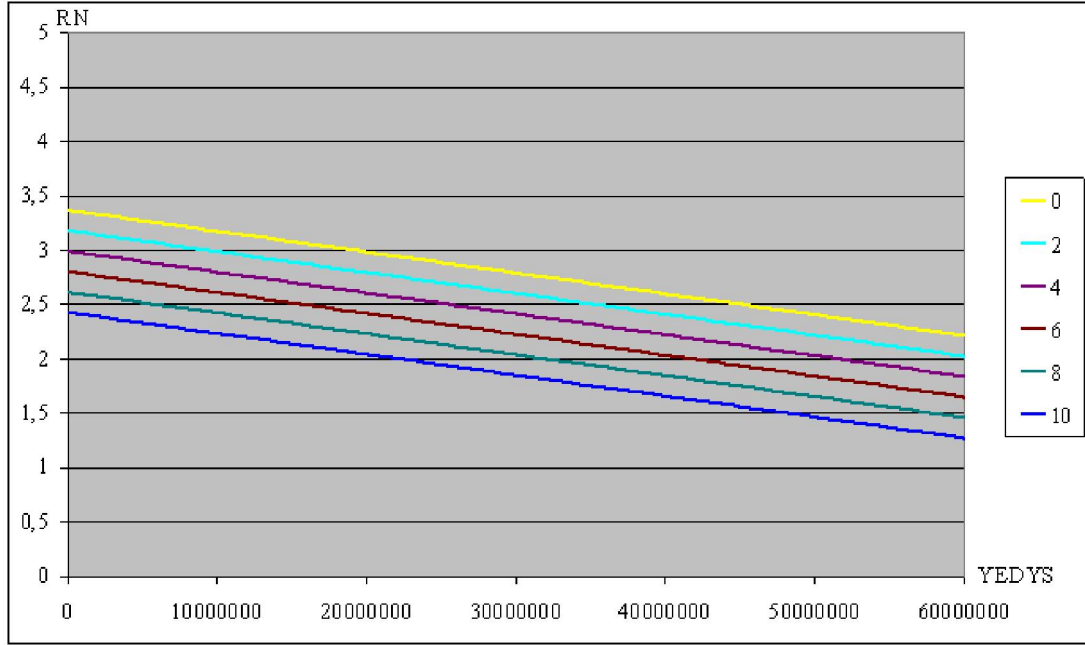
TOPYAG: Toplam yağış değeri

Bu değerlendirmeler sonucu, çoklu regresyon modelinde kullanılan tüm bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklamakta gerekli ve yeterli güce sahip olduğu onaylanmış olmaktadır.

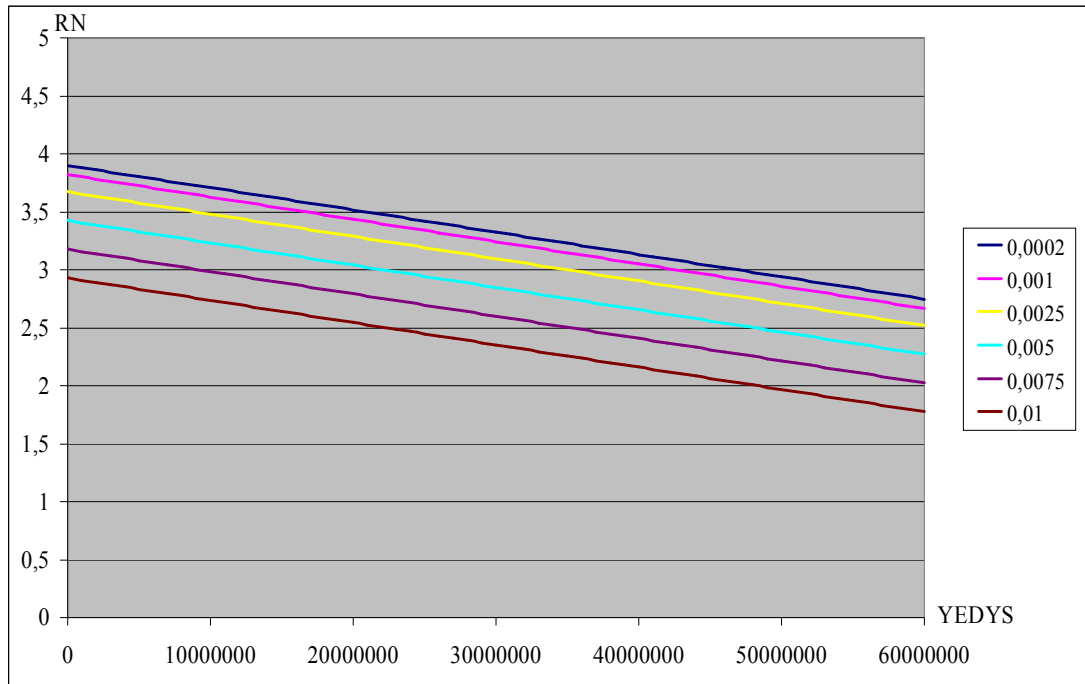
Ayrıca modelde trafik ve iklim bağımsız değişken değerlerinin tümü sıfır olarak değerlendirildiğinde elde edilen RN değeri, yolun ilk trafiğe açıldığı durumda beklenen teorik değer olan beşe çok yakındır. Bu da modelin salt matematiksel olarak değil, mantıksal olarak da (nedensellik) uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Artan yığılımlı eşdeğer dingil yükü ile bozulmaya etken iklim değişkenleri değişik etki seviyeleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Şekil 5.48, Şekil 5.49 ve Şekil 5.50 deki çoklu regresyon sonuç değerlendirme grafikleri incelendiğinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

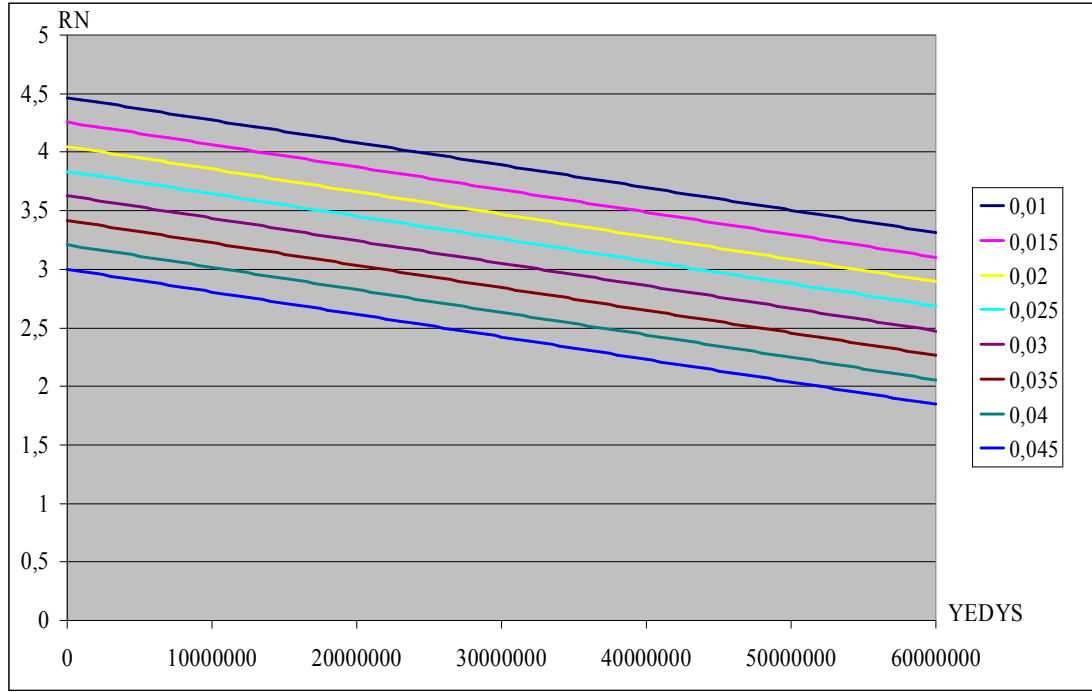
1. Sıcaklık arttıkça bozulmalar artmaktadır (RN düşmektedir).
2. Güneşlenme değeri arttıkça bozulmalar da artmaktadır (RN düşmektedir).
3. Yağış arttıkça bozulmalarda artış gözlenmektedir (RN düşmektedir).



Şekil 5.48 : Minimum sıcaklığın bozulmalar üzerine etkisi.



Şekil 5.49 : Güneşlenme şiddetinin bozulmalar üzerine etkisi.



Şekil 5.50 : Yağışın bozulmalar üzerine etkisi.

5.8 Bulanık Mantık

5.8.1 Bulanık mantık nedir?

Bilgisayarlar klasik mantık kullanmakta olup, kesin değerler ile çalışmak üzere tasarlanmış yapılardır. Buna karşın insan beyninde olayların ve verilerin değerlendirilmesinde kesin değerler ve sınırlar tam olarak belirlenmemiştir.

Verilerin değerlendirilmesi, kişilere, ortama, tecrübeler ve olanaklara göre değişiklik gösterebilir. Değerlendirmede her zaman kesin değerlere ulaşamadığından, kesin olmayan veriler yaklaşık olarak değerlendirilir.

Bu şekilde değişik şekil ve yapılarda karşımıza gelen karmaşık ve belirsiz yani tam kesin olmayan verilere bulanık (fuzzy) veri adı verilir.

Bulanık mantık ilk kez 1965 yılında “Lotfi Askerzadeh” tarafında yazılan bir makalede duyurulmuştur. Askerzadeh makalesi ile belirsizlik durumunda kümelerin elemanlarına üyelik dereceleri atanması ile çözüm getirilmesi mümkün olmuştur. Bir küme elemanının üyelik derecesi 0 ile 1 değeri arasında değişmektedir.

Üyelik dereceleri için üç özelliğin sağlanması gerekir (Şen, 2004):

1. Bulanık küme normaldir. Küme elemanlarından en az bir tanesinin üyelik derecesi bire eşittir.
2. Bulanık küme monotondur. Üyelik derecesi bire eşit olan üyeye her iki yönde de eşit uzak elemanların da üyelik dereceleri bire yakındır.
3. Bulanık küme simetriktr. Üyelik derecesi bir olan elemandan sağda ve solda eşit uzaklıktaki elemanların üyelik dereceleri eşittir.

Bulanık sistemlerde girdi, kural tabanı, çıkarım motoru, çıktı gibi bölümler bulunmaktadır.

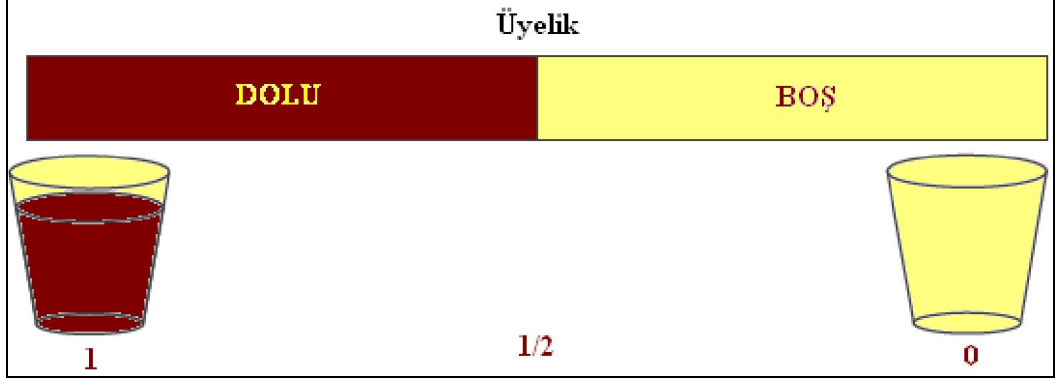
Bir bulanık sistemdeki sakıncaları ortadan kaldırmak için Takagi-Sugeno-Kank bulanık sistemi kullanılır (Şen, 2004). Bu modelde çıktılar girdi değerlerinin bir fonksiyonudur ve bulanıklaştırıcı ve durulaştırıcı adı verilen yapılar bulunmaktadır.

5.8.2 Bulanık düşünme

Klasik mantık (Aristo mantığı) bir konu ile ilgili kesin yargılarda bulunur. Bu bakış açısına göre bir önerme ya doğrudur ya da yanlıştır. Kişiden, zamandan ve ortamdan bağımsızdır, yani yoruma açık değildir. Gerçekte ise insan beyni değerlendirme yaparken kesin değerler kullanmaz. Bunun yerine daha önceden elde ettiği tecrübelerden yola çıkarak ve sözel ifadelere dayanarak yaklaşık bir çözüm yöntemi kullanır.

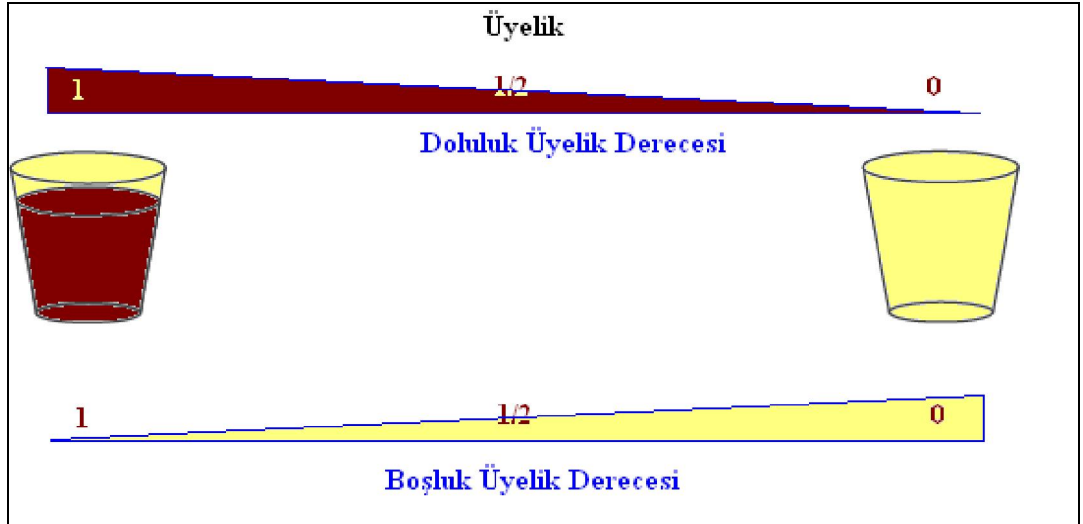
Başarılı bir mühendislik çözümünün sonucu yaklaşık olarak modellemesi ve olası tüm sayısal ve sözel bilgileri çözüm algoritmasına katması beklenir. Bu sebeple teorik matematik sayısal verileri kullanırken bulanık küme ya da sistem, uzman kişilerin verdiği sözel bilgileri de değerlendirerek çözüme gider (Şen, 2004).

Hürilmann, (2009) klasik ve bulanık mantık bakış açılarını şöyle örneklendirmiştir; Dolu bir bardak sudan her seferinde bir yudum içtiğimizi ve her yudumda bardağı masanın biraz daha sağına yerleştirdiğimizi varsayalım. Bardak tam dolu olduğunda bu durumu “1” ile tam boş olduğunda ise “0” ile sembolize edelim. Bardak yarım dolu iken değişik kişilerin fikrini alırsak kimileri bardağın yarısının dolu olduğunu, kimileri ise boş olduğunu söyleyecektir. Yani sonuç artık kesin değil bakış açısına bağlıdır yani bulanıktır. Klasik mantık ile bu olayın değerlendirilmesi Şekil 5.51 de gösterilmiştir.



Şekil 5.51 : Klasik mantık bakış açısı ile değerlendirme.

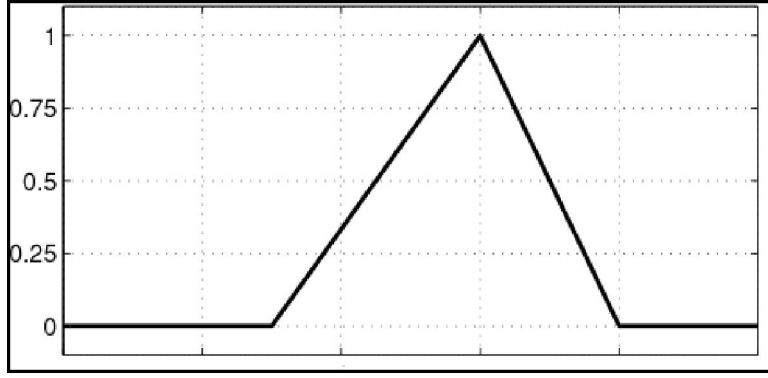
Aynı örnek bulanık mantık bakış açısından değerlendirildiğinde ise durum Şekil 5.52 deki gibidir. Bulanık mantık değerlendirmesine göre bardak herhangi bir anda belli bir doluluk oranına, belli bir de boşluk oranına sahiptir. Yani bardağın doluluğu azaldıkça boşluğu artmaktadır. Bu durum boşluk ve doluluk üyelik dereceleri ile sembolize edilebilir. Üyelik derecesi bir elemanın örnek kümesine aitlik oranı olarak tanımlanabilir. Eğer bir eleman bir kümeye kesinlikle ait ise üyelik derecesi “1”, kesin olarak ait değil ise üyelik derecesi “0” dır.



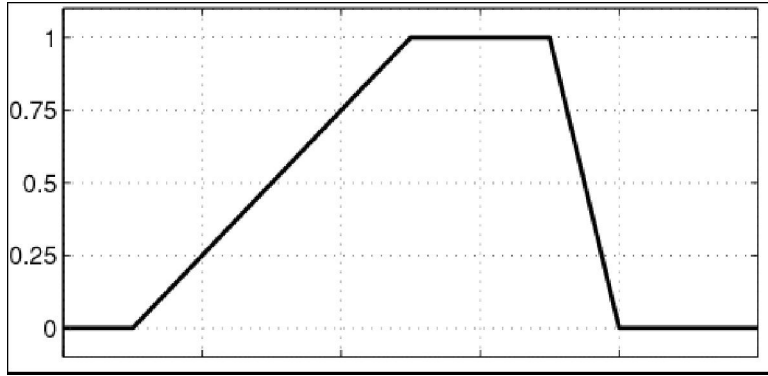
Şekil 5.52 : Bulanık mantık bakış açısı ile değerlendirme.

5.8.3 Üyelik fonksiyonları

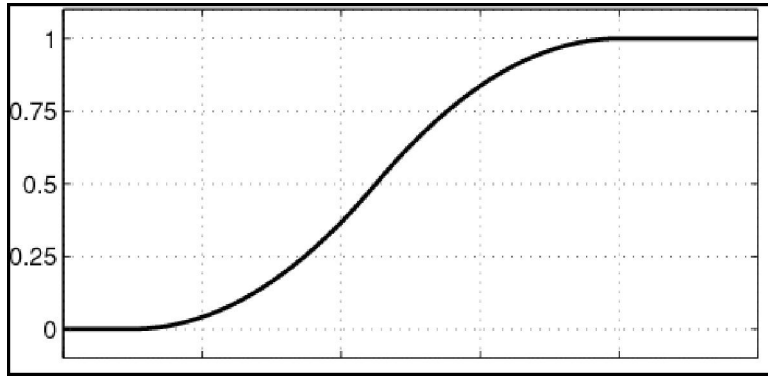
Bulanık bir kümenin elemanlarına üyelik derecesi atamak için kullanılan fonksiyonlara üyelik fonksiyonları adı verilir. Üyelik fonksiyonları; Şekil 5.53 te gösterildiği gibi üçgen, Şekil 5.54 de gösterildiği gibi yamuk, Şekil 5.55 de gösterildiği gibi s şeklinde ya da Şekil 5.56 gösterildiği gibi Gaussian şeklinde olabilir (Büyükakın, 2005).



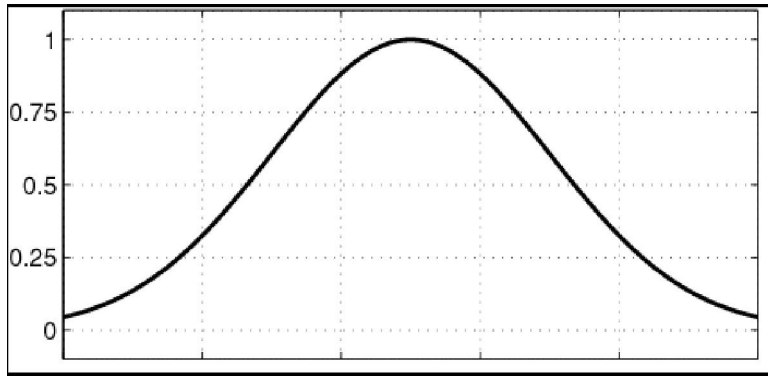
Şekil 5.53 : Üçgen üyelik fonksiyonu.



Şekil 5.54 : Yamuk üyelik fonksiyonu.



Şekil 5.55 : S şeklinde üyelik fonksiyonu.

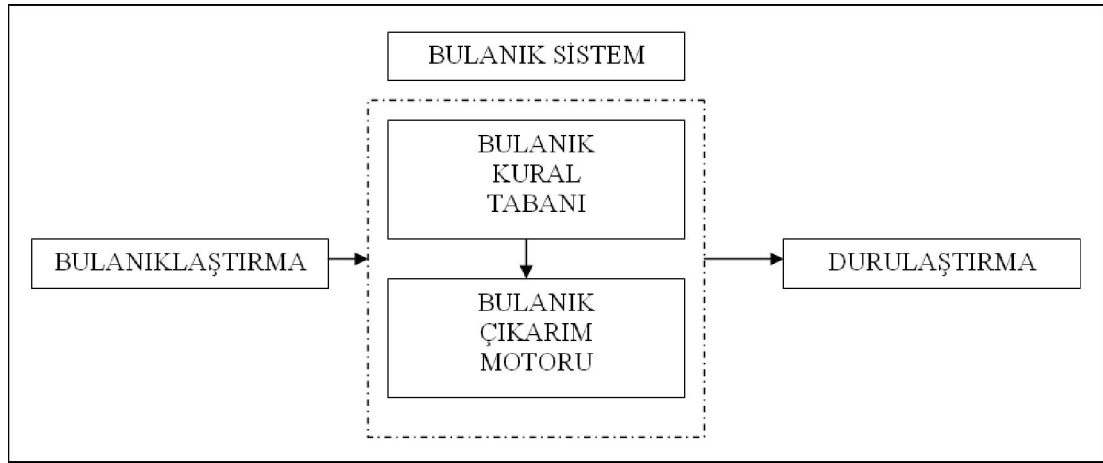


Şekil 5.56 : Gaussian üyelik fonksiyonu.

5.8.4 Bulanık (fuzzy) sistemler

Bulanık sistem girdi verilerini çıktı veri(ler)ine dönüştüren bir dizi bulanık kuraldan oluşur (Hürlimann, 2009). Temel bir bulanık sistem, kural tabanı ve bulanık çıkarım motorundan meydana gelmektedir.

Bulanık bir sistemin girdi verilerine ihtiyacı vardır. Bulanıklaştırıcı, girdi değer sayılarını bulanık veri setlerine çevirir. Bulanık sistem sonuçları (çıktılar) durulaştırıcı yardımı ile sayı setlerine dönüştürülür (Şekil 5.57).



Şekil 5.57 : Bulanık sistem.

5.8.4.1 Bulanıklaştırma

Bir veri setindeki sayıların üyelik derecelerinin bulunması işlemidir. Bulanık kural tabanı tarafından, eğer-ise değerlendirmelerinde kullanılmak üzere sayılar bulanıklaştırılır.

5.8.4.2 Kural tabanı

Bulanık ilişkiler kurallar tarafından belirlenir. Bir şarta bağlı olan ya da olmayan olmak üzere iki çeşit kural bulunur. Tek bir modeli tarifleyen kurallar dizisine kural tabanı adı verilir. Bulanık çıkarım motoru, bulanık kural tabanındaki verileri değerlendirerek kuralları işlemektedir.

5.8.4.3 Durulaştırma

Bulanık işlemler sonucu elde edilen verilerin sayısal değerlere çevrilmesi işlemine denir. Bu işlem için birçok yöntem bulunmakla beraber, genellikle çıktı veri setinin ağırlık merkezi kullanılmaktadır.

5.8.5 Bulanık mantık ile modelleme

Bulanık modellemede kullanılan başlıca modeller Mamdani ve Takagi-Sugeno modelleridir. Mamdani modelinde girdi verilerinin bulanıklaştırılması, kural ağırlıklarının belirlenmesi, bulanık mantık operatörlerinin kullanılması ve bulanık çıktı kümesinin durulaştırılması şeklinde uygulanır.

Sugeno modeli, temel olarak Mamdani modeli ile aynıdır. Aralarındaki fark çıktı kümesinin sabit ya da doğrusal olmasıdır (Subaşı ve diğ., 2008). Bu çalışmada, oluşturulan karar destek sistemi tarafından, bulanık mantık ile verilerin değerlendirilmesinde, MathWorks firmasının Matlab yazılımının altyapısı kullanılmıştır. Çıktı verilerinin sabit sayılar olması sebebi ile bu çalışmada Sugeno modeli kullanılacaktır.

5.8.6 Kümeleme analizi

Küme analizi, bir veri setinin alt gruplara ayrılması işlemidir (Höppner ve diğ., 1999). Bu bölümlere aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- Kümeler homojen olmalıdır. Aynı yapıya sahip öğeler mümkün olduğunca aynı gruplarda yer almalıdır.
- Kümeler arası ilişki heterojen olmalıdır. Farklı kümelere ait elamanlar mümkün olduğu kadar ayrı kümelere ait olmalıdır.

Kümeleme işleminde kullanılan algoritmalar, kümeyi oluşturan n adet nesneyi k adet kümeye ayırır (Işık ve Çamurcu, 2007). Bulanık kümeleme analizinde üyelik, küme merkezinden veri noktasına olan mesafe ile belirlenir (Cox, 2005).

5.8.6.1 Klasik k-means algoritması

Veri setinin önceden bilinen en az iki adet noktaya olan uzaklıklarının küçüklerinin ayıklanması iki kümeye ayırma işlemidir (Şen, 2004). Burada ayırma işlemi yapılmadan, veri setinin kaç kümeye ayrılacağını bilmesi gerekir.

Küme sayısının belirlenmesinden sonra, veri setine ait aralıkta kalmak şartı ile küme merkezleri rastgele olarak seçilir. Belirlenen küme merkezine en yakın noktalar bu kümeye atanır. Küme merkezleri artık değişmeyene kadar güncellenme döngüsü devam eder.

5.8.6.2 Bulanık c-means algoritması

Bulanık c-means (FCM), her verinin, belli bir üyelik derecesinde, ayrışma konu kümelerden birine ait olması esasına dayanır. 1981 yılında Jim Bezdek tarafından ortaya atılmıştır (Url-6). Bulanık c-means algoritması, bir elemanın iki ya da daha fazla kümeye ait olabilmesine olanak tanır. Nesne hangi kümenin merkezine daha yakınsa üyelik derecesi de o kadar yüksek olur. Toplam üyelik derecesinin 1 olduğu tezinde göre diğer üyelik dereceleri de belirlenmektedir.

5.8.6.3 “Subtractive Clustering” nedir?

Değerlendirilecek veri setinin kaç adet kümeye ayrılacağı bilinmediği durumlarda küme adedi ve küme merkezini belirlemek amacı ile “Subtractive Clustering” kullanılabilir. Bu çalışmada bulanık mantık çözümlemesinde Matlab programında değerlendirilen veri setinde subtractive clustering kullanılmıştır.

Bu metotta her veri potansiyel küme merkezi olarak algılanma kapasitesine sahiptir. Algoritma küme merkezi olma olasılığı en yüksek üyeyi seçmektedir. Daha sonra algoritma, belirli bir uzaklıktaki küme elemanlarını eleyerek yeni küme merkezini belirlemektedir.

5.9 Matlab Yazılımı

Matlab yazılımı, sayısal hesaplama, veri analizi ve görüntülenmesi, interaktif algoritma geliştirilebilmesi amacına yönelik bir bilgisayar yazılımıdır (Url-7). Matlab, kullanıcıya, içerisinde birçok önceden tanımlı fonksiyon kütüphanesini barındıran araçlar sunmaktadır. Bu çalışmada, bu araçlardan “Fuzzy Logic Toolbox” içerisinde kayıtlı fonksiyonlardan yararlanılmıştır.

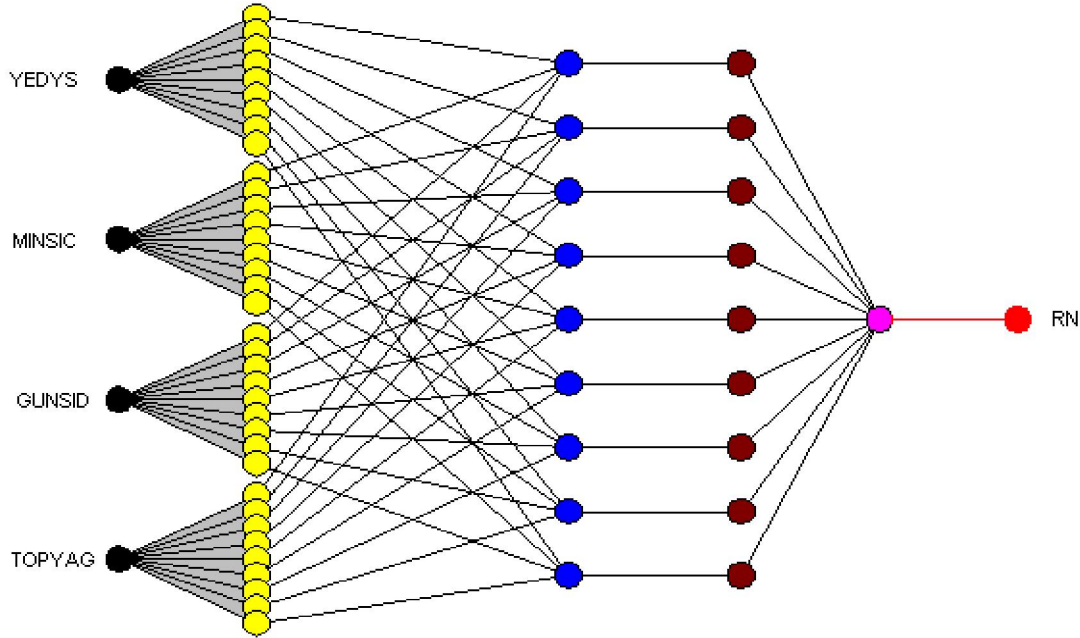
Araç kutusu, geliştirilen yazılım arayüzleri tarafından da kullanılabilen komut dosyaları, grafik arayüze sahip gereçler de barındırmaktadır. Bu sayede bulanık çıkarım sistemleri geliştirmek ve diğer yazılım arayüzleri ile iletişim kurabilmektedirler.

Matlab programı, “m-dosyası” adı verilen bir seri Matlab komutunu aynı dosya içerisinde işlem sırasına göre barındırabilen ve tek bir komutla çalıştırabilen betik (script) dosyalarını desteklemektedir. Bununla beraber m dosyaları bir çıktı verebilen bir ya da daha fazla fonksiyonu çağırmak için de kullanılabilir.

Örnek olarak, bulanık çıkarım sisteminin yaratılması için “genfis2” fonksiyonu kullanılabilir. Fonksiyon, “subtractive clustering” metodu ile belirli bir veri seti için veri davranışını modellemek üzere kural tabanlarını bularak, ilgili Sugeno tipi bulanık çıkarım altyapısını yaratmaktadır. Bu amaçla, kural adedini belirlemek için öncelikle “subclust” fonksiyonunu kullanır. Daha sonra en küçük kareler kestirimi yöntemi ile modelde kullanılacak kuralları yaratmaktadır.

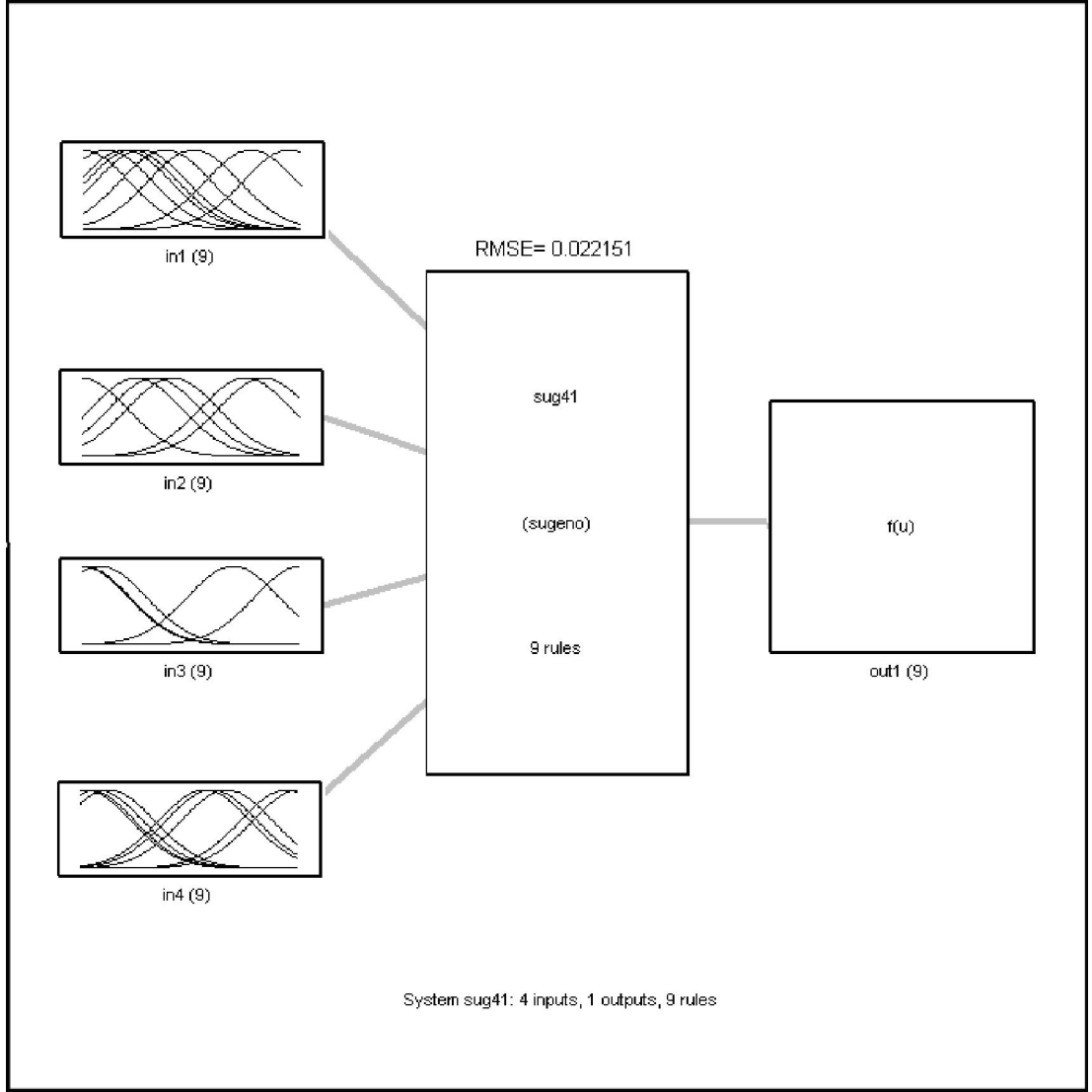
5.10 Bulanık Mantık Modeli

Çoklu regresyon modelinde kullanılan veri seti için bulanık mantık çözümlemesi yapılmıştır. Oluşturulan karar destek sistemi arayüzü, gerekli veri setini veri tabanından çekip Matlab ortamına uygun formata dönüştürür. Karar destek sisteminde değerlendirilen Sugeno tipi bulanık modelin genel yapısı Şekil 5.58 de gösterilmiştir.



Şekil 5.58 : Bulanık modelin genel yapısı.

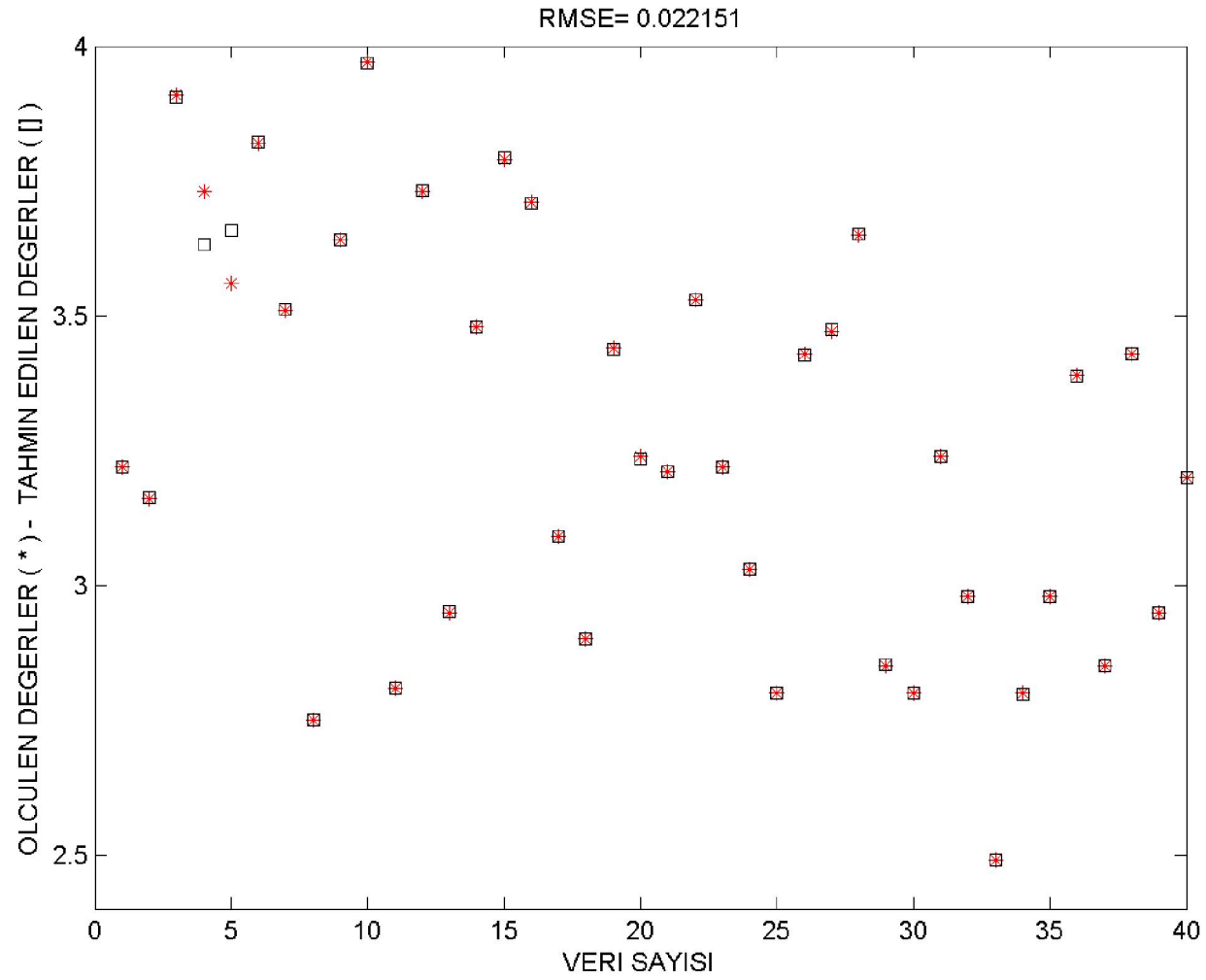
Sistemde, yığışımli eşdeğer dingil yükü sayısı, minimum sıcaklık, güneşlenme şiddeti ve toplam yağış verileri giriş verileri olarak kullanılmış ve RN değeri çıkış değeri olarak alınmıştır. Buna göre bulanık mantık çıkarım motoru veri setini 9 kural ile modelleyebilmektedir (Şekil 5.59).



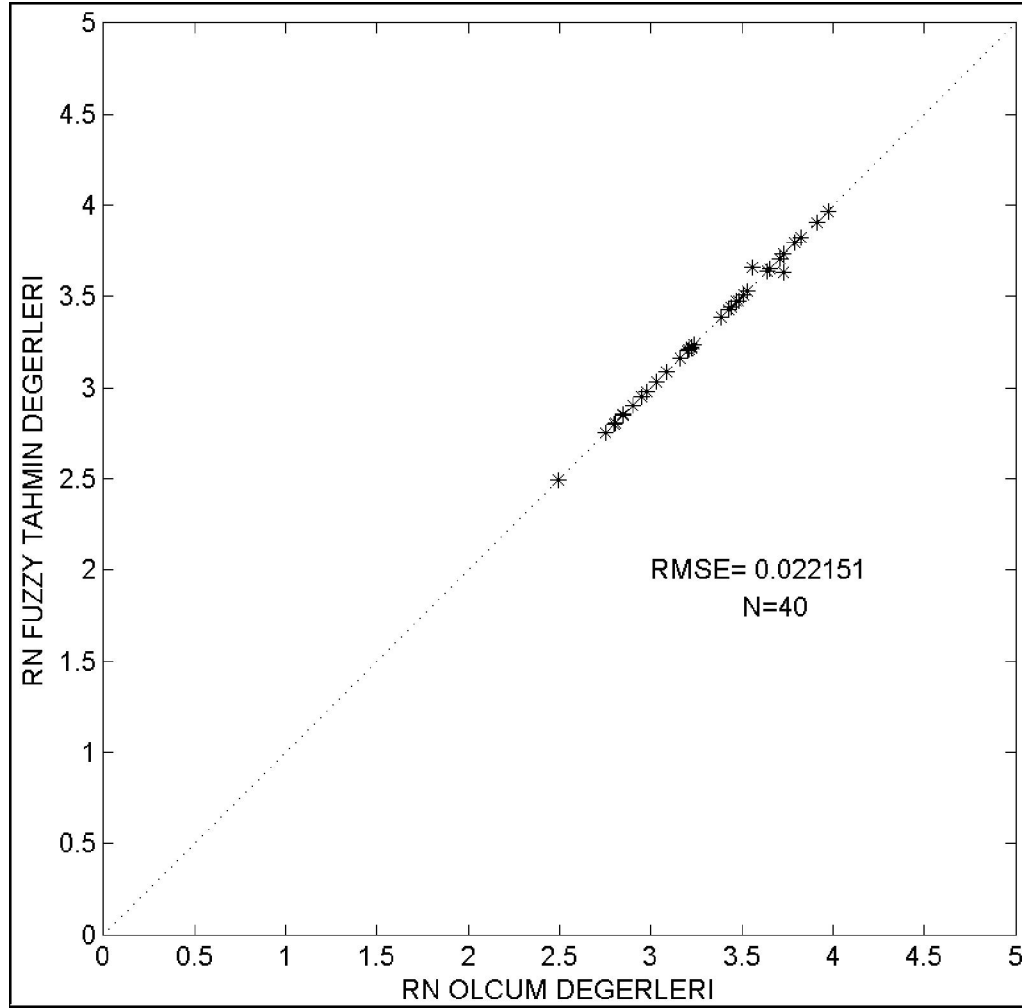
Şekil 5.59 : Bulanık modelin ana yapısı.

Modelde oluşturulan kurallar çerçevesinde durulaştırılan sonuçlar, gerçek ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.60). Şekildeki verilerde ölçülen değerler yıldız, tahmin edilen değerler kare ile gösterilmiştir.

Ölçülen ve tahmin edilen verilerin serpilme diyagramında gösterimi Şekil 5.61 de görülebilir. Şekilden de analiz edilebileceği üzere bulanık mantık modelinde, ölçüm değerleri ile tahmin değerleri çok yakın bir şekilde örtüşmektedir.



Şekil 5.60 : Ölçülen ve tahmin bulanık mantık değerlerin karşılaştırılması.



Şekil 5.61 : Bulanık mantık serpilme diyagramı.

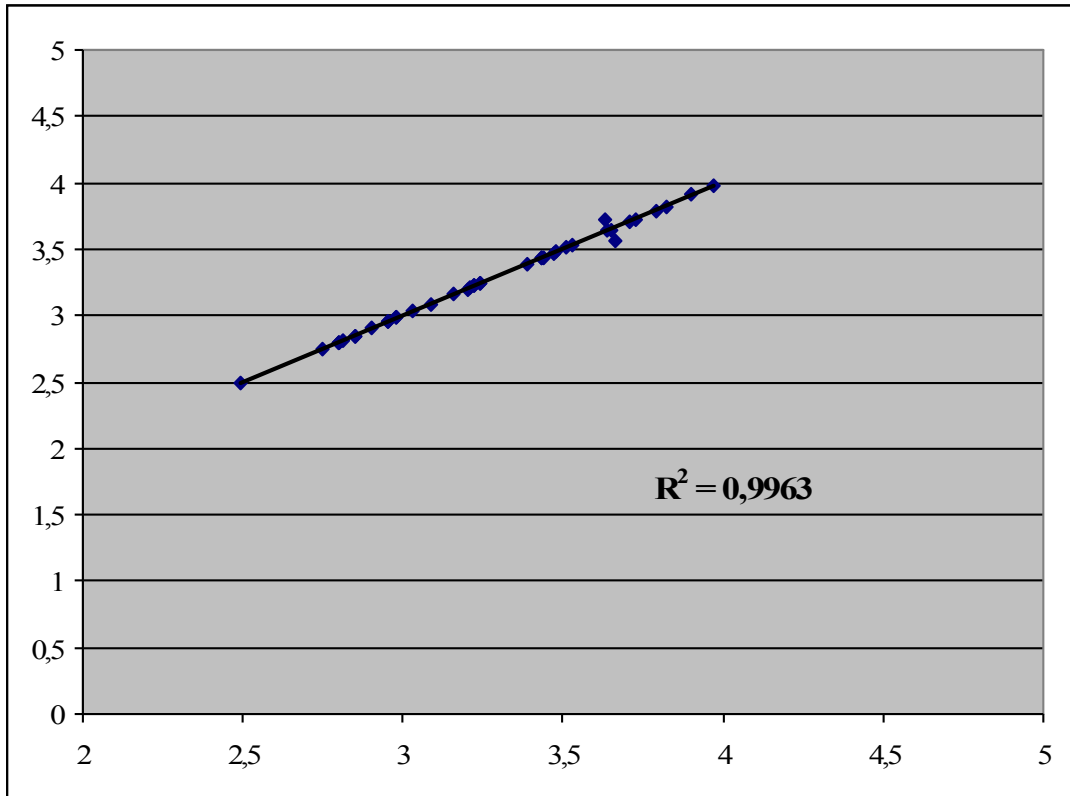
5.11 Bulanık Mantık Model Sonuçlarının Değerlendirmesi

Bulanık mantık modeli ile ilgili çıktı grafikleri analiz edildiğinde, kurulan modelin hesapladığı RN tahmin değerlerinin, RN ölçüm değerlerini çok az bir farkla hesaplayabildiği görülmektedir.

Hesap ve gözlem değerlerinin hata karelerinin toplamının karekökü (RMSE) değeri yaklaşık olarak 0,022 dir. Bu da modelin tahmin gücünün çok yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Hesaplamalarla ilgili detaylar bir önceki grafikte de açıkça görülmektedir.

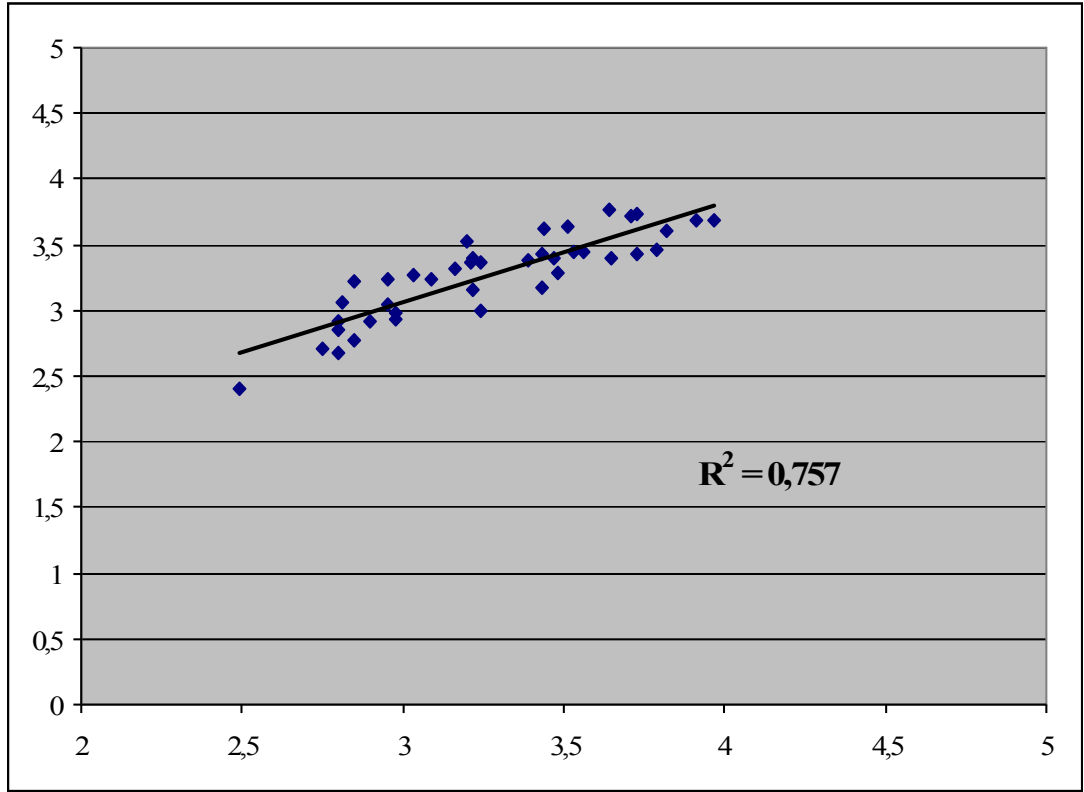
5.12 Modellerin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bulanık mantık modeli tahmin sonuçları, ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuç grafiği Şekil 5.62 de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılabacağı gibi tahmin değerleri ölçüm değerlerine çok yakındır. Bunu R^2 değeri de teyit etmektedir.



Şekil 5.62 : Ölçüm değerleri ve fuzzy model sonuçlarının karşılaştırılması.

Regresyon denklemi sonucu elde edilen tahmin değerlerinin ölçüm değerleri ile karşılaştırılması sonucu elde edilen grafik Şekil 5.63 de gösterilmektedir.

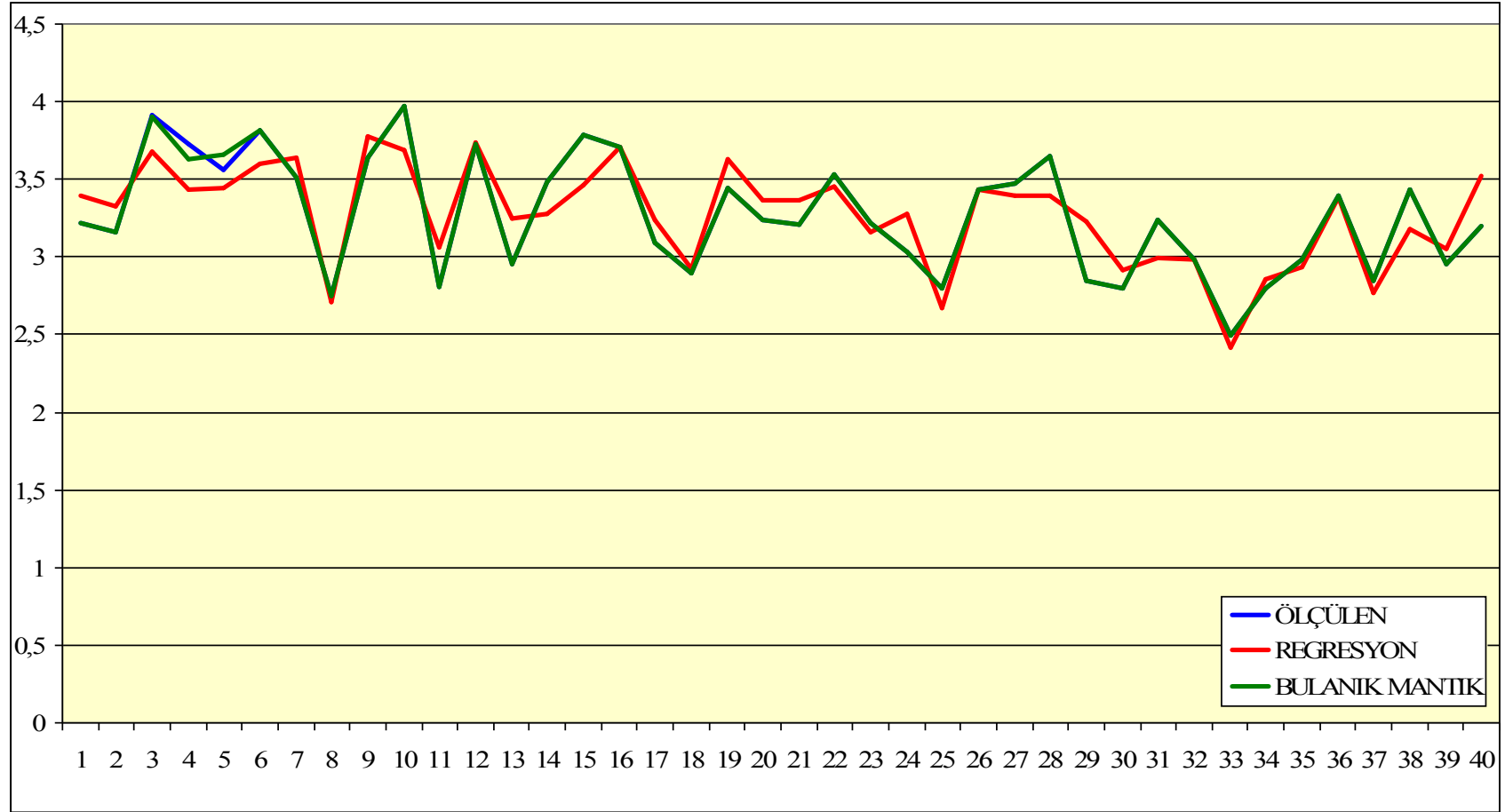


Şekil 5.63 : Ölçüm değerleri ve regresyon model sonuçlarının karşılaştırılması.

Bulanık mantık ve regresyon modelleri sonuçları aynı grafik üzerinde incelendiğinde çoklu regresyon ve bulanık mantık yöntemlerinin çok yakın sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür (Şekil 5.64).

Bulanık mantık, ölçümlere daha yakın tahmin değerleri verse de, çoklu regresyon modelinde olduğu gibi ortaya bir formül koyamamaktadır. Bu da hesaplamalarda her zaman bulanık mantık ile hesaplama yapabilen bir bilgisayar ve uzman desteğine ihtiyaç duymak demektir.

Oysa çoklu regresyon modelinde elde edilen denklemde, bağımsız değişkenlere ait değerler yerine yazıldığında sonuç RN tahmin değeri uzman ve bilgisayar desteğine ihtiyaç olmadan da elde edilebilir. Bu da regresyon modelinin tercih edilmesinin daha uygun olacağına işaret etmektedir.



Şekil 5.64 : Regresyon ve bulanık mantık modellerinin sonuç karşılaştırması.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ülkemizdeki Devlet Yolları'nda bozulma, trafik ve meteorolojik verileri değerlendirmek üzere bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Karar destek sistemleri yapıları gereği, veri tabanı ile kullanıcı arasında doğru ve uygulanabilir karar alma sürecine destek vermek üzere tasarlanan bilgisayar yazılımlarıdır.

Bu çalışmada oluşturulan sistem, verileri değerlendirmek üzere MySQL veri tabanı yönetim sistemi, Matlab ve ArcGIS gibi değişik uzmanlık alanlarının önde gelen yazılımlarının altyapısından yararlanmaktadır.

Çalışma sonucunda Türkiye için esnek üstyapı bozulmalarının çevre etkileri göz önüne alınarak tahmin edilebildiği çoklu regresyon modeli oluşturulmuştur. Çalışmada, asfalt betonu kaplamalı Devlet Yolları için bir model geliştirilmiş olup, sathi kaplamalı yollarda bozulma ölçüm değerleri olmadığından bu yollar değerlendirmeye alınamamıştır.

Yığılımlı Eşdeğer Dingil Yüğü Sayısı (YEDYS) yanında minimum sıcaklık, güneşlenme şiddeti ve toplam yağış gibi iklim bağımsız değişkenlerini kullanarak bağımlı değişken olan “Ride Number” (RN) değerini tahmin eden bir model bulunmuştur. Çalışma kapsamında yapılan analizlerde don derinliği etkisi göz önüne alınmamıştır. Çoklu regresyon tahmin modeli formülü aşağıdaki gibidir (6.1):

$$\hat{RN} = 4,983 - 1,923 \cdot 10^{-8} YEDYS - 0,094 MINSIC - 99,075 GUNSID - 41,92 TOPYAG \quad (6.1)$$

Çoklu regresyon modeli, konu ile ilgili yapılan istatistiksel test ve değerlendirmelerin tümünden başarı ile geçmiştir. Bu değerlendirmeler sonucu, çoklu regresyon modelinde kullanılan tüm bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklamakta gerekli ve yeterli güce sahip olduğu onaylanmış olmaktadır.

Ayrıca modelde trafik ve iklim bağımsız değişken değerlerinin tümü sıfır olarak değerlendirildiğinde elde edilen RN değeri, yolun ilk trafiğe açıldığı durumda beklenen teorik değer olan 5'e çok yakındır. Bu da modelin salt matematiksel olarak değil, mantıksal olarak da uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu modelde, trafik yükü olan YEDYS değerine ilaveten iklim etkileri olan Minimum Sıcaklık, Güneşlenme Şiddeti ve Ortalama Nem gibi değişkenlerinin esnek üstyapı bozulmaları üzerinde beraberce etkisi olduğu görülmüştür. Farklı yıllarda Devlet Yolları'nın değişik kesimlerinde yapılan bozulma ölçümlerinde, o yola ait üstyapı kalınlığı verileri KGM tarafından tam olarak verilemediği için modelde değerlendirmeye alınamamıştır. Ancak, kaplama kalınlığının bozulmalar üzerinde etkisi olduğu açıktır. İleriki yıllarda bu değişken ile ilgili detaylı veri elde edildiğinde, kaplama kalınlığının da değişken olarak modele dahil edilmesi uygun olacaktır.

Model sonuçlarının değerlendirilmesi ile sıcaklık arttıkça bozulmaların da arttığı açıkça görülmektedir. Ayrıca, güneşlenme değeri arttıkça bozulmaların arttığı gözlenmiştir. Ek olarak yağış miktarındaki artışın bozulmaları arttırdığı anlaşılmaktadır.

Özet olarak, yollarda meydana gelen bozulmaların ana nedeninin trafik yüküne ilaveten düşük sıcaklık, yüksek sıcaklık ve yağışın olduğu söylenebilir.

Bozulma modelinde kullanılan bağımsız değişkenler, oluşturulan karar destek sistemi tarafından bulanık mantık yöntemi kullanılarak da değerlendirilmiştir. Bulanık mantık modeli sonucunda, RN değeri çoklu regresyon modeline göre daha az hata ile tahmin edilmiştir. Ortalama karekök hatası (RMSE) değeri yaklaşık 0,022 olarak bulunmuştur. Bu da bulanık mantık modelinin tahmin gücünün çok yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

Regresyon modeli ve bulanık mantık modelleri karşılaştırıldığında, bulanık mantık ile modellemede ölçülen RN değerleri ile, tahmin edilen RN değerleri arasındaki fark daha az olmasına rağmen, bulanık mantık çözümlemesi çoklu regresyon modelinde olduğu gibi ortaya gerçek bir eşitlik koyamamaktadır. Bu da hesaplama sırasında her zaman bulanık mantık ile hesaplama yapabilen bir bilgisayar ve uzman desteğine ihtiyaç duymak demektir.

Oysa çoklu regresyon modelinde elde edilen denklemde, bağımsız değişkenlere ait değerler yerine yazıldığında, sonuç RN tahmin değeri uzman ve bilgisayar desteğine ihtiyaç olmadan da elde edilebilir. Bu da regresyon modelinin tercih edilmesinin daha uygun olacağı kanaatini oluşturmaktadır.

Ayrıca, oluşturulan karar destek sistemi arayüzü ile hem uzman hem de uzman olmayan kullanıcılara ilgili analizleri gerçekleştirebilme olanağı sunulmaktadır.

Türkiye'nin yüz ölçümünün çok büyük olması ve doğu-batı aksında yaygın bir coğrafi konumunun bulunması sebebi ile iklim değişkenleri belli bir eğilim göstermemektedir.

İklim etkilerini incelendiğinde, yurdumuzun Ege, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nin daha ılıman bir iklime sahip olması nedeni ile bu bölgelerde yüksek sıcaklıkların yol bozulmaları üzerinde olumsuz etkileri bulunduğu görülmektedir. Ayrıca, Karadeniz ve Doğu Marmara bölgelerinde yağış miktarının diğer bölgelerden daha fazla olması, bu bölgelerdeki esnek üstyapıların daha fazla bozulmasına sebep olmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi'nin doğu kesimlerinde en düşük sıcaklık değerlerinin ülke ortalamasının çok üzerinde olması sebebi ile, bu bölgelerde özellikle kış aylarından sonra esnek yol üstyapılarının diğer bölgelerden daha fazla bozulması söz konusudur. Yollardaki bozulmalar ile ilgili yapılacak çalışmalarda, sistematik ve düzenli bakımın önemi göz önüne alınmalıdır.

Bu çalışma sonucunda oluşturulan karar destek sisteminin programlanmış olan arayüzü ilerideki çalışmalarda geliştirilmeye açıktır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ve hibrit sistem modüllerinin de bu karar destek sistemine eklenmesi mümkündür.

İlerleyen yıllarda yapılacak ölçüm sonuçlarının eklenmesi ve adı geçen modüllerin programlanması ile mevcut karar destek sisteminin daha da geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abaza, K., Ashur S.A., Al-Khatib A.I.**, 2004. Integrated Management System With A Markovian Prediction Model, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. **130**, No. 1, s.. 24-33.
- Allez, F., Dauzats, M., Joubert, P., Labat, G.P., Pusselli, M.**, 1988. "ERASME: An Expert System for Pavement Maintenance. *Transportation Research Record*, 1205, pp 1-5.
- Bluman A.G.**, 1997. Elementary Statistics, McGraw-Hill.
- Büyükakın A.**, 2005. Bulanık Mantık ile Veri Madenciliği, İTÜ Fen Bilimleri Ens. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Chatterjee S., Hadi A.S.**, 2006 *Regression Analysis By Example* 4th ed s.201.
- Cox E.**, 2005. *Fuzzy Modeling and Genetic Algorithms for Data Mining and Exploration*, Morgan Kaufmann Publishers, s.213.
- Delice Y.**, 2004. Ulaştırma Altyapı Bilgi Sistemleri; Sarıyer İlçesi İçin Ulaştırma Altyapı Bilgi Sisteminin Oluşturulması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Ens.
- Galton G.**, 1886. Family Likeness In Stature, *Procedings Of Royal Society, London*, c.40, s.42-72.
- Göktepe A.B., Ağar E., Lav A.H.**, 2005. Esnek Üstyapılarda Mekanik Özelliklerin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Geri Hesaplanması, *İTÜ Dergisi C:4* s:31-42.
- Gray P., Watson H.J.**, 1998. *Decision Support in The Data Warehouse*, Prentice Hall.
- Gurjati D.N.**, 1999. *Temel Ekonometri*, Literatür Yayıncılık İstanbul, s.16.
- Gülen, S., Zhu K., Weaver, J. Flora, W. Shan J.**, 2001. Development of Improved Pavement Prediction Models For The Indiana Pavement Management System, **Final Report FHWA/IN/JTRP-2001/17**.
- Haas R., Hudson R., Zanewski J.**, 1994. *Modern Pavement Management*, Krieger Publishing, Florida, s.77.
- Haas, C., Shen, H.**, 1987. PRESERVER, A Knowledge Based Pavement Maintenance Consulting Programme. In *2nd North American Conference on Managing Pavement* s.2.327–2.338.
- Hajek, J.J., Haas, R., Chong, G.J., Phang, W.A.** 1987. ROSE: a Knowledge-based Expert System For Routing and Sealing. *Proceeding of the 2nd North American Pavement Management Conference*. Toronto, Canada. 2.301–2.341.

- Hatipoğlu S.**, 1998. Yasal Dingil Yükünün Yol Ömrüne Etkisi. İnşaat Mühendisleri Odası IV. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, Denizli, 261–266.
- Höppner F., Klawonn F., Kruse R., Runkler T.**, 1999. *Fuzzy Cluster Analysis*, John Wiley & Sons.
- Hudson W.R., Haas R., Uddin W.**, 1997. *Infrastructure Management*, McGraw-Hill.
- Hürlimann M.**, 2009. *Dealing With Real World Complexity*, Gabler s.42.
- İlcalı M., Tayfur S., Özen H., Sönmez İ., Eren K.**, 2001. *Asfalt ve Uygulamaları*, İsfalt, s. 101.
- Işık M., Çamurcu A.Y.**, 2007. K-Means, K-Medoids Ve Bulanık C-Means Algoritmalarının Uygulamalı Olarak Performanslarının Tespiti, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* Yıl: 6 Sayı:11 Bahar 2007/1 s. 31-45.
- İşlem Ş. G.**, 2004. ArcGIS 9 Uygulama Dökümanı.
- İyınam, Ş.**, 1997. Karayollarının Üstyapı Bakım Çalışmalarını Planlama Metodolojisi, İstanbul Teknik Üniv. Fen Bilimleri Ens., *Doktora Tezi*
- İyınam Ş., Ergün M., İyınam A.F.**, 2000. Karayolu Üstyapı Bakım Çalışmalarında Uygulanan Gelişmiş Ölçüm Sistemleri, *ACE* , Kıbrıs.
- Juch W.**, 1995. *Data Warehousing and Decision Support*, Spiral Boks.
- Jung, F.W., Kher, R.K., Phang W.A.**, 1976. Subsystem For Predicting Flexible Pavement Performance, *Transportation Research Record*.
- KGM**, 2000. *Teknik Araştırma Daire Başkanlığı Kitaplığı*.
- KGM**, 2007. 2007 *Trafik ve Ulaşım Bilgileri*, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Ulaşım ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü.
- KGM**, 2009a . *Karayolu Ulaşım İstatistikleri* s.2.
- KGM**, 2009b . *Devlet ve İl Yolları Bakım İşletme Maliyetleri* s.246.
- Kohn, S.D., Shanin, M.Y.**, 1982. Economic Analysis of Field Implementation of Paver Pavement Management System, *Transportation Research Record* Vol. **846**.
- Kroenke D.M.**, 2004. *Database Processing, Fundamentals, Design and Implementation*, Pearson Education International.
- Levine D.M., Ramsey P.P., Smidth R.K.**, 2000. *Applied Statistics For Engineers And Scientists* s.655.
- Mannino M.V.**, 2001. *Database Application Development and Design*, McGraw-Hill,s.26.
- Ongel A., Harvey J.**, 2004. *Analysis of 30 Years of Pavement Temperatures Using the Enhanced Integrated Climate Model*, California Department of Transportation.
- Özkan Y.**, 2008. *Veri Madenciliği Yöntemleri*, Papatya Yayıncılık s.16.

- Parkhilovski, I.G.**, 1968. *Investigations of the Probability Characteristics of the Surfaces of Distributed Type of Roads.*
- Pearson K., Lee A.**, 1903. On The Laws of Inheritance, *Biomertika*, c.2, s.357-462
- Price M.**, 2008. *Mastering ArcGIS*, Mc Graw-Hill.
- Ranamkrishnan, R., Gehrke J.**, 2003. *Database Management Systems*, McGraw-Hill.
- Ritchie S.G, Yeh C., Mahoney J.P., Jackson N.C**, 1987. Pavement Rehabilitation Planning. *Journal of Transportation Engineering* **113** (2).
- Ross, T.J., Verzi, S., Shuler S., McKeen G., Scheafer V.**, 1992. "PARES: an Expert System for Preliminary Flexible Pavement Rehabilitation Design", *Transportation Research Record* No.1374, National Academy Press, 1992, s.81-89.
- Sage A.P.**, 1991. *Decision Support Systems Engineering*, John Wiley & Sons Inc.
- Sauter V.**, 1997. *Decision Support Systems*, John Wiley & Sons Inc.s.13.
- Sayers, M.W., Gillespie, T.D., Queiroz C.A.V.**, 1986. The International Road Roughness Experiment, *World Bank Technical Paper* Number **45**, s.453.
- Sayers, M.W., Karamihas S.M.**, 1998. *The Little Book Of Profiling*, University Of Michigan.
- Serper Ö.**, 2000. *Uygulamalı İstatistik 2*, Ezgi Kitapevi s.213.
- Shanin M.Y.**, 2005. *Pavement Management For Airports, Roads, And Parking Lots*, Springe US, s.96.
- SHRP.**, 2003. *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program* (Fourth Revised Edition), FHWA-RD-03-031.
- Silver M.S.**, 1991. *Systems That Support Decision Makers, Description and Analysis*, John Wiley & Sons S.34.
- Sivanandam S.N., Sumathi S., Deepa S.N.**, 2007. *Introduction To Fuzzy Logic Using Matlab*, Springer.
- Sprague R.H., Watson H.**, 1996. *Decision Support For Management*, Prencice Hall.
- Subaşı S., Beycioğlu A., Emiroğlu M.**, 2008. Hafif Betonlarda Donatı Aderansı Dayanımının Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi, *Akıllı Sistemlerde Yenilikler Ve Uygulamaları Sempozyumu*.
- Şen, Z.**, 2004. *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modelleme Prensipleri*, Su Vakfı Yayınları.
- Terzi S.**, 2004. Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımı İle Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstiütüsü.
- Tok B.**, 2005. Karar Destek Sistemleri ve Finans Sektöründeki Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ.

- Topçu Y.İ.**, 2000. Çok Ölçütlü Sorun Çözümüne Yönelik Bir Bütünleşik Karar Destek Sistemi Modeli, *Doktora Tezi*, İTÜ.
- Turoğlu H.**, 2000. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları, Acar Matbaacılık.
- Url-1**, <<http://training.ce.washington.edu/wsdot/>>, alındığı tarih 24.02.2010.
- Url-2**, <<http://www.smoothpavements.com/content.aspx?id=3>>, alındığı tarih 24.02.2010.
- Url-3**, <<http://www.waylink.com/lrd.htm>>, alındığı tarih 28.02.2010.
- Url-4**, <<http://www.kgm.gov.tr>>, alındığı tarih 01.03.2010.
- Url-5** <<http://dev.mysql.com/doc/refman/5.5/en/features.html>>, alındığı tarih 03.03/2010.
- Url-6** <<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/fuzzy/fp310.htm>>, alındığı tarih 15.03.2010.
- Url-7** <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/techdoc/learn_matlab/f0-14059.html>, alındığı tarih 15.03.2010.
- Url-8** <<http://www.gislab.ktu.edu.tr/gisnedir/cbs.htm>>, alındığı tarih 15.03.2010.
- Url-9** <http://www.gisanalyst.com/esri_whatgis.htm>, alındığı tarih 15.03.2010.
- Url-10** <<http://www.yildiz.edu.tr/~inan/GIS.pdf>>, alındığı tarih 15.03.2010.
- Url-11** <<http://www.meteor.gov.tr/>>, alındığı tarih 25.12.2007.

EKLER

EK-A: Karar Destek Sistemi Bilgisayar Programı

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Metehan İNCEGÜL

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 1969

Lisans Üniversitesi: İTÜ-İnşaat Mühendisliği Bölümü