

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL İLİ AVRUPA YAKASI SU HAVZALARINDA
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA RİSK ANALİZLERİ VE
DEĞERLENDİRMELER

Fırat PEKER

DOKTORA TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Hürrem BAYHAN

Eylül, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL İLİ AVRUPA YAKASI SU HAVZALARINDA
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA RİSK ANALİZLERİ VE
DEĞERLENDİRMELER

Fırat PEKER tarafından hazırlanan tez çalışması 07.09.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğretim Üyesi Hürrem BAYHAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğretim Üyesi Hürrem BAYHAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet DEMİR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Selami DEMİR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Atilla AKKOYUNLU, Üye
Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa Sait YAZGAN, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Hürrem BAYHAN sorumluluğunda tarafımda hazırlanan İstanbul İli Avrupa Yakası Su Havzalarında Sürdürülebilirlik Kapsamında Risk Analizleri ve Değerlendirmeler başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Fırat PEKER

İmza



*Aileme,
biricik eşime
ve
biricik kızım Neva'ya*

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması boyunca görüş, öneri ve yol göstericilikleri ile bana yaptıkları katkılardan ve üzerimdeki tüm emeklerinden dolayı Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden tez danışmanlığımı yapan kıymetli hocam Dr. Öğretim Üyesi Hürrem BAYHAN ile tez izleme jürisinde yer alan kıymetli hocam Prof. Dr. Ahmet DEMİR'e ve Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden tez izleme jürisi üyesi kıymetli hocam Prof. Dr. Atilla AKKOYUNLU'ya en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü yetkili ve görevlileri ile Fen Bilimleri Enstitüsü yetkili ve görevlilerine idari işlerdeki tüm emeklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Fırat PEKER

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
HARİTA LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	8
1.3 Hipotez	12
2 MATERYAL VE YÖNTEM	14
2.1 Çalışma Alanının Tanıtımı.....	14
2.2 Çalışmada Kullanılan Veriler	16
2.2.1 Meteorolojik Ölçüm Verileri	17
2.2.2 Havza ve Alt Havza Alanlarının Sınırları.....	19
2.2.3 Sayısal Yükseklik Modeli Haritası	28
2.2.4 Toprak Bünyesi Verileri	28
2.2.5 Landsat Uydu Görüntüleri	29
2.2.6 Global Gerçek Evapotranspirasyon Haritaları	30
2.2.7 Yüzeysel Akış Ölçüm Verileri	33
2.3 Çalışmanın Kapsamı ve Uygulama Yöntemi.....	34
2.3.1 Meteorolojik Ölçüm Verilerinin Analizleri	38
2.3.2 Meteorolojik Haritaların Oluşturulması	42
2.3.3 Arazi Kullanım Sınıflarının Belirlenmesi	44
2.3.4 Gerçek Evapotranspirasyon Kayıplarının Hesaplanması.....	52
2.3.5 Başlangıç Su Tutulması Miktarlarının Hesaplanması	64
2.3.6 Çoklu Regresyon Yöntemine Dayalı Yağış ve Akış Modelleri.....	77
2.3.7 Risk Analizlerinin Yapılması	84
3 ANALİZ SONUÇLARI VE BULGULAR	85
3.1 Havza Alanları Aylık Yağış Miktarları.....	85

3.2	Havza Alanları Arazi Kullanım Sınıfları	98
3.2.1	Alibeyköy Havzası Arazi Kullanım Sınıfları	98
3.2.2	Büyükçekmece Havzası Arazi Kullanım Sınıfları	102
3.2.3	Terkos Havzası Arazi Kullanım Sınıfları	106
3.3	Havza Alanları Referans Evapotranspirasyon Miktarları	110
3.4	Havza Alanları Gerçek Evapotranspirasyon Miktarları	119
3.4.1	Alibeyköy Havzası Gerçek Evapotranspirasyon Miktarları	120
3.4.2	Büyükçekmece Havzası Gerçek Evapotranspirasyon Miktarları ..	123
3.4.3	Terkos Havzası Gerçek Evapotranspirasyon Miktarları	126
3.4.4	Gerçek Evapotranspirasyon Haritaları	129
3.5	Havza Alanları Başlangıç Su Tutulması Miktarları	137
3.5.1	Hidrolojik Toprak Grupları	137
3.5.2	Yüzey Akış Eğri Numaraları	139
3.5.3	Başlangıç Su Tutulması Miktarları	140
3.6	Yüzeysel Akış Ölçümlerinin Analizi	141
3.7	Modellerden Elde Edilen Sonuçlar	148
3.7.1	Havza Yağış Modelleri	148
3.7.2	Havza Akış Modelleri	160
3.8	Modellere Dayalı Risk Analizleri ve Değerlendirmeler	167
3.8.1	Alibeyköy Havzası Risk Analizleri ve Değerlendirmeler	167
3.8.2	Büyükçekmece Havzası Risk Analizleri ve Değerlendirmeler	175
3.8.3	Terkos Havzası Risk Analizleri ve Değerlendirmeler	183
4	SONUÇ VE ÖNERİLER	191
4.1	Modelleme Yaklaşımına İlişkin Değerlendirmeler	191
4.2	Elde Edilen Sonuçlar ve Tartışma	192
	KAYNAKÇA	202
	A METEOROLOJİK ÖLÇÜM VERİLERİNİN ZAMAN SERİLERİ	209
	B METEOROLOJİK ÖLÇÜM VERİLERİNİN HOMOJENLİK ANALİZLERİ	218
	C REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON KAYIPLARININ HESAPLANMASI	226
	D ARAZİ ÖRTÜSÜ HARİTALARI	228
	E EĞRİ NUMARALARI VE BAŞLANGIÇ SU TUTULMASI MİKTARLARI	236
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	247

SİMGE LİSTESİ

Ia	Başlangıç Su Tutulması
Δ	Doygun Buhar Basıncı-Sıcaklık Eğrisi Eğimi
ea	Gerçek Buhar Basıncı
ETa	Gerçek Evapotranspirasyon
kPa	Kilopaskal
MJ	Megajul
m	Metre
mm	Milimetre
Rn	Net güneş radyasyonu
es	Ortalama doymuş buhar basıncı
γ	Psikrometrik Sabit
ETo	Referans Evapotranspirasyon
u ₂	Rüzgâr Hızı
s	Saniye
°C	Santigrat derece
T	Sıcaklık
G	Toprak ısı Akısı

KISALTMA LİSTESİ

AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CORINE	Coordination of Information on the Environment (Çevresel Bilginin Koordinasyonu)
DRRSM	Daily Rainfall Runoff Simulation Model (Günlük Yağış Akış Simülasyon Modeli)
FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
FRIER	Flow Routing Instantaneous unit hydrograph model with accent to Evapotranspiration and Radiation methods (Evapotranspirasyon ve Radyasyon yöntemlerine vurgu yapan Akış Yönlendirme Anlık birim hidrograf modeli)
GETa	Global evapotranspirasyon
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (Hidrolojik Mühendislik Merkezi-Nehir Analiz Sistemi)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
KINEROS	KINematic runoff and EROSION (Kinematik akış ve erozyon)
PM	Penmann-Monteith
SCS-CN	Soil Conservation Service- Curve Number (ABD Toprak Koruma Servisi-Eğri Numarası)
SSEBop	The Operational Simplified Surface Energy Balance (Operasyonel Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi)
SWAT	Soil and Water Assessment Tool (Toprak ve Su Değerlendirme Aracı)
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
USGS	United States Geological Survey (ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu)
WMO	World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Çalışmaya ait iş akış diyagramı	36
Şekil 2.2 Bölgesel homojenliğin sağlandığı çift toplam yağış grafiği örneği.....	42
Şekil 2.3 Bölgesel homojenliğin sağlanmadığı çift toplam yağış grafiği örneği...	42
Şekil 2.4 Landsat-5TM için 4-3-2 nolu bant kombinasyonu örneği.....	50
Şekil 2.5 Arazi örtüsü sınıflandırma işlemleri için örnekleme dosyası örneği	51
Şekil 2.6 Denetimli sınıflandırma yöntemine göre arazi örtüsü sınıflandırma	52
Şekil 2.7 İterasyona dayalı sayısal çözümleme işlemleri	63
Şekil 2.8 SCS-CN yönteminde eğri numaraları ile yüzeysel akışın ilişkisi	68
Şekil 3.1 Meteoroloji ölçüm istasyonlarının aylık yağış ortalamaları.....	87
Şekil 3.2 Havza alanlarında aylık yağış ortalamaları.....	89
Şekil 3.3 Alibeyköy havzası aylık toplam yağış miktarları değişimi	89
Şekil 3.4 Büyükçekmece havzası aylık toplam yağış miktarları değişimi	90
Şekil 3.5 Terkos havzası aylık toplam yağış miktarları değişimi.....	90
Şekil 3.6 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıflarındaki değişim.....	102
Şekil 3.7 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıflarındaki değişim	106
Şekil 3.8 Terkos havzası arazi kullanım sınıflarındaki değişim.....	110
Şekil 3.9 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETo miktarları.....	118
Şekil 3.10 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETo miktarları	118
Şekil 3.11 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETo miktarları	119
Şekil 3.12 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları ETa katsayıları	120
Şekil 3.13 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETo miktarları.....	121
Şekil 3.14 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETa miktarları.....	121
Şekil 3.15 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları ETa katsayıları.....	124
Şekil 3.16 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETo miktarları	124
Şekil 3.17 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETa miktarları	125
Şekil 3.18 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları ETa katsayıları	127
Şekil 3.19 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETo miktarları	128
Şekil 3.20 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETa miktarları.....	128
Şekil 3.21 Istrancadere-Karamandere akım gözlem istasyonu ölçümleri	142
Şekil 3.22 Istrancadere-Karamandere aylık gruplandırılmış akış ölçümleri	142
Şekil 3.23 Karasudere-İnceğiz akım gözlem istasyonu ölçümleri.....	144

Şekil 3.24 Sarısudere-İzzettin akım gözlem istasyonu ölçümleri	144
Şekil 3.25 Karasudere-İnceğiz aylık gruplandırılmış akış ölçümleri.....	145
Şekil 3.26 Sarısudere-İzzettin aylık gruplandırılmış akış ölçümleri	145
Şekil 3.27 Malovadere-Pirinççiköy akım gözlem istasyonu ölçümleri.....	147
Şekil 3.28 Malovadere-Pirinççiköy aylık gruplandırılmış akış ölçümleri.....	147
Şekil 3.29 Alibeyköy havzası yağış modeli dağılım grafiği	150
Şekil 3.30 Alibeyköy havzası yağış modeli testi dağılım grafiği.....	151
Şekil 3.31 Büyükçekmece havzası yağış modeli dağılım grafiği	153
Şekil 3.32 Büyükçekmece havzası yağış modeli testi dağılım grafiği.....	156
Şekil 3.33 Terkos havzası yağış modeli dağılım grafiği	157
Şekil 3.34 Terkos havzası yağış modeli testi dağılım grafiği.....	159
Şekil 3.35 Alibeyköy havzası akış modeli dağılım grafiği	161
Şekil 3.36 Büyükçekmece havzası akış modeli dağılım grafiği	165
Şekil 3.37 Terkos havzası akış modeli dağılım grafiği	167
Şekil 3.38 Alibeyköy havzası senaryo-1'e göre yüzeysel akış miktarları	168
Şekil 3.39 Alibeyköy havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları.....	170
Şekil 3.40 Alibeyköy havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları	171
Şekil 3.41 Alibeyköy havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları	173
Şekil 3.42 Alibeyköy havzası senaryo-5'e göre yüzeysel akış miktarları	174
Şekil 3.43 Büyükçekmece havzası senaryo-1'e göre yüzeysel akış miktarları....	177
Şekil 3.44 Büyükçekmece havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları..	178
Şekil 3.45 Büyükçekmece havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları....	179
Şekil 3.46 Büyükçekmece havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları....	181
Şekil 3.47 Büyükçekmece havzası senaryo-5'e göre yüzeysel akış miktarları....	183
Şekil 3.48 Terkos havzası senaryo-1'e göre yüzeysel akış miktarları	184
Şekil 3.49 Terkos havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları	185
Şekil 3.50 Terkos havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları	187
Şekil 3.51 Terkos havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları	188
Şekil 3.52 Terkos havzası senaryo-5'e göre yüzeysel akış miktarları	190

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Meteoroloji ölçüm istasyonlarına ait bilgiler	18
Tablo 2.2	Alibeyköy havzası alt havza alanları ve yüzölçümleri	20
Tablo 2.3	Büyükçekmece havzası alt havza alanları ve yüzölçümleri	22
Tablo 2.4	Terkos havzası alt havza alanları ve yüzölçümleri	24
Tablo 2.5	Çalışmada kullanılan Landsat uydu görüntüleri ve tarihleri	30
Tablo 2.6	Landsat uydu görüntülerinden elde edilen arazi örtüsü haritaları	47
Tablo 2.7	SCS-CN yöntemine göre eğri numaralarının belirlenmesi	67
Tablo 2.8	Büyük toprak grupları ve sembolleri	69
Tablo 2.9	BTG-TOK kombinasyonuna göre hidrolojik toprak grupları	71
Tablo 2.10	Eğri numaralarına göre başlangıç su tutulması miktarları	75
Tablo 2.11	Aylık verilere dayalı oluşturulmuş model hesaplama dönemleri	79
Tablo 3.1	Meteoroloji ölçüm istasyonları ortalama yağış miktarları	86
Tablo 3.2	Havza alanlarında ortalama yağış miktarları	88
Tablo 3.3	Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları alansal dağılımı	100
Tablo 3.4	Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları alansal dağılımı	104
Tablo 3.5	Terkos havzası arazi kullanım sınıfları alansal dağılımı	108
Tablo 3.6	Alibeyköy havzası aylık ve yıllık ortalama ETa miktarları	122
Tablo 3.7	Büyükçekmece havzası aylık ve yıllık ortalama ETa miktarları	126
Tablo 3.8	Terkos havzası arazi aylık ve yıllık ortalama ETa miktarları	129
Tablo 3.9	Arazi kullanım sınıflarına ait CN numaraları	139
Tablo 3.10	Arazi kullanım sınıflarına ait başlangıç su tutulması miktarları	141
Tablo 3.11	Istrancadere-Karamandere akım ölçüm ortalamaları	143
Tablo 3.12	Karasudere-İnceğiz Sarısudere-İzzettin akım ölçüm ortalamaları	146
Tablo 3.13	Malovadere-Pirinççiköy akım ölçüm ortalamaları	148
Tablo 3.14	Alibeyköy havzası yağış modeli sonuçları	150
Tablo 3.15	Alibeyköy havzası yağış modeli test sonuçları	152
Tablo 3.16	Büyükçekmece havzası yağış modeli sonuçları	154
Tablo 3.17	Büyükçekmece havzası yağış modeli test sonuçları	155
Tablo 3.18	Terkos havzası yağış modeli sonuçları	158
Tablo 3.19	Terkos havzası yağış modeli testi sonuçları	159
Tablo 3.20	Alibeyköy havzası akış modeli sonuçları	162

Tablo 3.21	Büyükçekmece havzası akış modeli sonuçları.....	164
Tablo 3.22	Terkos havzası akış modeli sonuçları	167
Tablo 3.23	Alibeyköy havzası senaryo-1'e göre yüzeysel akış miktarları	169
Tablo 3.24	Alibeyköy havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları	170
Tablo 3.25	Alibeyköy havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları	172
Tablo 3.26	Alibeyköy havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları	173
Tablo 3.27	Alibeyköy havzası senaryo-5'e göre yüzeysel akış miktarları	175
Tablo 3.28	Büyükçekmece havzası senaryo-1'e göre yüzeysel akış miktarları ..	176
Tablo 3.29	Büyükçekmece havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları.	178
Tablo 3.30	Büyükçekmece havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları ..	180
Tablo 3.31	Büyükçekmece havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları ..	181
Tablo 3.32	Büyükçekmece havzası senaryo-5'e göre yüzeysel akış miktarları ..	182
Tablo 3.33	Terkos havzası senaryo-1'e göre yüzeysel akış miktarları	184
Tablo 3.34	Terkos havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları	186
Tablo 3.35	Terkos havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları	187
Tablo 3.36	Terkos havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları	189
Tablo 3.37	Terkos havzası senaryo-5'e göre yüzeysel akış miktarları	190

HARİTA LİSTESİ

Harita 2.1 Çalışma alanı olarak seçilen su havzaları	15
Harita 2.2 Çalışma alanı ve yakın çevresindeki meteoroloji ölçüm istasyonları..	19
Harita 2.3 Çalışma alanı içerisinde yer alan havza ve alt havza alanları	20
Harita 2.4 İstanbul ili sayısal yükseklik modeli haritası.....	28
Harita 2.5 Temmuz 2003 ayına ait global gerçek evapotranspirasyon haritası...	32
Harita 2.6 Ocak 2003 ayına ait global gerçek evapotranspirasyon haritası	32
Harita 2.7 Çalışmada kullanılan DSİ akım gözlem istasyonları	33
Harita 2.8 Çalışma alanında büyük toprak grupları ve toprak özellikleri	73
Harita 3.1 Ocak ayı alansal yağış normalleri.....	91
Harita 3.2 Şubat ayı alansal yağış normalleri.....	92
Harita 3.3 Mart ayı alansal yağış normalleri	92
Harita 3.4 Nisan ayı alansal yağış normalleri.....	93
Harita 3.5 Mayıs ayı alansal yağış normalleri.....	93
Harita 3.6 Haziran ayı alansal yağış normalleri	94
Harita 3.7 Temmuz ayı alansal yağış normalleri	94
Harita 3.8 Ağustos ayı alansal yağış normalleri	95
Harita 3.9 Eylül ayı alansal yağış normalleri.....	95
Harita 3.10 Ekim ayı alansal yağış normalleri.....	96
Harita 3.11 Kasım ayı alansal yağış normalleri	96
Harita 3.12 Aralık ayı alansal yağış normalleri	97
Harita 3.13 Yıllık alansal yağış normalleri	97
Harita 3.14 Alibeyköy havzası Haziran 1990 arazi kullanım sınıfları	99
Harita 3.15 Alibeyköy havzası Eylül 2015 arazi kullanım sınıfları	99
Harita 3.16 Büyükçekmece havzası Haziran 1990 arazi kullanım sınıfları	103
Harita 3.17 Büyükçekmece havzası Eylül 2015 arazi kullanım sınıfları.....	103
Harita 3.18 Terkos havzası Haziran 1990 arazi kullanım sınıfları.....	107
Harita 3.19 Terkos havzası Eylül 2015 arazi kullanım sınıfları	107
Harita 3.20 Ocak ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması	111
Harita 3.21 Şubat ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması	111
Harita 3.22 Mart ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması	112
Harita 3.23 Nisan ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması	112

Harita 3.24	Mayıs ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması.....	113
Harita 3.25	Haziran ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması.....	113
Harita 3.26	Temmuz ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması ...	114
Harita 3.27	Ağustos ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması.....	114
Harita 3.28	Eylül ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması	115
Harita 3.29	Ekim ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması	115
Harita 3.30	Kasım ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması	116
Harita 3.31	Aralık ayı referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması.....	116
Harita 3.32	Yıllık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması.....	117
Harita 3.33	Temmuz 2003 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası.	131
Harita 3.34	Haziran 2007 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası ..	132
Harita 3.35	Ocak 2008 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası.....	133
Harita 3.36	Şubat 2011 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası.....	134
Harita 3.37	Mayıs 2011 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası	135
Harita 3.38	Eylül 2015 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası.....	136
Harita 3.39	Hidrolojik toprak grupları	138

İstanbul İli Avrupa Yakası Su Havzalarında Sürdürülebilirlik Kapsamında Risk Analizleri ve Değerlendirmeler

Fırat PEKER

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Hürrem BAYHAN

Su havzalarının sürdürülebilirliğine ilişkin risk analizlerinde yeni bir yaklaşımın ortaya konması amacıyla yapılan bu çalışmada, arazi kullanımındaki değişimlere bağlı olarak yağış ve yüzeysel akış miktarlarının tahmin edildiği havza ölçeğinde dinamik modeller geliştirilmiştir. Yağış modellerinde orman alanı ve yağış miktarları arasında, yüzeysel akış modellerinde ise yağış, gerçek evapotranspirasyon (ETa), başlangıç su tutulması (Ia) miktarları ve yüzeysel akış miktarları arasında kurulan regresyon bağıntıları kullanılarak, İstanbul ili Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzaları için arazi kullanımına bağlı su oluşumu kapsamında uzun vadeli risk analizleri ve değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmada resmî kurumlardan temin edilen 1990-2015 yılları arası aylık meteoroloji ve yüzeysel akış ölçümleri kullanılmıştır. Aynı zaman periyodu içerisindeki 16 farklı tarihe ait Landsat uydu görüntüsü kullanılarak havza alanlarındaki arazi örtüsü değişimi belirlenmiştir. Penman-Monteith yöntemi kullanılarak aylık referans evapotranspirasyon (ETo) miktarları hesaplanmıştır. ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu tarafından yayınlanan küresel gerçek evapotranspirasyon haritalarından elde edilen alt havza aylık ETa miktarları ile

Çalışma kapsamında hesaplanan arazi kullanım sınıflarına ait aylık ETo miktarları arasında excel solver aracı kullanılarak yapılan iterasyona dayalı sayısal çözümleme sonucunda arazi kullanım sınıflarına ait aylık ETa katsayıları ve miktarları hesaplanmıştır. Arazi kullanım sınıflarına ait aylık Ia miktarlarının hesaplanmasında ABD Toprak Koruma Servisi tarafından geliştirilen Eğri Numarası (SCS-CN) yöntemi kullanılmıştır. Eklenik veriler kullanılarak geliştirilen havza yağış ve akış modellerinin 0.99'lara ulaşan determinasyon katsayıları, modellerin uzun vadede tahmin gücünün oldukça yüksek olduğunu göstermiştir. Dinamik hale getirilen bu modellere dayanarak, beş farklı arazi kullanım senaryosuna göre havzalarda uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarlarına ilişkin risk analizleri ve değerdendirmeler yapılmıştır. Senaryolardan elde edilen sonuçlara göre yüzeysel akış oluşumunun en çok orman alanlarından etkilendiğı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su havzası, regresyon analizi, sayısal çözümleme, akış modellemesi, risk analizi.

Risk Analyses and Evaluations Within the Scope of Sustainability of the Water Basins In Istanbul European Side

Firat PEKER

Department of Environmental Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hürrem BAYHAN

In this study, which was carried out in order to present a new approach in risk analysis regarding the sustainability of water basins, dynamic models were developed at the basin scale, in which rainfall and runoff amounts are estimated depending on the changes in land use. By using regression relations in precipitation models between forest area and precipitation amounts and in runoff models between precipitation, actual evapotranspiration (ETa), initial water retention (Ia) and surface flow, long-term risk analyzes and assessments were made for Alibeykoy, Buyukcekmece and Terkos basins in Istanbul within the scope of water production due to land use. In the study, monthly meteorological and surface flow measurements between the years 1990-2015 obtained from official institutions were used. The land cover change in the catchment areas was determined by using Landsat satellite images of 16 different dates in the same time period. Monthly reference evapotranspiration (ETo) amounts were calculated using the Penman-Monteith method. As a result of iterative numerical analysis using excel solver tool between sub-basin ETa amounts obtained from monthly global actual evapotranspiration maps published by the US Geological

Survey and monthly ETo amounts of land use classes calculated in the study, the monthly ETa coefficients and amounts of the land use classes were calculated. The Curve Number (SCS-CN) method developed by the US Soil Conservation Service was used to calculate the monthly Ia amounts of land use classes. The determination coefficients reaching 0.99 of the basin precipitation and flow models developed using additive data showed that the long-term predictive power of the models is quite high. Based on these dynamic models, risk analyzes, and assessments were made regarding the long-term amount of runoff that will occur in the basins, according to five different land use scenarios. According to the results obtained from the scenarios, it was observed that the runoff formation was mostly affected by the forest areas.

Keywords: Water basin, regression analysis, numerical analysis, runoff modeling, risk analysis.

1.1 Literatür Özeti

IPCC tarafından hazırlanan İklim Değişikliği 2014 Sentez Raporu'nda, 1950'den beri aşırı hava ve iklim olaylarında birçok değişimin gözlemlendiği belirtilmekte ve bazıları minimum sıcaklıklarda azalma, maksimum sıcaklıklarda artış, deniz seviyesinde yükselme, bazı bölgelerde aşırı yağış olayı sayısında artış olarak sıralanan bu değişimler insan etkileriyle ilişkilendirilmektedir. İklim değişikliğinin etkisiyle birçok bölgede meydana gelen yağış değişimlerinin ise su oluşum miktarlarını ve su kalitesini etkilediği belirtilmektedir [1].

Yine IPCC tarafından hazırlanan İklim Değişikliği 2014 Azaltım Raporu'nda tarım, orman ve diğer arazi kullanım faaliyetlerinin biyofiziksel süreçleri (evapotranspirasyon, albedo, vb.) ve yeryüzü-atmosfer arasındaki sera gazı akışını etkileyerek iklim değişikliği üzerinde azaltıcı veya hızlandırıcı etkilerinin olabileceği belirtilmektedir. Raporda; sera gazı emisyonlarının azaltılmasında en uygun maliyetli seçeneklerin ormancılıkta ağaçlandırma, sürdürülebilir orman yönetimi ve ormansızlaşmanın azaltılması olduğu, tarımda ise ekili arazi yönetimi, mera yönetimi ve organik toprakların restorasyonu olduğu belirtilmektedir. Arazi kullanımının iklim değişikliği ile doğrudan bir ilişkisi olduğu ifade edilmekte, arazilerin ise konut ve altyapı gereksinimlerinin karşılanması, tarım, su ürünleri yetiştiriciliği ve ormancılık yoluyla mal ve hizmet üretimi ve atık ve emisyonların bertaraf edilmesi dahil olmak üzere birçok farklı amaç için kullanıldığı belirtilmektedir [2].

Nüfus artışı ile artan insan faaliyetleri arazi ihtiyacını artırmakta, bu da mevcut sınırlı arazi kaynağının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Arazi ihtiyaçlarının karşılanması için yapılan arazi kullanımları ise doğal yaşamın ve kaynakların tahribatına neden olmakta, arazi örtüsünün değişmesine yol açmaktadır [3].

Arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin su havzalarındaki su oluşumu ve su kalitesi üzerinde önemli etkileri olmakta, bu etkileri araştırmak için çeşitli modellerin kullanıldığı ve bu modellere dayalı olarak çeşitli projeksiyonların yapıldığı birçok çalışma yapılmaktadır [4].

Bu kapsamda yapılan çalışmaların birçoğunda arazi örtüsündeki değişimlerin evapotranspirasyon (buharlaşma ve terleme miktarı) ve su dengesini değiştirerek hidrolojik süreçler üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir. Slovakya'daki bazı su havzalarında arazi kullanımındaki değişimlerin su dengesi üzerinde etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, havza alanı küçük eşit parçalara (üniform bölmelere) bölünerek FRIER yağış-akış yöntemine dayalı bir hidrolojik modelleme çalışması yapılmış ve arazi kullanımındaki farklı değişim senaryolarına göre yüzeysel akış miktarlarında meydana gelecek değişimler tahmin edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; orman alanlarının çimenlik alanlara dönüştürüldüğü senaryoda tüm havzalar göz önüne alındığında yüzeysel akış miktarlarında ortalama %18'lik bir artış, evapotranspirasyon miktarlarında ise %6'lık bir azalma olduğu belirtilmiştir. Çimenlik alanların tarım alanlarına dönüştürüldüğü senaryoda ise yüzeysel akışta ortalama %2'lik bir artış, evapotranspirasyonda ise %1'lik bir azalma olduğu belirtilmiştir. Kentsel alanlardaki geçirimsiz yüzey oranının %100 olarak alındığı bir senaryoda ise yüzeysel akış miktarında ortalama %6'lık bir artış olurken, evapotranspirasyonda %3'lük bir azalma olduğu belirtilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçların ölçüm verileriyle doğrulanmamış olmasına karşın, kullanılan yöntemin entegre havza yönetimi çalışmalarında arazi kullanımına bağlı yüzeysel akış tahminlerinde kullanılabileceği belirtilmiştir [5].

İspanya'daki dağlık Ebro havzasında iklim ve arazi kullanımındaki değişimin havza su oluşumu üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada uzun yıllara dayalı iklim ve yüzeysel akış verileri kullanılarak parametrik olmayan Mann-Kendall trend analizleri yapılmış ve bu analizlere göre çalışma alanı içerisindeki alt havzaların çoğuna ait nehir deşarjlarında belirgin bir azalma olduğu belirtilmiştir. Ancak nehir deşarjlarındaki bu azalmanın sadece iklim değişimi ile açıklanamadığı, arazi kullanımındaki değişimlere bağlı olarak evapotranspirasyonda meydana gelen artışla da ilişkisi olduğu belirtilmiştir [6].

Kenya'nın Mara nehir havzasında yapılan bir çalışmada arazi kullanımı ve iklim değişiminin havza hidrolojisi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Havzanın hidrolojik modellemesi SWAT yazılımı kullanılarak yapılmış ve modelleme sonuçlarına göre orman alanlarının tarım alanı veya mera alanlarına dönüştürülmesinin kurak mevsimlerdeki akışları azaltacağı, buna karşın pik akımların şiddetini artıracığı ve bunun da bazı yıllarda su kıtlığına yol açabileceği belirtilmiştir. Çalışmada kurgulanan arazi kullanımı değişim senaryolarında orman alanlarının tarım alanlarına dönüştürülmesinin yüzeysel akış ve evapotranspirasyon miktarlarında artışa yol açtığı, orman alanlarının meralara dönüştürülmesinin ise yüzeysel akış miktarında artışa yol açarken, evapotranspirasyon miktarında azalmaya yol açtığı belirtilmiştir [7].

Güneybatı Afrika'da yer alan bazı su havzalarındaki arazi kullanımında meydana gelen değişimlerin havza deşarj miktarları üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada parametrik olmayan Mann-Kendall trend analizi yöntemi kullanılarak yağış ve akış miktarlarının zamana ve konuma dayalı olarak değişimleri analiz edilmiştir. Analizler neticesinde yağış ve akış oluşum miktarlarında konuma dayalı olarak büyük değişimlerin gözlemlendiği belirtilerek, özellikle havza deşarjlarında görülen büyük değişimlerin arazi kullanımına bağlı olarak gerçekleştiğinin düşünüldüğü belirtilmiştir [8].

Arazi kullanımı, meteorolojik parametreler ve yüzeysel akış miktarları üzerinde HEC-RAS ve SWAT yazılımları kullanılarak yapılan modelleme çalışmalarına dayanarak, Ekvatorda yer alan Andean havzaları için geleceğe dönük tahminlerin yapıldığı bir çalışmada orman ve çalılık alanlarda %6'lık artışa karşılık havza yüzeysel su deşarjında %7 gibi bir artış öngörüldüğü belirtilmiş, aynı zamanda sel ve taşkınlar için öngörülen %16'lık azalmanın orman ve çalılık alan miktarındaki artışın havza akış rejimi üzerinde iyileştirici etkisi olacağının bir kanıtı olduğu ifade edilmiştir [9].

Hidrolojik modelleme için SWAT ve KINEROS yazılımları kullanılarak Amerika kıtasında yer San Pedro nehir havzasındaki arazi örtüsü değişiminin yüzeysel akış ve su kalitesi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada yapılan simülasyonlara göre, kentsel ve tarımsal alanların artması ve aynı zamanda

odunsu bitkilerin istilası ile doğal otlakların azalmasının yıllık akış hacimlerinin artmasına ve daha hızlı sel tepkisine neden olduğu belirtilmiştir [10].

Çin'de yer alan 10 farklı su havzası kapsamında iklim değişikliği, karbondioksit konsantrasyonundaki değişim, arazi kullanımındaki değişim ve insan müdahalelerinin yüzeysel akış miktarları üzerinde etkilerinin modellendiği bir çalışmada, 1979-2015 yılları arasında yüzeysel su miktarında görülen artışlarda iklim değişikliği ve artan yağışların etkisinin %90'dan fazla olduğu, ağaçlandırma faaliyetlerinden kaynaklı arazi kullanımındaki değişimin ise yüzeysel akışta %6'dan az bir azalmaya yol açtığı belirtilmiştir [11].

Dünya mirası listesinde alınmış olan Büyük Set Resifi havzasında tarihsel süreç içerisindeki arazi kullanımının etkilerinin incelendiği bir çalışmada bitki örtüsünün küçük ölçekli alanlardaki su oluşumu için önemli bir faktör olduğu ve bitki örtüsündeki değişimin yüzeysel akışta neredeyse iki katına varan artışlara neden olduğu bildirilmiş, ancak küçük ölçekli alanlarda izlenebilen bu etkilerin iklim değişkenlerinin de eklenmesiyle büyük havza ölçeğinde belirlenmesinin zor olduğu belirtilmiştir. Alt havza düzeyinde yapılan bir vaka analizinde ise akış miktarlarındaki değişimin iklim değişikliği ve arazi kullanımı üzerindeki insan kaynaklı müdahalelerden kaynaklandığı belirtilmiştir [12].

Arazi kullanımının havza su oluşumu ve verimi üzerindeki etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada orman alanlarının yüzey akışında azalmaya yol açarak sızmayı ve yeraltı suyu oluşumunu artırdığı ve bundan dolayı su oluşumu açısından en önemli ekosistemlerden birinin orman alanları olduğu belirtilmiş ve çalışma kapsamında üç ayrı alt havzada SWAT yazılımı kullanılarak yapılan hidrolojik analizler ve alt havzalar için hesaplanan su verim indeksi (SVI) değerleri kullanılarak arazi kullanım sınıflarının su verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; orman alanlarındaki SVI değeri 0,89 iken tarım alanlarındaki SVI değeri 0,65 olarak hesaplanmış, buna dayanarak orman alanlarındaki su veriminin tarım alanlarına göre daha yüksek olduğu ifade edilmiş, bununla birlikte orman alanlarındaki ağaç türlerinin SVI üzerinde anlamlı bir fark oluşturmadığı belirtilmiştir [13].

Brezilya'nın Amazon havzalarında arazi örtüsü ve kullanımındaki değişimlerin havza hidrolojisi üzerindeki etkilerinin modellendiği bir çalışmada orman alanlarının mera alanlarına dönüşmesinin havza deşarjında artışa yol açtığı belirtilmiş ve deşarj miktarlarındaki artışın aslen evapotranspirasyon kayıplarındaki azalmadan dolayı meydana geldiği, bunun ise orman alanlarındaki evapotranspirasyonun mera alanlarına göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir [14].

Türkiye'nin Karadeniz bölgesinde yer alan Bartın havzası kapsamında MIKE-SHE yazılımı kullanılarak arazi kullanımındaki değişimin kırsal havzalardaki nehir akışına olan etkisinin modellendiği bir çalışmada tarım ve orman alanlarındaki farklı değişim senaryoları karşısında Bartın nehrinin akış simülasyonları yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen genel sonuçlara göre gözlenen ve tahmin edilen günlük akış miktarları arasındaki korelasyon katsayısının 0,72 olarak hesaplandığı, orman alanlarındaki artışın nehir akışında düşük de olsa bir azalmaya yol açtığı, su bütçesini etkileyen ana etkenin yağış olduğu ve yağışların %65'i yüzeysel akışa geçerken, %35'inin evapotranspirasyon kaybına uğradığı belirtilmiştir [15].

Gediz havzasının bir alt havzası olan Demirci havzasında DRRSM modelinin CBS ile entegre edilerek uygulamasının yapıldığı bir çalışmada, havza alanı içerisinde oluşturulan homojen hidrolojik birimler ölçeğinde yağış miktarı, arazi örtüsü ve toprak özelliklerini de dikkate alan günlük akış miktarları modellenmiştir. Arazi örtüsü sınıflarına ait evapotranspirasyon ve toprak özelliklerine dayalı olarak su tutma potansiyelleri model değişkenleri içerisinde yer almıştır. Modelden elde edilen günlük akış miktarları ile ölçüm miktarları arasındaki R^2 katsayı 0,748 olarak hesaplanmış, buna dayanarak geliştirilen modelin havza çıkışında oluşacak günlük akış miktarlarını modelleyebildiği belirtilmiştir [16].

Köprüçay nehri havzasında parametrik havza modellemesi ile akım tahminlerinin yapıldığı bir çalışmada; havzanın tamamı 500x500 metre büyüklüğünde hücrelere bölünmüş, her hücreye eğim, jeolojik yapı ve bitki örtüsü katmanlar halinde işlenmiştir. İşlenen bu özelliklerin yanı sıra mevsimsel etkiler de göz önünde bulundurularak her hücre için mevsime ait akış katsayıları bulanık mantık modeli

kullanılarak tespit edilmiştir. Yağış verileri ve akış katsayıları kullanılarak her bir yağış sonucunda her bir hücrede oluşabilecek akış miktarı tespit edilmiştir. Akış katsayıları ve yağış değerlerinden elde edilen yüzeysel akış miktarları ve çalışma kapsamında belirlenen taban akışı ve yüzeysel akış çekilme katsayılarının kombine edilmesi ile parametrik havza modellemesi tamamlanmıştır. Havza modeli kullanılarak tahmin edilen değerler ile üç farklı istasyona ait akım ölçüm değerleri karşılaştırılmış ve ortalama R^2 değeri 0,966 olarak hesaplanmıştır. Buna dayanarak; oluşturulan havza modeli vasıtasıyla yıllık akım değerlerinin yüksek bir doğrulukla tahmin edilebileceği belirtilmiştir [17].

İstanbul Büyükçekmece havzası için SWAT yazılımı kullanılarak yapılan bir hidrolojik modelleme çalışmasında CORINE verisinden üretilmiş 1990 ve 2006 yıllarına ait arazi örtüsü/kullanımı haritaları kullanılarak arazi örtüsündeki/kullanımındaki değişimlerin model sonuçlarına etkisi değerlendirilmiştir. Kullanılan modelleme yazılımı vasıtasıyla arazi örtüsündeki/kullanımındaki değişimleri gösteren bu iki farklı tarihe ait yağış, evapotranspirasyon, sızma, zemin nemi, taban akışı, yüzeysel akış, toplam akış ve kar erimesi miktarları hesaplanmıştır. Değerlendirme sonucunda, bazı alt havzalarda arazi örtüsünde bir değişim olmasına rağmen hesaplanan bazı hidrolojik bileşenlerde değişim olmadığı tespit edilmiştir. Çalışma sonunda arazi örtüsü/kullanımındaki değişimlerin hidrolojik bileşenler üzerinde yağış, sıcaklık gibi bazı temel parametreler kadar olmasa da belirli bir düzeyde etkili olduğu belirtilmiştir [18].

İran'daki Tajan Nehri havzasında Mann-Kendall ve kümülatif sıra farkı (CRD) testleri ile çift kütle eğrisi yöntemi kullanılarak yıllık akış miktarları üzerinde iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinin etkilerinin araştırıldığı bir çalışmadan elde edilen trend analizi sonuçlarına göre; havzada inşa edilen baraj sonrasında, yağışlı mevsimlerdeki akış değişimlerinin önemli ölçüde azalma eğiliminde olduğu, buna karşılık kurak mevsimlerdeki akış değişimlerinin ise önemli ölçüde artış eğiliminde olduğu belirtilmiş ve hem yağışlı hem de kuru mevsimlerdeki akış değişimleri üzerinde baraj inşaatına dayalı insan faaliyetlerinin etkisinin çok açık şekilde belirgin olduğu ifade edilmiştir [19].

SWAT yazılımı ile birlikte Mann-Kendall ve Sen'in eğim testi trend analizi yöntemleri kullanılarak, Malezya'daki Johor nehir havzasında arazi kullanımı ve iklim değişikliğinin hidrolojik bileşenler üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada; yıllık akarsu akışı ve buharlaşmanın arazi kullanımı değişikliklerinden ziyade iklim değişkenliğinden daha fazla etkilendiği, ancak alt havza ölçeğinde akarsu akışı tepkilerinin farklı olduğu ve arazi kullanımının yerel su döngüsü üzerinde hayati rol oynadığı belirtilmiştir. Bunların yanı sıra çalışmadan elde edilen diğer bulgulara dayanarak, arazi kullanımının buharlaşma oranını etkilemede akarsu akışından daha önemli bir rol oynadığı ve iklim değişikliğinin hidrolojik rejim üzerindeki etkisinin azaltılmasında arazi kullanım planlamasının iyi bir yol olabileceği ifade edilmiştir [20].

Yukarıda yer alan literatür özeti ile genel olarak vurgulanmak istenen husus; havza ölçeğinde yapılmış birçok modelleme çalışmasında arazi örtüsünün/kullanımının model değişkenleri içerisinde yer aldığıdır. Modelleme çalışmalarında kullanılan yazılımın özelliklerine göre arazi örtüsü verileri model içerisinde birer giriş parametresi olarak yer almış ve arazide meydana gelen değişimlerin havza hidrolojisine olan etkileri araştırılmıştır. Literatür özetinde yer alan çalışmaların hemen hemen tümünde elde edilen sonuçlar; iklim değişikliği kadar olmasa da arazi örtüsündeki değişimlerin havza hidrolojisinde belli ölçüde etkili olduğu yönündedir. Birçok çalışmada; arazi örtüsündeki değişime bağlı olarak yüzeysel akış miktarlarında meydana gelen değişimin aslen evapotranspirasyon miktarlarında meydana gelen değişimden kaynaklandığı belirtilmektedir [5, 6, 7, 14, 20]. Bunun yanı sıra orman alanlarındaki evapotranspirasyon miktarının mera, çayır gibi diğer arazi örtüsü sınıflarına göre daha yüksek olduğu, bunun bir sonucu olarak orman alanlarının mera, çayır gibi diğer alanlarına dönüştürülmesi neticesinde havzadaki evapotranspirasyon miktarının düştüğü bazı araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir [5, 7, 14]. Tarım alanlarına gelindiğinde ise birçok araştırmacı tarafından tarım alanlarındaki artışın havzadaki su oluşum miktarını artırdığı belirtilmiştir [5, 7, 10].

Literatür özetinde yer verilen tüm bu çalışmalarda hidrolojik modelleme için çeşitli modelleme yazılımları kullanıldığı görülmekte ve bu modellerin birçoğunda iklim verilerinin yanı sıra arazi verilerinin de birer değişken olarak yer aldığı ve

bu modellere dayanarak çeşitli simülasyonların yapıldığı görülmektedir. Bu simülasyonlara dayanarak arazi örtüsü/kullanımında meydana gelen değişimlere göre havza evapotranspirasyon ve yüzeysel akış miktarları tahmin edilebilmekte, bunun bir sonucu olarak da havzadaki taşkın veya kuraklık riski gibi hidrolojik risklere yönelik öngörülerde bulunulabilmektedir [7, 9, 10]. Literatür özetinde yer alan bazı çalışmalarda görüldüğü üzere; Mann-Kendall veya Sen'in eğim testi gibi çeşitli trend analizi yöntemlerinin de havza modelleme çalışmalarında kullanıldığı görülmektedir [6, 8, 19, 20].

Meteorolojik veya hidrolojik parametrelere ilişkin olarak yapılan trend analizi yöntemlerinde çoğunlukla yağış, sıcaklık, evapotranspirasyon, akış gibi değişkenlerin uzun yıllara dayalı zaman serisi ölçüm verileri kullanılmakta ve bu değişkenler için aylık, yıllık veya mevsimsel ölçeğe anlamlı bir değişim trendinin olup olmadığı araştırılmaktadır. Şayet anlamlı bir değişim trendi olduğu görülürse bunun meteorolojik veya hidrolojik açıdan bir risk unsuru olup olmadığı değerlendirilmektedir [21, 22, 23, 24, 25, 26].

1.2 Tezin Amacı

Dünyanın dörtte üçünü oluşturan su insan varlığının sürdürülebilmesi için gerekli temel maddelerin başında gelmektedir. Tarihin başlangıcından beri su ile ilgilenmiş olan insanlar, suyun özelliklerini tanımaya, hareketini yöneten kanunları belirlemeye, yaratabileceği tehlikeleri önlemeye ve sudan en iyi şekilde yararlanmaya çalışmışlardır. İnsan nüfusunun artışına bağlı olarak içme ve kullanma suyu ihtiyacı da giderek artmış, ancak su kaynaklarının kısıtlı olması bu kaynakların sürdürülebilirliğinin önemini bir kat daha artırmıştır. Sürdürülebilirlik en basit tabirle; kaynakların yerinde kullanılarak gelecek kuşaklara aktarılması ve devamlılığının sağlanması olarak tanımlanabilir. İklim değişikliğinin bir sonucu olarak meydana gelen meteorolojik değişimler, doğal arazi örtüsünü değiştiren insan kaynaklı müdahaleler ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel kirlilik su kaynaklarının sürdürülebilirliğini gün geçtikçe risk altına sokmaktadır. Bu riskler ise su kaynaklarının gitgide azalması ve/veya kullanılamayacak derecede kirlenmesi şeklinde kendini göstermektedir.

Su kaynaklarının sürdürülebilirliği üzerinde farklı ölçeklerdeki etkenlerin etkisi söz konusudur. Bazı etkenler yerel veya bölgesel ölçekte etkili olurken, bazıları küresel ölçekte etkili olmaktadır. Artan sera gazı emisyonlarına bağlı olarak meydana gelen küresel ısınma ve bunun neticesinde yüzleşmekte olduğumuz iklim değişikliği, su kaynaklarının sürdürülebilirliğine etki eden küresel ölçekteki etkenlerin başında gelmektedir. İklim değişikliğinin küresel etkisiyle yerel veya bölgesel ölçekteki meteorolojik olayların değişime uğraması söz konusudur. Yerel veya bölgesel ölçekteki meteorolojik olaylarda meydana gelen bu söz konusu değişimler; maksimum sıcaklıklardaki artış, minimum sıcaklıklarda azalma, yağış miktarlarında değişim/düzensizleşme, ani ve aşırı yağışlar gibi bazı bölgelerde şimdiye kadar nadir görülen bazı aşırı hava olaylarının sıkça yaşanmaya başlaması şeklinde kendini göstermektedir. Meteorolojik olaylarda meydana gelen bu değişimlerin etkisi ile bazı bölgelerde sel ve taşkın olayları meydana gelirken, bazı bölgelerde ise kuraklık ve su kıtlıkları meydana gelmektedir. Diğer bir deyişle; küresel ölçekli bir etken olan iklim değişikliği yerel veya bölgesel ölçekteki su kaynakları üzerinde önemli derecede etkili olmaktadır.

Su kaynaklarının sürdürülebilirliğini etkileyen yerel veya bölgesel ölçekteki etkenler ise su kaynaklarına veya bulundukları bölgeye yapılan insan müdahaleleridir. Bu müdahaleler doğrudan su kaynağına olabileceği gibi, su kaynağının bulunduğu bölgedeki arazi kullanımına yapılan müdahaleler şeklinde de olabilmektedir. Nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan arazi ihtiyacı, su kaynaklarının yer aldığı havza alanlarındaki doğal alanların çeşitli amaçlarla insan kullanımına açılmasına neden olmaktadır. İnsan kullanımına açılan bu doğal alanlar bazen tarımsal amaçlı, bazen hayvancılık amaçlı, bazen konut ihtiyacının karşılanması amacıyla, bazen de maden, sanayi veya başka sektörlerdeki arazi ihtiyacının karşılanması amacıyla dönüştürülmektedir. Doğal alanların farklı arazi kullanım şekillerine dönüştürülmesi, bu alanların bulundukları bölgedeki meteorolojik ve hidrolojik olayları olumsuz şekilde etkileyebilmektedir. Havzadaki su veriminin azalması ve/veya su kalitesinin bozulması şeklinde ortaya çıkabilen bu olumsuz etkiler ise su kaynaklarının sürdürülebilirliğini risk altına atabilmektedir.

Bu çalışmada; yeni bir modelleme yaklaşımına dayanarak, doğrudan insan müdahaleleri olarak ifade edilen arazi kullanımındaki değişimlerin su kaynakları üzerindeki uzun vadeli etkilerinin belirlenmesi ve bu etkiler karşısında su kaynaklarının sürdürülebilirliğine ilişkin risk analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde; İştanbul ili Avrupa yakasında yer alan Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzalarındaki arazi kullanımına bağlı olarak uzun vadeli yağış ve akış miktarlarının tahmin edildiği havza ölçeğinde yağış ve akış modelleri oluşturulmuştur. Modellerde uzun vadeli aylık eklenik veriler kullanılmış, böylelikle arazi kullanımındaki değişimin havza üzerindeki uzun vadeli etkilerinin ortaya konması sağlanmıştır. Dinamik hale getirilen bu modellere dayanarak, arazi kullanımındaki farklı değişim senaryolarına göre havzalarda uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarlarına ilişkin risk analizi ve değerlendirmeler yapılmıştır. Dinamik modelleme sayesinde arazi kullanımındaki değişim senaryoları tüm havza alanı için uygulanabildiği gibi, istenildiği takdirde sadece havza içerisinde seçilen bir veya birkaç alt havza alanı veya alt havza alanlarının kapsadığı belli bir bölge için uygulanabilmektedir. Böylelikle havzanın herhangi bir bölgesinde meydana gelecek arazi kullanımındaki değişimin havzanın bütününde meydana gelecek yağış ve akış miktarlarını nasıl etkileyebileceği modellenenebilmektedir.

Yağış ve akış modellerinde kullanılan model değişkenlerinin oluşturulması için literatürde karşılıkları bulunan birçok yöntem ve teknik kullanılmıştır. Bu yöntem ve teknikler arasında; meteorolojik ölçüm verilerinin eksik kayıtlarının tamamlanması ve homojenlik analizlerinde kullanılan yöntemler, havza ve alt havza ölçeğindeki yağış ve diğer meteorolojik parametrelerin elde edilmesinde kullanılan ters mesafe (IDW) enterpolasyon yöntemi, Landsat uydu görüntülerinden arazi kullanım sınıflarının belirlenmesi çalışmalarında kullanılan denetimli sınıflama yöntemi, havza ölçeğinde referans evapotranspirasyon miktarlarının hesaplanmasında kullanılan Penman-Monteith yöntemi, gerçek evapotranspirasyon miktarlarının hesaplanmasında excel solver modülü kullanarak yapılan iterasyona dayalı sayısal çözümlleme yöntemi, sızma hesaplarında kullanılan ABD Toprak Koruma Servisi tarafından geliştirilmiş Eğri Numarası (SCS-CN) yöntemi ve yağış ve akış modellerinin oluşturulmasında

kullanılan regresyon analizi yöntemi yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında kullanılan tüm bu hesaplama yöntemleri ve tekniklere ilişkin olarak literatürde birçok örnek çalışma mevcuttur. Bu örnek çalışmalar tezin ana konusu ile ilgili olmayıp sadece tezde kullanılan bazı yöntem ve tekniklerle ilgili olduklarından dolayı yukarıda yer alan literatür özeti içerisinde yer almamış, her birine tez çalışmasında kullanılan materyal ve yöntemlerin açıklandığı bölümde ayrıca yer verilmiştir.

Çalışmada; sadece doğrudan insan müdahaleleri olarak ifade edilen arazi kullanımındaki değişimlerin su kaynakları üzerindeki uzun vadeli etkilerinin belirlenmesi amaçlanmış, iklim değişimin uzun vadeli etkilerine çalışmada yer verilmemiştir. Bu amaç çerçevesinde; model değişkenleri içerisinde yer alan aylık yağış ve evapotranspirasyon parametrelerinin uzun vadeli değişimleri iklim değişikliği ile ilişkilendirilmeyip, sadece arazi kullanımı ile ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle, havza yağış ve akış modellerine dayalı olarak yapılan risk analizlerinde iklim parametreleri için trend analizleri yapılmamıştır. Diğer bir deyişle, çalışma alanı olarak seçilen Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzalarında meydana gelen yüzeysel akış miktarları üzerinde sadece yerel ölçekteki etkenlerin etkileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yerel ölçekteki bu etkiler ise aslen arazi kullanımındaki değişimlerle ilişkilendirilmiştir. Böylelikle; su havzalarının sürdürülebilirliği kapsamında yapılan risk analizlerinde küresel ölçekteki iklim değişikliğinin etkileri değil, yerel veya bölgesel ölçekteki insan kaynaklı müdahaleler sonucu meydana gelen arazi kullanımındaki değişimlerin etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır. Yerel veya bölgesel ölçekteki bu arazi kullanım değişimleri ise doğrudan doğruya arazi kullanım planlamasıyla ilişkilidir.

Arazi kullanım planlaması mevcut verilerle gelecekteki arazi kullanımının şekillendirilmesi ve doğal ve yapılı çevrenin hedeflenen doğrultuda oluşturulması için gerçekleştirilen düşünce ve eylemler olarak tanımlanmaktadır [3]. Yapılan bu tanımdan anlaşılacağı üzere; geleceğe ilişkin arazi kullanımının planlanması planlama tarihindeki mevcut verilere dayalı olarak yapılmaktadır. Mevcut veriler ise geçmişten gelen veriler ile güncel verilerden meydana gelmekle birlikte, geleceğe dönük bazı tahminleri de içerebilmektedir. Arazi kullanımındaki olası değişimlerin su kaynakları üzerindeki uzun vadeli etkilerinin modellenmesi, arazi

kullanım planlamasında kullanılabilecek geleceğe dönük bazı hidrolojik tahminlerin yapılabilmesi anlamına gelmektedir. Bu da tez çalışması kapsamında geliştirilen eklenik verilere dayalı uzun vadeli modelleme yaklaşımının, havza alanlarını da kapsayan arazi kullanım planlaması çalışmalarında önemli bir yerinin olabileceğini göstermektedir.

1.3 Hipotez

Sürdürülebilirlik uzun vadeye yayılı bir hedef olduğundan, tez çalışması kapsamında geliştirilen havza bazlı yağış ve akış modellerine dayanarak yapılacak uzun vadeli risk analizlerinin, gelecekteki arazi kullanımını şekillendirecek arazi kullanım planlaması çalışmalarında önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Bu katkıların başında; havzalardaki arazi kullanım planlamasına dayalı olarak uzun vadeli yüzeysel akış tahminlerinin yapılabilmesi gelmektedir. Dinamik modelleme sayesinde farklı arazi kullanım senaryolarına göre yüzeysel akış miktarları tahmin edilebilmekte ve buna dayalı olarak yüzeysel akış oluşumuna ilişkin risk analizleri ve değerlendirmeler yapılabilmektedir.

Çalışmada modellemeye konu olan Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzalarına ait birçok parametre için aylık ve yıllık hesaplamalar yapılmıştır. Bu parametrelerin başlıcaları; havza alanlarındaki arazi kullanım sınıflarında meydana gelen değişimler, havzaların aylık ve yıllık yağış miktarları, havzalarda yer alan akım gözlem istasyonlarına ait yüzeysel akış ölçümleri, havzalardaki aylık ve yıllık referans ve gerçek evapotranspirasyon miktarları, havzalardaki arazi kullanım sınıflarına ait gerçek evapotranspirasyon katsayıları ve buna bağlı olarak hesaplanan arazi kullanım sınıfı gerçek evapotranspirasyon miktarları, arazi kullanım sınıflarına ait yüzey akış eğri numaraları ve başlangıç su tutulması miktarları olarak sıralanmaktadır. Havzalar için hesaplanan tüm bu parametrelerin birçok farklı çalışmada değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

Çalışmada havza ölçeğindeki uzun vadeli risk analizleri için yeni bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımda; arazi kullanım sınıflarının değişimine bağlı olarak yüzey akış modellemesi yapılırken, model hesaplarında arazi kullanım sınıflarına ait gerçek evapotranspirasyon miktarları ve sızma hesaplarında kullanılan başlangıç su tutulması miktarları kullanılmıştır. Böylelikle arazi kullanım

sınıflarının yüzeyssel akış üzerindeki etkileri gerçek dünyadakine benzer şekilde modellenmeye çalışılmıştır. Diğer bir deyişle; havza alanlarında meydana gelen yüzeyssel akış miktarları ile havza alanlarını kaplayan farklı arazi kullanım sınıflarının yüzölçümleri arasında sadece istatistiğe dayalı soyut bir ilişki değil, gerçek dünyada olduğu gibi evapotranspirasyon ve su tutma miktarlarına dayalı bir hidrolojik ilişki kurulmuştur. Böylelikle; regresyon analizine dayalı akış modellerinde yer alan değişkenler arasında bir yandan matematiksel bir ilişki kurulurken, diğer yandan bu ilişkinin hidrolojik açıdan anlamlı olması sağlanmış olmaktadır. Öte yandan; uzun vadeli eklenik verilere dayalı model tasarımı sayesinde sürdürülebilirlik kapsamında uzun vadeli risk analizleri yapılabilmektedir. Tez çalışması kapsamında geliştirilen modellerin giriş verilerini oluşturan eklenik veriler 8 adet hesaplama dönemini içerecek şekilde toplam 101 aylık veriden oluşmaktadır. Her bir hesaplama dönemi birbirini takip eden 10 ile 14 aylık kesintisiz periyotlardan oluşmaktadır. Bu açıdan bakıldığında hesaplama dönemlerinin her biri birer su yılı olarak kabul edilebilir. Böylelikle, uzun vadeli eklenik verilere dayalı olarak yapılan modelleme sayesinde uzun vadeyi kapsayan çoklu hesaplama dönemleri (ya da çoklu su yılları) için yağış ve akış tahminleri ve bu tahminlere göre de uzun vadeli risk analizleri yapılabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen bu yeni modelleme yaklaşımının, arazi kullanım planları, havza yönetim planları gibi planlamayı ilgilendiren birçok çalışma kapsamında yapılacak uzun vadeli tahmin ve öngörüler için kullanılabilir olduğu düşünülmektedir. Planlama çalışmalarının sonuçları uzun vadeli olduğundan, planlamanın temel hedeflerinin başında sürdürülebilirlik ilkesi gelmektedir/gelmelidir. Arazi kullanım planlaması çalışmaları kapsamında yapılacak uzun vadeli plan projeksiyonları ve buna dayalı risk analizlerinde, tez çalışması kapsamında geliştirilen eklenik verilere dayalı modelleme yaklaşımının önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

2.1 Çalışma Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı olarak İstanbul ilinin Avrupa yakasında yer alan Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzaları seçilmiştir. Seçilen bu üç havza İstanbul ili Avrupa yakasındaki dört büyük su havzası içerisinde yer almaktadır. Üçü birlikte bulundukları yakada yer alan su toplama havza alanlarının %82'sini oluşturmaktadır. Yıllık su verimi açısından bakıldığında Terkos barajı 142 milyon m³, Büyükçekmece barajı 100 milyon m³ ve Alibeyköy barajı 36 milyon m³ yıllık verime sahip olup, yıllık toplam verimi 1.625 milyon m³ olan İstanbul ili yüzeysel su kaynaklarının %17'si bu üç havzadan sağlanmaktadır [27].

İstanbul ili Avrupa yakasında yer alan dördüncü büyük su havzası ise Sazlıdere havzasıdır. Bu havzanın büyük bir bölümü Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından özel proje alanı ilan edilmiş olup, havza alanı içerisinde Kanal İstanbul Projesinin yapılması planlanmaktadır. Tez çalışması kapsamında havza ölçeğinde oluşturulan arazi kullanımına dayalı akış modelleri havza içerisinde yer alan Devlet Su İşleri (DSİ) akım gözlem istasyonlarının (AGİ) ölçüm verilerine dayanarak geliştirilmiştir. Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos havzalarının her birinin içerisinde DSİ tarafından işletilen AGİ mevcut olmasına karşın Sazlıdere havzasında DSİ tarafından işletilen bir AGİ bulunmamaktadır. Bundan dolayı Sazlıdere havzası çalışma alanı içerisine dahil edilememiştir.

İstanbul ili Avrupa yakasında yer alan diğer su kaynakları ise Kazandere, Kuzuludere, Çilingozdere, Düzdere havzaları ile Ayvat bendi, Kömürcü bendi, Büyükbent, Valide Sultan bendi, Topuzlu bendi, Sultan Mahmud bendi ve Kirazlibent olarak sıralanmaktadır. Çalışma alanı içerisinde yer almayan bu havza ve bentlerin kapasiteleri bölgede yer alan büyük havzalara göre oldukça düşük olup, ayrıca bu havza ve bentlere ilişkin herhangi bir AGİ ölçüm verisine ulaşamamıştır.

Harita 2.1’de çalışma alanı olarak seçilen Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos havzalarının kapsadığı alanlar verilmiştir. İlin kuzeybatı kesiminde Karadeniz kıyılarına yakın bir şekilde seyreden Terkos havzasında kırsal alan karakteri baskındır. Havzanın kuzeydoğu kesiminde doğal bir göl olan Terkos Gölü yer almaktadır. Terkos havzasının güney sınırlarından itibaren başlayıp Marmara kıyılarına doğru uzanan Büyükçekmece havzasının ise kuzey kesimlerinde kırsal karakter hâkim olmakla birlikte güney kesimlerine inildikçe kentsel alanlar yoğunlaşmaktadır. Havzanın güneydoğu kesiminde Büyükçekmece Gölü yer almaktadır. Alibeyköy havzası ise kuzeybatı-güneydoğu ekseninde uzun bir su toplama alanına sahip olup havzanın kuzeybatı kesimlerinde maden sahaları, güneydoğu kesiminde ise kentsel alanlar yoğunlaşmaktadır. Havzanın güneydoğu kesiminde yer alan Alibeyköy Barajı kentsel alanların yoğun olduğu bölgede yer almaktadır.



Harita 2.1 Çalışma alanı olarak seçilen su havzaları

Alibeyköy Barajı ve Havzası: Avrupa yakasında bulunan Alibeyköy Barajı Haliç’e dökülen 50 km uzunluğundaki Alibeyköy Deresi üzerinde kurulmuştur. Baraj gölünün kapladığı alan 4,3 km² olup 158,9 km²’lik su toplama alanına sahiptir. 34,1 hm³’lük rezerv kapasitesi ve yıllık 36 milyon m³’lük verimi ile Elmalı Barajı

hariç, ildeki diğer baraj ve göllerden küçüktür. Alibeyköy Barajı su toplama havzası yoğun yapılaşma etkisi altındadır. Havza alanı dahilinde çok sayıda açık ve kapalı maden ve taş ocakları işletmeleri ve bunlardan kalan maden gölleri mevcuttur [28].

Büyükçekmece Gölü ve Havzası: Marmara Denizi kıyısındaki eski koyların önünün kıyı kordonu tarafından kapanıp kıyı setti gölüne (lagün) dönüşmesiyle oluşan Büyükçekmece Gölü İstanbul'un Avrupa yakasındaki ikinci büyük göldür. Derinliği az olan gölün denizle bağlantısı kesilerek bir baraj gölü oluşturulmuştur. Silivri ve Büyükçekmece ilçelerinde bulunan gölün alanı $27,5 \text{ km}^2$ olup $631,6 \text{ km}^2$ 'lik su toplama havzasına sahiptir. Büyükçekmece Barajı $148,9 \text{ hm}^3$ 'lük rezerv yıllık 100 milyon m^3 su verimi ile kente su sağlayan önemli kaynaklar arasındadır. Göl güneye Marmara Denizi'ne akan derelerle beslenmekte olup, bu derelerden en önemlileri Karasu, İncegiz, Sarısu ve Çakıl dereleridir. Göldeki su kalitesi, su toplama havzası içindeki fabrikaların atıkları ile barajın hemen yanında yer alan tarım arazilerinden ve taş ocaklarından gelen atık sulardan etkilenmektedir [28].

Terkos Gölü ve Havzası: Terkos Gölü ilk olarak Osmanlı Döneminde (1883) kentsel amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1972 yılında DSİ tarafından yapılan barajla gölün su tutma kapasitesi artırılmıştır. Bugün yıllık 142 milyon m^3 'lük su verimiyle Avrupa yakasındaki en önemli su rezervleri arasındadır. Karadeniz'e oldukça yakın bir bölgede bulunan göl $41,7 \text{ km}^2$ 'lik yüzey ve $736,2 \text{ km}^2$ 'lik su toplama alanı ve $162,2 \text{ hm}^3$ 'lük su rezerviyle Ömerli Barajı'ndan sonra il sınırları içerisindeki ikinci büyük rezerv konumundadır. Terkos Gölü Havzası düşük yoğunluklu bir nüfus içermekte ve genellikle tarım arazisi olarak kullanılmaktadır [28].

2.2 Çalışmada Kullanılan Veriler

Çalışmada farklı kaynaklardan temin edilen birçok veri kullanılmıştır. Temin edilen verilerin türü, kullanım amacı, temin edildikleri kaynak ve temin edilen bazı veriler üzerinde yapılan kontrollerden sonraki kullanım durumlarına ilişkin açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

2.2.1 Meteorolojik Ölçüm Verileri

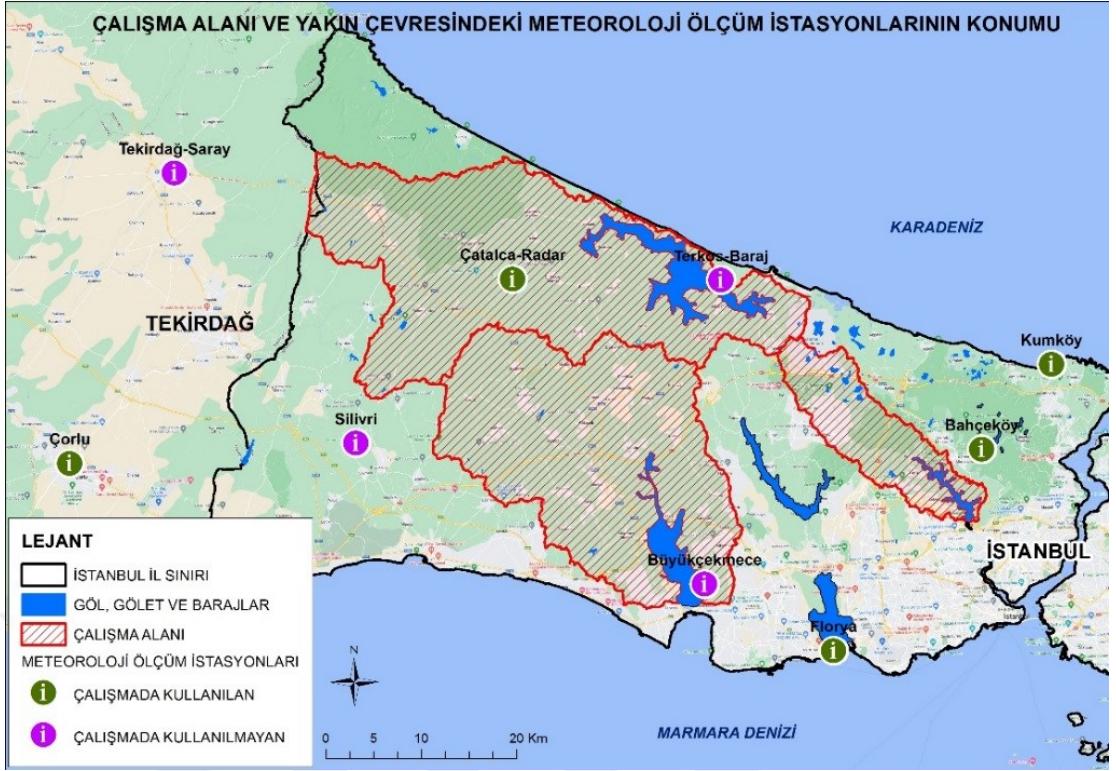
Havza ve alt havza alanlarına ilişkin meteorolojik parametrelerin hesaplanması amacıyla, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Meteorolojik Veri Bilgi Satış ve Sunum Sistemi'nden (MEVBIS), çalışma alanı içerisinde ve yakın çevresinde yer alan Çorlu, Tekirdağ-Saray, Çatalca-Radar, Silivri, Terkos-Baraj, Büyükçekmece, Florya, Kumköy ve Bahçeköy meteoroloji ölçüm istasyonlarına ait 1990-2015 yılları arasındaki aylık toplam yağış, aylık ortalama maksimum ve minimum sıcaklıklar, aylık ortalama maksimum ve minimum nispi nem, aylık ortalama rüzgar hızı ve aylık toplam güneşlenme süresi ölçümleri temin edilmiştir.

Temin edilen meteoroloji verilerinin ilk kontrolünden sonra, çalışma periyodu olarak belirlenen 1990-2015 yılları arasında 26 yıllık tam (eksiksiz) ölçüm verisine sahip olan istasyonların Çorlu, Florya ve Kumköy istasyonları olduğu, Tekirdağ-Saray, Çatalca-Radar, Silivri, Terkos-Baraj, Büyükçekmece ve Bahçeköy istasyonlarının ölçüm verilerinde ise eksik kayıtların olduğu görülmüştür. Havza alanlarına ait meteorolojik parametrelerin belirlenmesinde mümkün olduğu kadar çok sayıdaki istasyon verisinin kullanılması ilke olarak benimsenmiş olsa da eksik kayıtların fazlalığından dolayı Tekirdağ-Saray, Silivri, Terkos-Baraj ve Büyükçekmece istasyonlarına ait ölçüm verileri meteorolojik parametrelerin hesaplanmasında kullanılamamıştır. Çatalca-Radar ve Bahçeköy istasyonlarının mevcut kayıtları ise yeterli kabul edilmiş ve bu iki istasyona ait bazı eksik kayıtlar tamamlanmak suretiyle hesaplamalara dahil edilmiştir.

MEVBIS sisteminden veri temini yapılan meteoroloji ölçüm istasyonlarına ait istasyon adı ve istasyon kodu, koordinat bilgileri, yükseklik, ölçüm kayıtlarına ait yıllar ve eksik ölçüm kayıtlarından dolayı tezde kullanılıp kullanılmadığına ilişkin bilgiler aşağıda yer alan Tablo 2.1'de verilmiştir. Harita 2.2'de ise veri temini yapılan meteoroloji ölçüm istasyonlarının çalışma alanı ve yakın çevresindeki konumsal dağılımları ve tez çalışması kapsamında yapılan bölgesel iklim hesaplamalarında hangi istasyonlara ait ölçüm verilerinin kullanılıp hangilerinin kullanılmadığı yer almaktadır.

Tablo 2.1 Meteoroloji ölçüm istasyonlarına ait bilgiler

İstasyon Adı	Kod	Rakım (m)	Enlem	Boylam	Ölçüm Yılları	Kullanım Durumu
Çorlu	17054	145	41° 10' 9" N	27° 47' 58" E	1990-2015 (26 yıl)	Evet
Florya	17636	37	40° 58' 45" N	28° 44' 58" E	1990-2015 (26 yıl)	Evet
Kumköy	17059	38	41° 14' 57" N	29° 1' 46" E	1990-2015 (26 yıl)	Evet
Bahçeköy	17619	130	41° 10' 9" N	28° 56' 22" E	1990-2006 (17 yıl)	Evet
Çatalca-Radar	17047	381	41° 20' 27" N	28° 21' 24" E	2005-2015 (11 yıl)	Evet
Tekirdağ-Saray	18423	160	41° 26' 48" N	27° 56' 3" E	2014-2015 (2 yıl)	Hayır
Terkos-Baraj	18734	16	41° 20' 11" N	28° 37' 3" E	2014-2015 (2 yıl)	Hayır
Silivri	18400	195	41° 11' 8" N	28° 9' 27" E	2014-2015 (2 yıl)	Hayır
Büyükçekmece	18099	27	41°02'43" N	28°35'24" E	2012-2015 (4 yıl)	Hayır



Harita 2.2 Çalışma alanı ve yakın çevresindeki meteoroloji ölçüm istasyonları

2.2.2 Havza ve Alt Havza Alanlarının Sınırları

Çalışma alanı olarak seçilen Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzalarının sınırları ve bu havzaların içerisindeki alt havza alanlarını gösteren vektör tipindeki (shape.file) harita verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesine bağlı İstanbul Planlama Ajansından (veri temini yapıldığı tarihteki adı İstanbul Metropolitan Planlama Merkezi) temin edilmiştir. Çalışma konusu olan su havzalarının göl/baraj alanı haricindeki su toplama alanlarına bakıldığında; Alibeyköy havzasının yaklaşık 155 km², Büyükçekmece havzasının yaklaşık 603 km², Terkos havzasının ise yaklaşık 693 km² yüzölçümüne sahip olduğu görülmüştür. Alt havza alanlarına bakıldığında ise Alibeyköy havzası içerisinde 20 adet alt havza alanı olduğu, Büyükçekmece havzası içerisinde 34 adet alt havza alanı olduğu, Terkos havzası içerisinde ise 77 adet alt havza alanı olduğu görülmüştür. Alt havza alanlarının yüzölçümlerine bakıldığında; Alibeyköy havzasında 296 hektardan başlayarak 1230 hektara kadar, Büyükçekmece havzasında 218 hektardan başlayarak 4119 hektara kadar, Terkos havzasında ise 5 hektardan 2611 hektara kadar farklı büyüklükte alt havza alanlarının olduğu görülmüştür. Çalışma alanı içerisindeki havza ve alt havza alanlarının konumsal dağılımları Harita 2.3'te

verilmiş olup, harita incelendiğinde alt havza alanlarının bulundukları havza içerisinde yüzölçümü açısından dengeli bir şekilde dağılım gösterdikleri görülmektedir. Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos havzaları içerisindeki alt havza alanlarının listesi ve yüzölçümleri sırasıyla Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'te verilmiştir. Tablolarda görülen alt havza kodları tez çalışması kapsamında her bir alt havzayı tanımlamak amacıyla kullanılmıştır.



Harita 2.3 Çalışma alanı içerisinde yer alan havza ve alt havza alanları

Tablo 2.2 Alibeyköy havzası alt havza alanları ve yüzölçümleri

Havza	Althavza	Yüzölçümü (ha)
Alibeyköy	A1	292.9
Alibeyköy	A10A	1183.7
Alibeyköy	A10B	1229.8
Alibeyköy	A10C	851.2
Alibeyköy	A11	598.1

Tablo 2.2 Alibeyköy havzası alt havza alanları ve yüzölçümleri (devamı)

Havza	Althavza	Yüzölçümü (ha)
Alibeyköy	A12	338.0
Alibeyköy	A13	542.6
Alibeyköy	A14	373.6
Alibeyköy	A2	1083.1
Alibeyköy	A3A	516.1
Alibeyköy	A3B	779.5
Alibeyköy	A3C	441.8
Alibeyköy	A4	953.9
Alibeyköy	A5A	1177.3
Alibeyköy	A5B	1131.0
Alibeyköy	A6	492.5
Alibeyköy	A7	1094.9
Alibeyköy	A8A	1088.7
Alibeyköy	A8B	353.7
Alibeyköy	A9	930.2

Tablo 2.3 Büyükçekmece havzası alt havza alanları ve yüzölçümleri

Havza	Althavza	Yüzölçümü (ha)
Büyükçekmece	B10	2068.0
Büyükçekmece	B11	815.7
Büyükçekmece	B12	1149.1
Büyükçekmece	B13	1618.4
Büyükçekmece	B14	2070.6
Büyükçekmece	B15	2290.7
Büyükçekmece	B16	217.8
Büyükçekmece	B17	222.9
Büyükçekmece	B18	1565.9
Büyükçekmece	B19	4077.8
Büyükçekmece	B1A	2348.5
Büyükçekmece	B1B	1637.8
Büyükçekmece	B2	1746.9
Büyükçekmece	B20	2287.6
Büyükçekmece	B21	2717.6
Büyükçekmece	B22A	2046.8
Büyükçekmece	B22B	1378.2
Büyükçekmece	B23A	4119.4
Büyükçekmece	B23B	2270.5

Tablo 2.3 Büyükçekmece havzası alt havza alanları ve yüzölçümleri (devamı)

Havza	Althavza	Yüzölçümü (ha)
Büyükçekmece	B24	778.6
Büyükçekmece	B25A	1583.4
Büyükçekmece	B25B	1277.2
Büyükçekmece	B26	1479.8
Büyükçekmece	B27	685.8
Büyükçekmece	B28	1256.9
Büyükçekmece	B3A	2494.4
Büyükçekmece	B3B	1658.9
Büyükçekmece	B4A	2902.7
Büyükçekmece	B4B	1457.8
Büyükçekmece	B5	1044.6
Büyükçekmece	B6	2289.5
Büyükçekmece	B7	1700.5
Büyükçekmece	B8	999.7
Büyükçekmece	B9	2055.2

Tablo 2.4 Terkos havzası alt havza alanları ve yüzölçümleri

Havza	Althavza	Yüzölçümü (ha)
Terkos	T1	853.0
Terkos	T10	1739.4
Terkos	T11	1060.5
Terkos	T12	1284.8
Terkos	T13	1611.4
Terkos	T14	689.3
Terkos	T15	527.5
Terkos	T16	851.4
Terkos	T17	2486.2
Terkos	T18	2118.5
Terkos	T19A	859.4
Terkos	T19B	538.8
Terkos	T2	1015.7
Terkos	T20	1252.9
Terkos	T21	350.8
Terkos	T22	877.3
Terkos	T23	1111.5
Terkos	T24	2292.0
Terkos	T25	1188.0
Terkos	T26	1617.6

Tablo 2.4 Terkos havzası alt havza alanları ve yüzölçümleri (devamı)

Havza	Althavza	Yüzölçümü (ha)
Terkos	T27A	5.2
Terkos	T27B	671.8
Terkos	T28	638.3
Terkos	T29	1017.2
Terkos	T3	749.2
Terkos	T30A	59.9
Terkos	T30B	604.5
Terkos	T31	1457.6
Terkos	T32	574.8
Terkos	T33	2122.0
Terkos	T34A	1236.5
Terkos	T34B	224.5
Terkos	T35	140.5
Terkos	T36A	1078.5
Terkos	T36B	246.3
Terkos	T37	690.1
Terkos	T38	2611.0
Terkos	T39	110.9
Terkos	T40	215.6
Terkos	T41	1381.6

Tablo 2.4 Terkos havzası alt havza alanları ve yüzölçümleri (devamı)

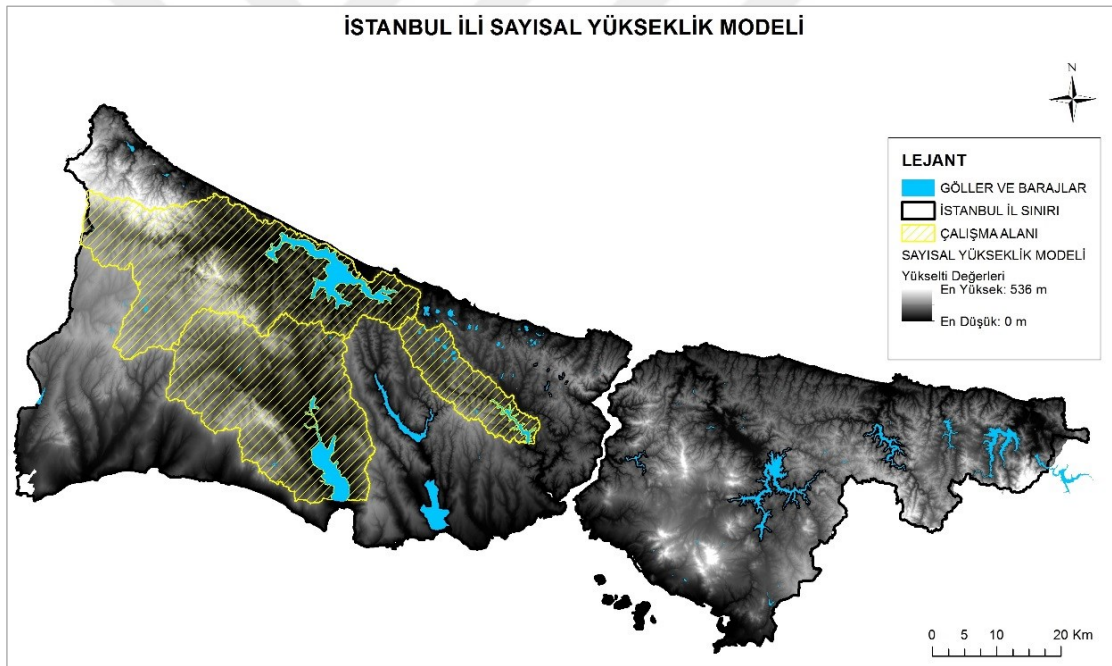
Havza	Althavza	Yüzölçümü (ha)
Terkos	T42	809.8
Terkos	T43A	382.2
Terkos	T43B	769.1
Terkos	T44	220.4
Terkos	T45A	604.2
Terkos	T45B	124.6
Terkos	T46	2485.0
Terkos	T47	908.7
Terkos	T48A	80.9
Terkos	T48B	828.5
Terkos	T48C	61.6
Terkos	T49	1511.7
Terkos	T4A	448.2
Terkos	T4B	391.5
Terkos	T5	591.9
Terkos	T50	929.4
Terkos	T51A	265.5
Terkos	T51B	79.9
Terkos	T51C	1430.2

Tablo 2.4 Terkos havzası alt havza alanları ve yüzölçümleri (devamı)

Havza	Althavza	Yüzölçümü (ha)
Terkos	T52	1668.0
Terkos	T53	926.9
Terkos	T54	1331.9
Terkos	T55	1276.7
Terkos	T56	1125.8
Terkos	T57	704.1
Terkos	T58	1351.6
Terkos	T59	501.6
Terkos	T64A	185.2
Terkos	T64B	447.3
Terkos	T65	548.0
Terkos	T67	1307.3
Terkos	T6A	98.9
Terkos	T6B	78.3
Terkos	T6C	232.6
Terkos	T7	1385.3
Terkos	T8	1610.8
Terkos	T9	1458.2

2.2.3 Sayısal Yükseklik Modeli Haritası

Sayısal yükseklik modeli (SYM) verileri üzerinde metre veya başka bir birim cinsinden denizden yükseklik (rakım) bilgilerinin yer aldığı koordinatlı raster tipinde sayısal haritalardır. Çalışma kapsamında kullanılan 25 metre çözünürlüklü SYM verisi İstanbul Büyükşehir Belediyesine bağlı İstanbul Planlama Ajansından (veri temini yapıldığı tarihteki adı İstanbul Metropolitan Planlama Merkezi) temin edilmiştir. Harita 2.4'te çalışmada kullanılan İstanbul ili SYM haritası yer almaktadır. SYM haritasında koyu renkten açık renge doğru gidildikçe yükseklik artmaktadır. En yüksek rakıma sahip tepeler beyaz renkte, en düşük rakıma sahip kıyı alanları ve dere yatakları ise siyah renktedir. Çalışma alanı içerisindeki göl ve barajları besleyen ana dere yatakları Harita 2.4'te sunulan SYM haritası üzerinde rahatlıkla seçilebilmektedir.



Harita 2.4 İstanbul ili sayısal yükseklik modeli haritası

2.2.4 Toprak Bünyesi Verileri

Sızma hesaplarına ilişkin yüzey akış eğri numaralarının (CN) hesaplanması aşamasında ihtiyaç duyulan hidrolojik toprak gruplarının belirlenmesi için, İstanbul Büyükşehir Belediyesine bağlı İstanbul Planlama Ajansından (veri temini yapıldığı tarihteki adı İstanbul Metropolitan Planlama Merkezi) temin edilen

büyük toprak grupları ve toprak özellikleri kombinasyonu (BTG-TOK) verileri kullanılmıştır.

BTG-TOK verileri büyük toprak gruplarının (alüviyal, kolüviyal, kahverengi orman toprağı gibi) toprağı ilişkin bazı temel özelliklerin (eğim, derinlik, drenaj, bünye gibi) bir arada değerlendirilmesi suretiyle oluşturulmuş toprak verileridir. BTG-TOK verileri vektör tipinde (shape.file) sayısal harita verileri olup, bunlara ilişkin detaylı açıklamalar çalışmanın kapsamı ve uygulama yöntemlerinin açıklandığı bölümde yer almaktadır.

2.2.5 Landsat Uydu Görüntüleri

Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ile Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) ortak iş birliği ile 1970’li yıllardan itibaren yürütölen Landsat Programı çerçevesinde üretilen Landsat uydu görüntüleri, uzun yıllardan beri başta arazi haritalama olmak üzere tarım, jeoloji, ormancılık, şehir-bölge planlama ve küresel değişimlerin araştırılması gibi birçok alanda önemli bir veri kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Tez kapsamında yapılan havza alanlarındaki arazi kullanım sınıflarının belirlenmesi çalışmalarında, USGS resmi internet sitesinden temin edilen Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Haziran 1990’dan başlayarak Eylül 2015 yılına kadarki süreçte 3-4 yıllık aralıklarla oluşturulan arazi kullanım sınıfları için görüntü çekim tarihleri Tablo 2.5’te verilen Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır.

Landsat uydu görüntüleri içerisinde bulutluluk oranı fazla olan veya fırtına vb. olumsuz hava şartlarından dolayı görüntü kalitesi düşük olan görüntüler arazi kullanım sınıflandırması çalışmalarında kullanılamamaktadır. Bunun başlıca nedeni; bu gibi durumlarda arazi örtüsünün yeterli ölçüde tanımlanamamasıdır. Dolayısıyla çalışmada kullanılmak üzere bulutluluk oranı düşük ve görüntü kalitesi yeterli olan uydu görüntüleri seçilmek durumunda kalmıştır. Bu kısıtlamadan dolayı çalışmada 1990-2015 yılları arasındaki 16 farklı tarihe ait Landsat uydu görüntüsü kullanılmış olup bunların görüntü çekim tarihleri Tablo 2.5’te verilmiştir.

Tablo 2.5 Çalışmada kullanılan Landsat uydu görüntüleri ve tarihleri

Çalışmada Kullanılan Landsat Uydu Görüntüleri	Görüntü Çekim Tarihleri
LT05_L1TP_180031_19900613_20180210	13 Haziran 1990
LT05_L1TP_180031_19901222_20180210	22 Aralık 1990
LT05_L1TP_180031_19930621_20180210	21 Haziran 1993
LT05_L1TP_180031_19931214_20180210	14 Aralık 1993
LT05_L1TP_180031_19970616_20180210	16 Haziran 1997
LT05_L1TP_180031_19971107_20180210	07 Kasım 1997
LE71800312000136SGS00	15 Mayıs 2000
LT05_L1TP_180031_20001217_20180312	17 Aralık 2000
LE07_L1TP_180031_20021231_20170127	31 Aralık 2002
LT51800312003184MTI01	03 Temmuz 2003
LT51800312007163MOR00	12 Haziran 2007
LE07_L1TP_180031_20080114_20161231	14 Ocak 2008
LE07_L1TP_180031_20110207_20161211	07 Şubat 2011
LT05_L1TP_180031_20110522_20180312	22 Mayıs 2011
LC08_L1TP_180031_20150226_20170412	26 Şubat 2015
LC08_L1TP_180031_20150906_20170404	06 Eylül 2015

2.2.6 Global Gerçek Evapotranspirasyon Haritaları

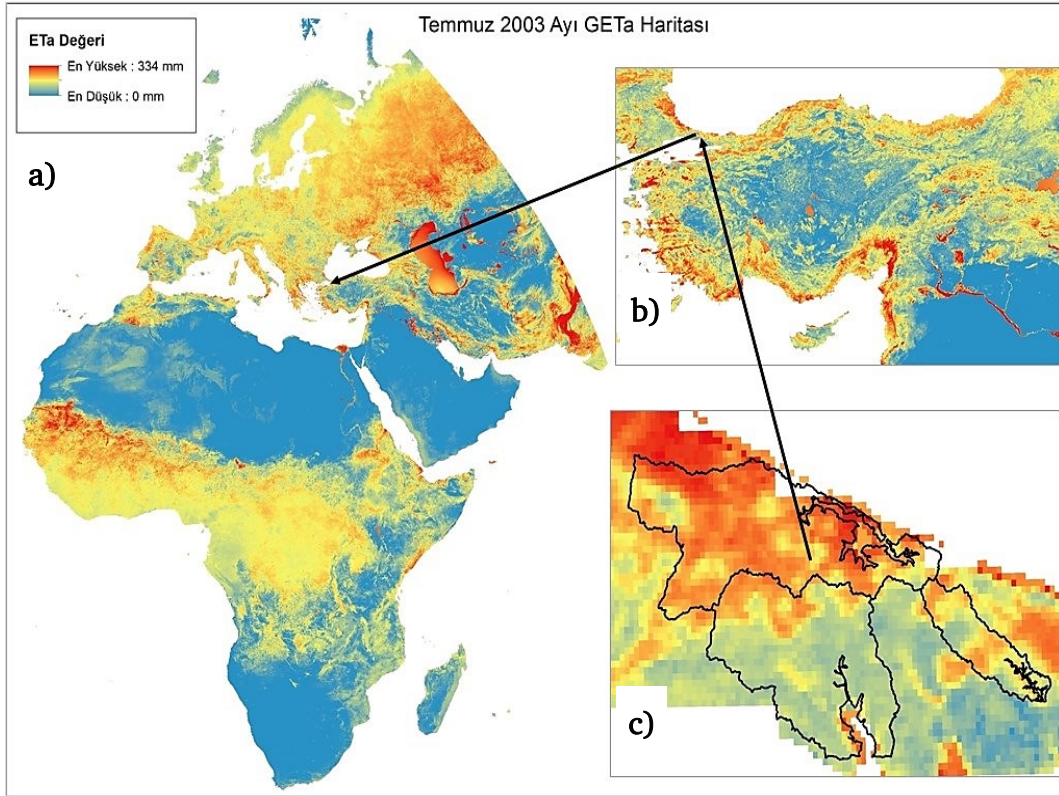
Havza alanlarındaki arazi kullanım sınıflarına ait aylık gerçek evapotranspirasyon miktarlarının hesaplanması kapsamında USGS Kıtık Erken Uyarı Sistemi Ağı

(FEWS_NET) tarafından yayınlanan global gerçek evapotranspirasyon haritaları (GETa) kullanılmıştır.

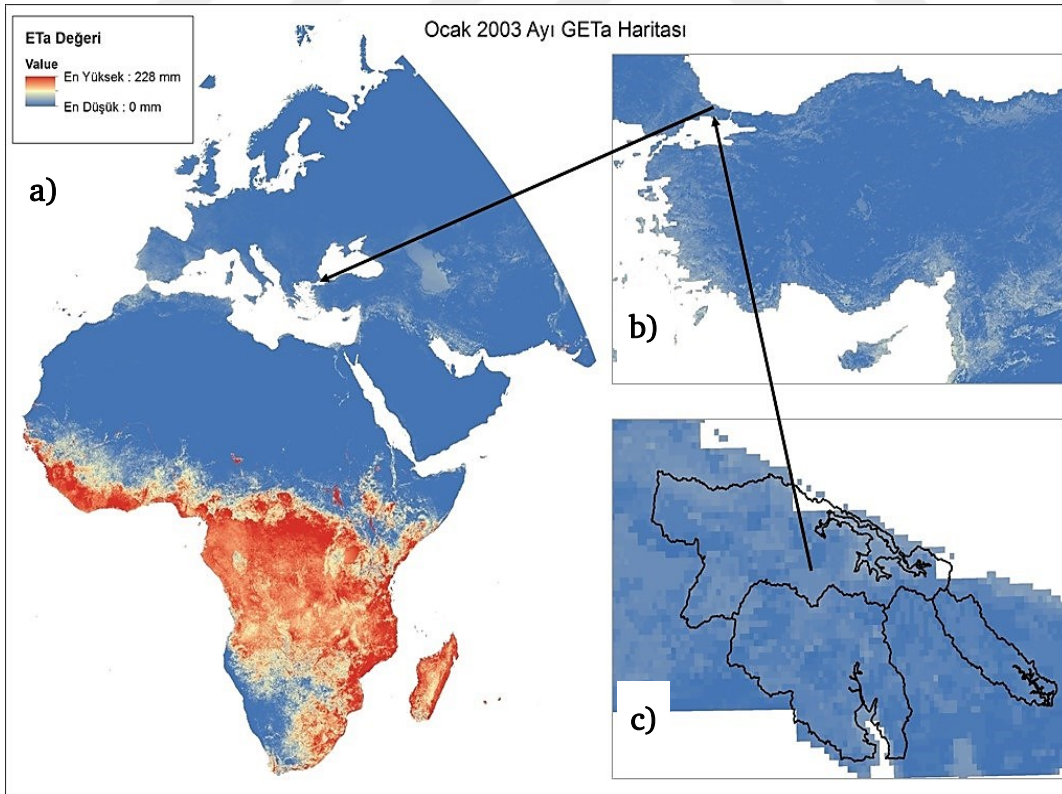
USGS FEWS NET Data Portal (<https://earlywarning.usgs.gov/fews>) kaynağından ücretsiz olarak kullanıma sunulan GETa haritaları, 2003 yılından günümüze kadar dünya ölçeğinde aylık ve yıllık gerçek evapotranspirasyon (ETa) tahminleri sunmaktadır. Operasyonel Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi (SSEBop) modeli ve MODIS uydu görüntüleri kullanılarak üretilen GETa haritaları tüm dünya arazilerini kapsayacak şekilde üretilmekte ve kuraklık izleme ve erken uyarı amacıyla kullanılmaktadır.

Çalışma alanındaki arazi sınıflarına ait ETa hesaplarının yapıldığı çalışmalarda 2003-2015 yılları arasındaki aylık GETa haritaları kullanılmıştır. GETa haritaları dünya ölçeğinde hazırlanmakla birlikte, kullanıcıların internet ortamında veri indirmelerini kolaylaştırmak için USGS tarafından bölgesel seçenekler sunulmuştur. USGS tarafından yayınlanan raster veri tipindeki GETa haritaları tüm dünya arazilerini kapsayacak şekilde 1x1 km'lik piksel boyutuna sahip olup, her bir pikselde mm cinsinden aylık ETa değeri yer almaktadır.

Yukarıda belirtildiği üzere tez çalışması kapsamında 2003-2015 yılları arasındaki aylık GETa haritaları kullanılmıştır. Bu bağlamda, tezde kullanılan kış ve yaz ayları için üretilmiş GETa haritalarına birer örnek olması açısından; ülkemizin de içerisinde yer aldığı bölgeye ait Ocak 2003 ve Temmuz 2003 ayına ait GETa haritası ve çalışma alanının bu harita üzerindeki konumsal gösterimi sırasıyla Harita 2.5 ve Harita 2.6'da verilmiştir.



Harita 2.5 Temmuz 2003 ayına ait global gerçek evapotranspirasyon haritası

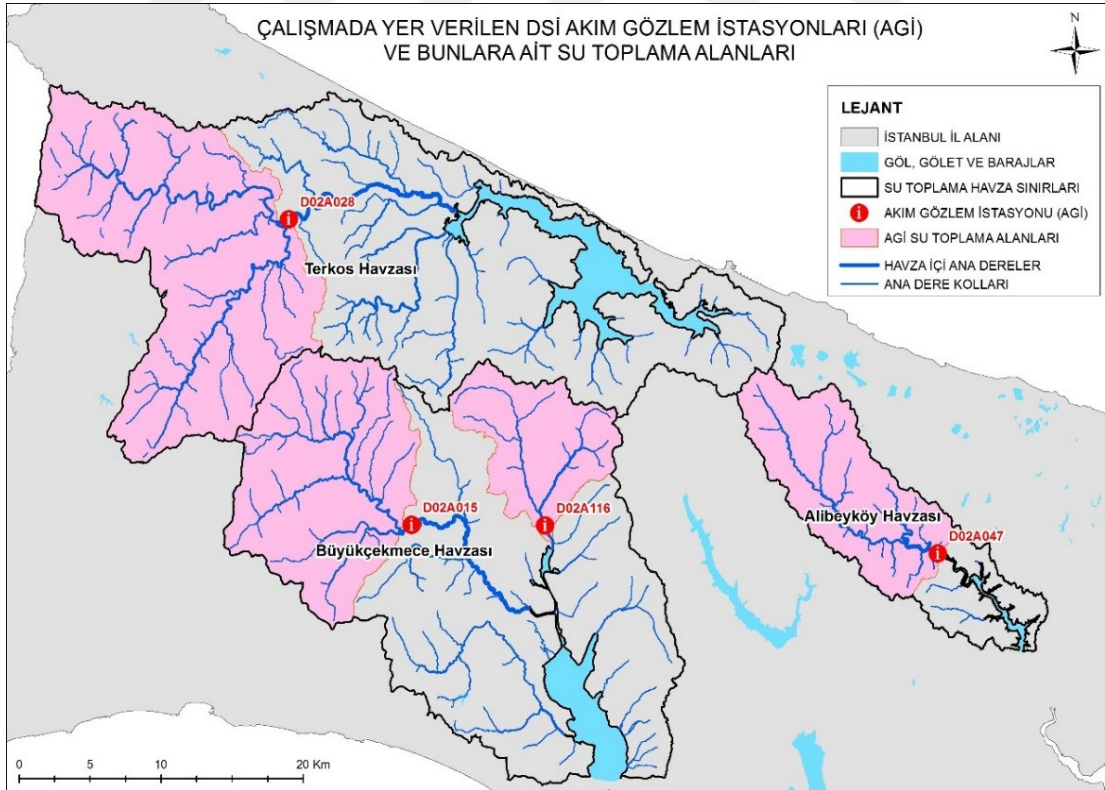


Harita 2.6 Ocak 2003 ayına ait global gerçek evapotranspirasyon haritası

2.2.7 Yüzeysel Akış Ölçüm Verileri

Havza bazında oluşturulan yüzeysel akış modellerinde Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından işletilen akarsu akım gözlem istasyonlarına (AGİ) ait 1990-2015 yılları aylık ölçüm verileri kullanılmıştır. AGİ'lere ait günlük ve aylık ölçüm verileri DSİ tarafından yayınlanan akım gözlem yıllıklarında detaylı olarak yer almakta olup, çalışma kapsamında kullanılan AGİ aylık ölçümleri DSİ 1990-2015 yılları akım gözlem yıllıklarından alınmış verilerdir.

Çalışmada kullanılan aylık yüzeysel akış ölçüm verilerinin kayıt altına alındığı AGİ'ler; Alibeyköy havzası içerisinde yer alan D02A047 nolu Malovadere-Pirinççiköy akım gözlem istasyonu, Büyükçekmece havzası içerisinde yer alan D02A015 nolu Karasudere-İnceğiz akım gözlem istasyonu ile D02A016 nolu Sarısudere-İzzettin akım gözlem istasyonu ve Terkos havzası içerisinde yer alan D02A028 nolu Istrancadere-Karamandere akım gözlem istasyonu olarak sıralanmaktadır. Bu dört adet akım gözlem istasyonunun havza alanları içerisindeki konumsal dağılımları ve su toplama alanları Harita 2.7'de verilmiştir.



Harita 2.7 Çalışmada kullanılan DSİ akım gözlem istasyonları

2.3 Çalışmanın Kapsamı ve Uygulama Yöntemi

Çalışma kapsamında; Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzaları için arazi kullanımına bağlı olarak yağış ve yüzeysel akış miktarlarının tahmin edildiği havza ölçeğinde dinamik modeller geliştirilmiş ve bu modellere dayanarak, arazi kullanımındaki beş farklı değişim senaryosuna göre havzalarda uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarlarına ilişkin risk analizleri ve değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma beş temel aşamadan oluşmaktadır. Aşağıda bu beş temel aşamaya ilişkin kısa açıklamalar yapılmış olup, her bir aşamanın detaylı açıklaması tezin ilerleyen bölümlerinde yer almaktadır.

Birinci aşamada meteoroloji ölçüm istasyonlarına ait ölçüm verileri kullanılarak, çalışma alanını kapsayacak şekilde 1990-2015 yılları arası aylık toplam yağış, aylık ortalama maksimum sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık, aylık ortalama maksimum nispi nem, aylık ortalama minimum nispi nem, aylık ortalama rüzgâr hızı ve aylık toplam güneşlenme süresi olarak sıralanan meteorolojik haritalar oluşturulmuştur. Meteorolojik haritaların oluşturulmasında ters mesafe ağırlıklandırma (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Coğrafi bilgi sistemi (CBS) ortamında uygulanan IDW yöntemi ile tek boyutlu (noktasal) harita verilerinden iki boyutlu (alansal) harita verileri oluşturulmaktadır. Böylelikle meteoroloji ölçüm istasyonlarına ait ölçüm verilerinden alansal meteoroloji haritaları elde edilebilmektedir. Elde edilen yağış haritalarının alt havza alanları ile kesişimlerinden her bir alt havza alanı için aylık toplam yağış miktarları elde edilmiştir. Diğer meteorolojik haritalar ise referans evapotranspirasyon haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşaması Landsat uydu görüntüleri kullanılarak denetimli sınıflama yöntemine göre arazi kullanım sınıflarının belirlenmesi aşaması olmuştur. Bu aşamada; 1990-2015 yılları arasında 16 farklı tarihe ait uydu görüntüsünden havza ve alt havza alanlarındaki tarım alanları, orman alanları, orman haricindeki doğal bitki örtüsü alanları, sazlık/bataklık alanlar, su yüzeyleri (baraj ve göl alanları hariç), bitki örtüsü olmayan kıraç alanlar ve yapılaşmış alanlar belirlenmiştir. Elde edilen bu arazi kullanım sınıflarına ilave olarak, uydu

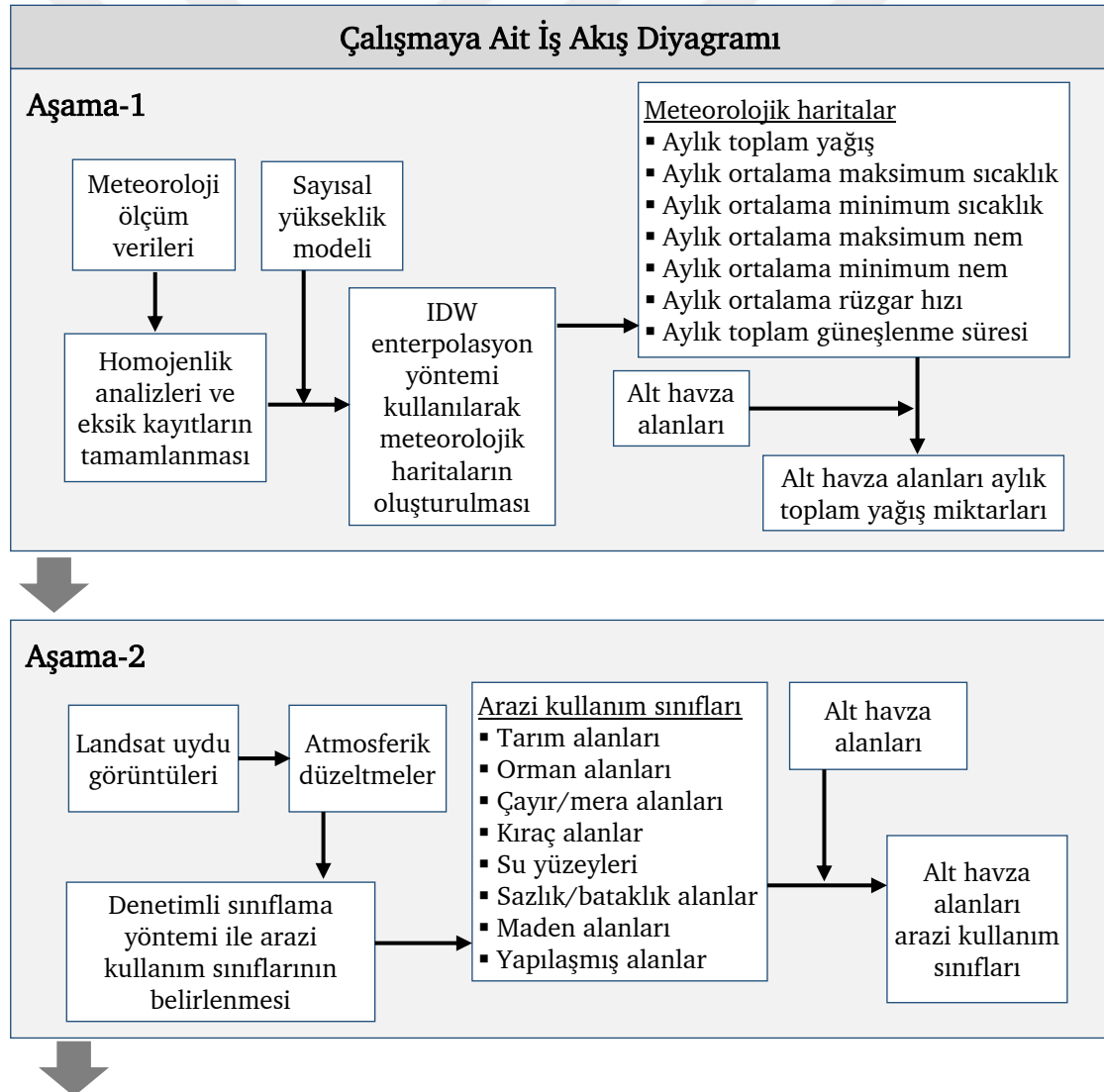
görüntüleri üzerinde yapılan görsel inceleme ve tespitler neticesinde maden alanları belirlenmiş ve arazi kullanım sınıfları içerisinde dahil edilmiştir.

Üçüncü aşama; alt havzalardaki arazi kullanım sınıfları için aylık referans evapotranspirasyon (ET_o) ve gerçek evapotranspirasyon (ET_a) hesaplarının yapıldığı aşamadır. Bu aşamada ilk olarak Penman-Monteith yöntemine göre ET_o hesapları yapılmıştır. Bunun için birinci aşamada oluşturulan aylık ortalama maksimum sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık, aylık ortalama maksimum nispi nem, aylık ortalama minimum nispi nem, aylık ortalama rüzgâr hızı ve aylık toplam güneşlenme süresi haritaları ile sayısal yükseklik modeli (SYM) verisi kullanılarak piksel bazında yapılan hesaplamalardan çalışma alanı için aylık ET_o haritaları elde edilmiştir. Arazi kullanım sınıfı haritaları ile ET_o haritalarının kesişimlerinden alt havza alanlarındaki arazi kullanım sınıflarına ait ET_o değerleri elde edilmiştir. Bu aşamadaki diğer işlem olan ET_a değerlerinin belirlenmesi kapsamında; ilk olarak USGS tarafından yayınlanan aylık global evapotranspirasyon haritalarından (GET_a) alt havza alanlarına ait aylık ET_a değerleri elde edilmiş, daha sonra bu ET_a değerleri ile arazi kullanım sınıflarına ait ET_o değerleri arasında uygulanan iterasyona dayalı sayısal çözümleme işleminden elde edilen ET_a katsayıları kullanılarak, alt havza alanlarındaki arazi kullanım sınıflarına ait ET_a değerleri hesaplanmıştır.

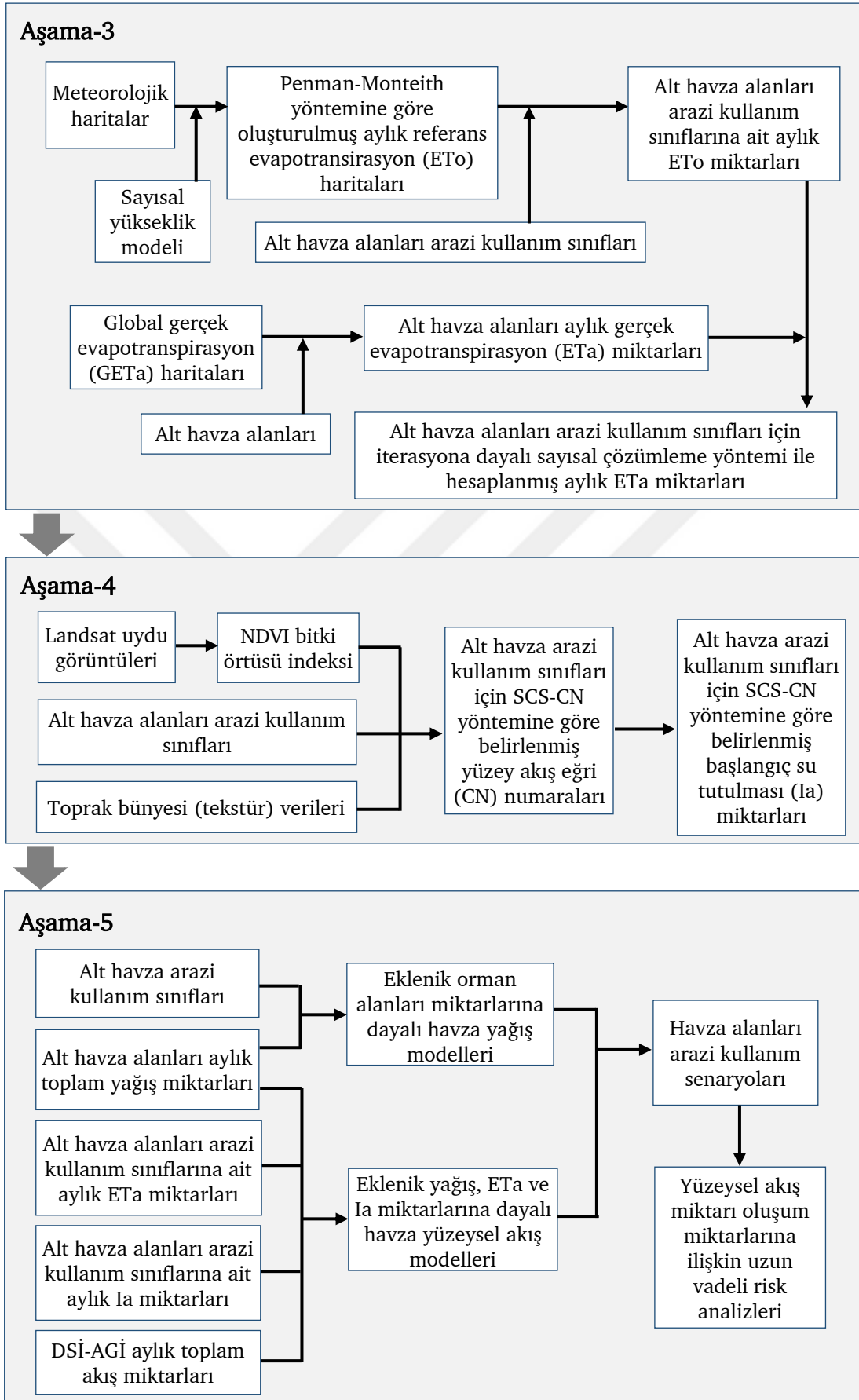
Dördüncü aşamada ABD Toprak Koruma Konseyi tarafından geliştirilen Eğri Numarası (SCS-CN) yöntemi kullanılarak alt havza alanlarındaki arazi kullanım sınıfları için eğri numaraları (CN) ve buna dayalı olarak da yağış anındaki başlangıç su tutulması (I_a) miktarları hesaplanmıştır. Bu hesapların yapılmasında ihtiyaç duyulan toprak bünyesi (tekstür) verileri büyük toprak grupları-toprak özellikleri kombinasyonu (BTG-TOK) verileri kullanılarak belirlenmiştir. Yine bu aşamada ihtiyaç duyulan normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI) verileri ise Landsat uydu görüntüleri kullanılarak belirlenmiştir.

Beşinci ve son aşama ise havza bazında yağış ve akış modellerinin oluşturulduğu ve bu modellere dayalı risk analizlerinin yapıldığı aşamadır. Yağış modellerinde havza orman alanı miktarı ile havzaya düşen yağış miktarları arasında lineer regresyon analizine dayalı bir bağıntı kurulmuştur. Akış modellerinde ise havzanın

yağış, ETa, Ia ve yüzeysel akış miktarları kullanılarak çoklu lineer regresyon analizine dayalı bir bağıntı kurulmuştur. Akış modellerinde yer alan ETa ve Ia miktarlarının arazi kullanım sınıflarına ait ETa ve Ia miktarlarına dayalı olarak hesaplandığı model tasarımı sayesinde, akış modellerinde arazi kullanım sınıflarındaki değişimlerin yüzeysel akış üzerinde doğrudan etkileri yansıtılmış olmaktadır. Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzaları için ayrı ayrı geliştirilen bu modeller kullanılarak farklı arazi kullanım senaryoları karşısında havza alanlarında meydana gelecek yüzeysel akış oluşum miktarlarına ilişkin uzun vadeli risk analizleri ve değerlendirmeler yapılmıştır. Yukarıda kısaca özetlenen tüm bu aşamaların ve uygulanan temel yöntemlerin hiyerarşik olarak gösterildiği iş akış diyagramı Şekil 2.1’de sunulmuştur.



Şekil 2.1 Çalışmaya ait iş akış diyagramı



Şekil 2.1 Çalışmaya ait iş akış diyagramı (devamı)

2.3.1 Meteorolojik Ölçüm Verilerinin Analizleri

Meteorolojik ölçüm verileri kullanılarak yapılan çalışmalarda verinin homojenliği (tektürlüğü) oldukça önemlidir. Verinin homojen olması, ölçüm sonuçlarının yalnızca iklimsel koşullardan dolayı değişmiş olması olarak tanımlanabilir [22]. Uzun iklim kayıtlarına dayalı çalışmaların ilk aşamasında iklim verilerine homojenlik testleri uygulanmalıdır. Aynı bölge içinde komşu gözlemlerle karşılaştırıldığında, homojen olmayan bir istasyondaki verilerin ortalamalarında ani sıçrama farkları görülür. Bu tip ani sıçramalar genellikle istasyonun yerlerinin değiştirilmesiyle ilgilidir. Bununla birlikte ölçüm cihazlarının yeniden kalibre edilmesi ya da insan kaynaklı çevresel değişiklikler de bu ani sıçramalara neden olurlar [21].

Homojen iklim verileri, değişimlerin sadece hava ve iklim değişimlerinden kaynaklandığı veriler olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle verilerin homojen olması için ölçümlerin aynı metotla, aynı ölçüm cihazıyla, aynı zamanda ve aynı yerde yapılmış olması gerekmektedir. İklim analizlerinin doğru sonuçlar vermesi için verilerin homojen olup olmadığı araştırılmalı, homojen olmayan veriler veri setleri içerisinde çıkarılmalı veya homojen hale getirilmelidir [22, 29].

Atmosfer olaylarının kararlı (dengeli) değişimler göstermesi durumunda, bunların ölçümleri sonucunda elde edilen verilerin de kararlı değişimler göstermesi beklenir. Aksi takdirde yerel veya bölgesel çevrede cereyan eden bazı olayların ölçümler üzerinde doğrudan veya dolaylı etkileri söz konusudur. Bunun sonucunda ise kararlı değişimler göstermeyen ölçüm sonuçları meydana gelir ve bu değişimlere homojen olmayan değişimler olarak bakılabilir. Ölçümlerdeki bu değişimlerin hidroloji, meteoroloji, astronomi ve coğrafya gibi doğal etkilerle mi yoksa insan etkisi ile mi ortaya çıktığının araştırılmasında kullanılan yöntemlere homojenlik analizleri adı verilir [30].

Homojenlik analizleri iki şekilde yapılabilir. Bunların ilki; bir ölçüm istasyonunda kaydedilen verilerin kendi içerisinde homojen olup olmadığının araştırılmasıdır. Buna mutlak homojenlik adı verilir. İkincisi ise bir bölgede yer alan komşu istasyonlardan kaydedilen verilerin ortak homojenliğinin araştırılmasıdır [29]. Bir bölgesel çalışmada tek bir veri seti yerine mevcut farklı hidroloji ve meteoroloji

istasyonlarına ait veri setlerinin birbirleri ile ortaklaşa homojenliğine bakmak gerekir. Çünkü bir hidroloji veya meteoroloji olayı doğal veya insan faaliyetlerinden etkilenirse bölgesel ölçekte değişimler gösterir. Dolayısıyla bölgesel çalışmalarda ortak homojenlik analizlerinin yapılması kaçınılmaz hale gelmektedir. Belirli bir bölgede yer alan hidroloji ve meteoroloji istasyonlarının kümelenmesine de yarayan çeşitli ortak homojenlik sına yöntemleri vardır. Bunların içerisinde sıklıklar kullanılan yöntemlerden biri çift toplam (yığışım) sınaıdır [31]. Bir istasyonun yerinde, konumunda ya da ölçme metodunda bir değişiklik olup olmadığını kontrol etmek ve şayet değişiklik yapılmışsa değişimden önceki kayıtları değişimden sonrakilerle homojen hale getirmek için çift toplam yığışım eğrisi kullanılır [32].

Tez çalışması kapsamında; Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havza alanları için meteoroloji haritalarının oluşturulmasında, veri kayıtları yeterli görülen Çorlu, Florya, Kumköy, Bahçeköy ve Çatalca-Radar istasyonlarına ait ölçüm verileri kullanılmıştır. Yapılan işlem bölgesel ölçekte bir meteorolojik haritalandırma olduğundan dolayı, bu istasyonlara ait ölçüm verilerinin ortak homojenlik şartlarını sağlayıp sağlamadığına bakılmasına karar verilmiştir. Ancak çalışma kapsamında kullanılan meteorolojik verilerin açıklandığı önceki bölümlerde de belirtildiği üzere; 1990-2015 yılları arasında Çorlu, Kumköy ve Florya istasyonları için 26 yıllık tam kayıtlara ulaşılırken, Bahçeköy istasyonu için 17 yıllık, Çatalca-Radar istasyonu için ise 11 yıllık kayıtlara ulaşılmıştır. Bu durumda bölgesel homojenlik analizlerine geçilmeden önce eksik kayıtların tamamlanması işlemleri yapılmıştır.

Meteorolojik ölçüm istasyonlarına eksik kayıtların tamamlanmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi komşu istasyonlara ait ölçümlerin kullanıldığı ağırlıklı ortalama yöntemi olup, bu yöntemde eksik ölçüm kayıtlarını tamamlamak için kayıtları tam olan en yakın üç istasyona ait ölçümlerin yıllık ortalamaları kullanılmaktadır [32, 33, 34]. Eksik kayıtları tamamlamak için ağırlıklı ortalama yönteminin kullanıldığı pratik uygulamalarda, şimdiye kadar üç hatta iki komşu istasyona ait verilerin kullanılmasının yeterli olduğu görülmüştür. [34].

Pratik olması ve bir sonraki aşamada yapılacak olan bölgesel homojenlik analizlerinde daha tutarlı sonuçlara ulaşılması açısından, meteoroloji ölçüm istasyonlarındaki eksik kayıtların tamamlanmasında ağırlıklı ortalama yöntemi tercih edilmiş ve buna göre (2.1) eşitliği kullanılarak eksik kayıtlar tamamlanmıştır.

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_a} P_a + \frac{N_x}{N_b} P_b + \frac{N_x}{N_c} P_c \right) \quad (2.1)$$

Eşitlik (2.1)'de yer alan P_x eksik kayıtların olduğu ölçüm ayını, N_x eksik kayıtların olduğu istasyonun aylık ölçüm ortalamasını, N_a , N_b ve N_c sırasıyla 3 adet komşu istasyonun aylık ölçüm ortalamalarını, P_a , P_b ve P_c ise sırasıyla 3 adet komşu istasyonun eksik ölçüm ayına karşılık gelen ölçümlerini ifade etmektedir. İstasyonlar arasındaki mevsimsel ölçüm farklılıklarının ortalama değerlere yansıtılabilmesi için ağırlıklı ortalama yönteminde yıllık ölçüm ortalamaları yerine aylık ölçüm ortalamaları kullanılmıştır.

Çatalca-Radar ve Bahçeköy istasyonlarındaki eksik kayıtlar yukarıda belirtildiği şekilde tamamlanarak tüm istasyonlar için 1990-2015 yılları arası aylık toplam yağış, aylık ortalama maksimum sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık, aylık ortalama maksimum nispi nem, aylık ortalama minimum nispi nem ve aylık ortalama rüzgâr hızı verileri eksiksiz hale getirilmiştir. Ancak aylık toplam güneşlenme süreleri sadece Kumköy ve Florya istasyonlarına ait kayıtlarda yer aldığından dolayı diğer istasyonlar için toplam güneşlenme süresi verisi elde etmek mümkün olmamıştır. Bundan dolayı havza alanları ölçeğinde yapılan toplam güneşlenme süresi hesaplarında sadece Kumköy ve Florya istasyonlarına ait veriler kullanılabilmektedir.

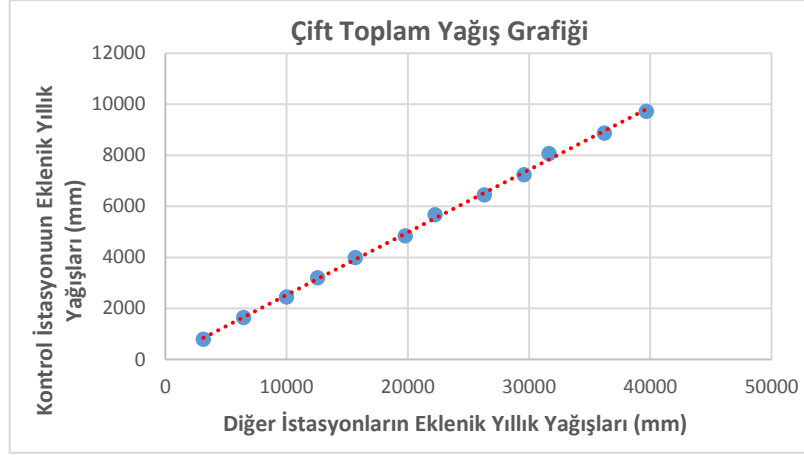
Eksik kayıtlar tamamlandıktan sonra çalışmada yer alan meteoroloji ölçüm istasyonlarına ait 1990-2015 yılları arası aylık toplam yağış, aylık ortalama maksimum sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık, aylık ortalama maksimum nispi nem, aylık ortalama minimum nispi nem, aylık ortalama rüzgâr hızı ve aylık toplam güneşlenme süresi verilerinin zaman serisi grafikleri oluşturulmuş olup, bunların tümü eklerde verilmiştir.

Ölçüm verilerindeki kayıtlar tamamlandıktan sonra çalışmada kullanılan tüm istasyonlar için bölgesel homojenlik analizleri yapılmıştır. Bölgesel homojenlik analizi için çift toplam (yığışım) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde; koordinat düzleminde bir eksene kontrol edilecek istasyonun yıllık ölçümleri, diğer eksene ise o bölgedeki diğer istasyonların yıllık ölçümlerinin ortalamaları, zaman içerisinde geriye doğru gidilerek, her bir yılın yağışı öncekilerin toplamına katılmak üzere işaretlenir. Koordinat düzleminde işaretlenen noktalar düz bir çizgi üzerinde toplanıyorsa kontrol edilen istasyonun ölçümleri homojen demektir. Şayet çizgide bir kırıklık varsa kırıklığın olduğu tarihten itibaren homojenlik bozulmuş demektir. Bu tarihten önceki kayıtları homojen hale getirmek için belli bir katsayı ile çarpmak gerekir [32]. Bu yöntemde bölgesel homojenlik sınaması sayısal olarak değil, görsel olarak grafik üzerinde tek bir doğru elde edilip edilmediğine göre yapılmaktadır [30].

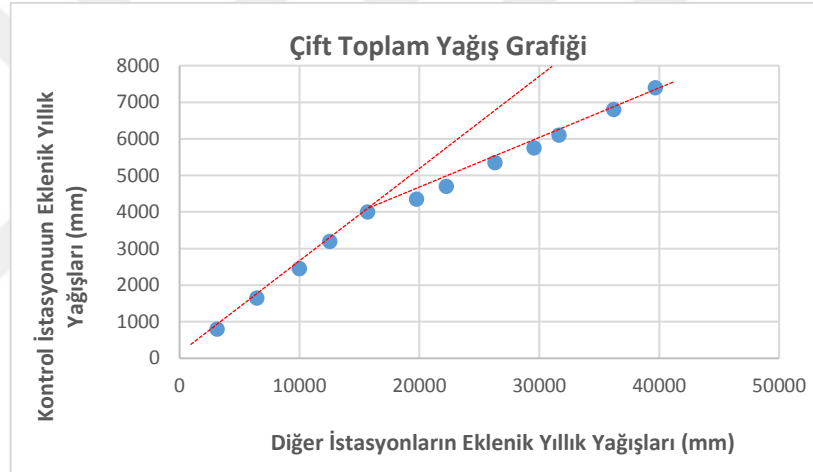
Bölgesel homojenlik sınamasına ilişkin iki örnek Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te verilmiştir. Şekil 2.2'de verilen ilk örnekte kontrol istasyonuna ait yıllık eklenik yağışlar ile diğer istasyonların yıllık eklenik yağış toplamalarının düz bir çizgi üzerinde toplandığı görülmekte, bu da kontrol istasyonunun yağış ölçümlerinde ani bir değişimin olmadığını göstermektedir. Bu da istasyonlar arasında bölgesel homojenliğin olduğunu göstermektedir. Şekil 2.3'te verilen ikinci örnekte ise kontrol istasyonuna ait yıllık eklenik yağışlar ile diğer istasyonların yıllık eklenik yağış toplamalarının düz bir çizgi üzerinde toplanmadığı, belli bir tarihten itibaren eğride kırılma olduğu görülmektedir. Bu durum eğrinin kırıldığı tarihten itibaren kontrol istasyonu ölçümlerinin ani bir şekilde değişmiş olduğunu göstermektedir. Bu da istasyonlar arasında bölgesel homojenliğin olmadığını bir göstergesidir.

Çalışmada yer alan meteoroloji ölçüm istasyonlarının bölgesel homojenlik analizi kapsamında; toplam yağış, ortalama maksimum ve minimum sıcaklıklar, ortalama maksimum ve minimum nispi nem ve ortalama rüzgâr hızı verileri için çift toplam (yığışım) grafikleri oluşturulmuştur. Grafikler üzerinde yapılan görsel kontroller istasyonların bölgesel homojenlik şartını sağladıklarını göstermiştir. Böylelikle Çorlu, Florya, Kumköy, Bahçeköy ve Çatalca-Radar istasyonlarına ait meteorolojik ölçüm verilerinin havza ölçeğinde yapılacak bölgesel hesaplarda kullanılabileceği

görülmüş olup, bu istasyonların bölgesel homojenliğinin sınıandığı çift toplam grafiklerinin tümü eklerde verilmiştir.



Şekil 2.2 Bölgesel homojenliğin sağlandığı çift toplam yağış grafiği örneği



Şekil 2.3 Bölgesel homojenliğin sağlanmadığı çift toplam yağış grafiği örneği

2.3.2 Meteorolojik Haritaların Oluşturulması

Noktasal boyuttaki meteorolojik ölçüm verilerinden alansal boyuttaki meteorolojik haritaların oluşturulmasında kullanılan çeşitli interpolasyon yöntemleri mevcuttur. Bunların içerisinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri ters mesafe ağırlıklandırma (IDW) interpolasyon yöntemidir.

Çok değişkenli interpolasyon için kullanılan IDW yönteminde temel yaklaşım; değeri bilinmeyen bir tahmin noktasına etrafındaki değeri bilinen noktaların ağırlıklı ortalaması alınarak değer atanmasıdır. Bilinen noktaların ağırlıklandırılması tahmin noktası ile aralarındaki mesafenin tersine bağlıdır [35]. IDW yönteminde tahmin noktasına en yakın ölçümlerin tahmin edilen değer

üzerindeki etkileri uzaktakilere göre daha fazladır. Dolayısıyla IDW yönteminde her bir ölçüm noktasının artan mesafeye bağlı olarak azalan yerel bir etkiye sahip olduğu varsayılır [36]. Nispeten basit olup az girdi verisi gerektiren IDW yöntemi yağış gibi iklimsel ölçüm verilerinin enterpolasyonunda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir [37].

Giresun ili Eynel ilçesinde aynı iklim kuşağında yer alan orman, fındık ve çay alanlarında toprakların bazı kimyasal ve fiziksel özelliklerindeki değişimin araştırıldığı bir çalışmada ürün desenleri ve çalışma alanına ait toprak özelliklerinin belirlenmesi kapsamında IDW yöntemi kullanılmıştır [38].

Bangladeş genelinde maksimum ve minimum sıcaklıkların konuma ve zamana dayalı olarak değişimlerinin incelendiği bir trend analizi çalışmasında, çalışma alanı boyunca sıcaklık dağılımlarının belirlenmesinde IDW yöntemi kullanılmıştır [39].

Sakarya havzasının bir alt havzası olan Seydisu havzasındaki yağış, sıcaklık ve buharlaşma dağılımlarının uzaklığa bağlı olarak tahminleme yöntemlerine göre haritalanmasının yapıldığı bir çalışmada IDW yöntemi kullanılmış ve elde edilen sonuçların karesel ortalama hata değerlerine göre yapılan doğruluk analizlerinde, hata değerleri sıfıra yakın bulunarak IDW yöntemine göre yapılan modellemenin doğruluk oranlarının yüksek ve güvenilir olduğu belirtilmiştir [40].

Uzun yıllara dayalı aylık ortalama iklim verilerinin konumsal dağılımlarının belirlenmesinde en uygun yöntemin araştırıldığı bir çalışmada; Amasya, Çorum, Ordu, Samsun, Sinop, Tokat ve Yozgat illerindeki tarımsal uygulamalarda kullanılabilecek ortalama sıcaklık, en düşük sıcaklık, en yüksek sıcaklık, bağıl nem ve yağış parametreleri değerlendirmeye alınmış ve tüm aylar baz alınarak yapılan değerlendirmelerde IDW yönteminin diğer yöntemlerle benzer sonuçlar verdiği belirtilmiştir [41].

Çin’de yer alan Sarı Deniz’deki balıkçılık kaynaklarının dağılımının belirlenmesinde kullanılabilecek en uygun enterpolasyon yöntemlerinin araştırıldığı bir çalışmada, elde edilen sonuçlara göre IDW’nin doğruluk derecesinin yanı sıra kolay ve hızlı işlem yapabilme kombinasyonuna sahip olduğu

belirtilmiş ve bu nedenle de fizibilite ve doğru sonuçlar açısından rutin bir enterpolasyon yöntemi olarak önerilmiştir [42].

IDW yöntemi; ölçüm değerleri verilen noktalar ile değer tahmini yapılacak nokta arasındaki mesafenin tersinin ağırlıklandırılması esasına dayanır. IDW yönteminde mesafe arttıkça tahmin edilen değer üzerindeki etkinin azalması amaçlanmıştır. Tahmin yapılan nokta üzerinde en yakın ölçüm noktasının etkisi en fazla olurken, en uzak ölçüm noktasının etkisi en az olmaktadır. Mesafeye bağlı etki oranları isteğe bağlı olarak belirlenebilmektedir. IDW yönteminde tahmin yapılacak noktanın değeri (2.2) eşitliğine göre hesaplanmaktadır.

$$N_t = \frac{\sum_{i=1}^n N_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2)'de N_t : tahmin yapılacak noktanın değerini, N_i : her bir ölçüm noktasındaki değeri, n : toplam ölçüm noktası sayısını, A_i : her bir ölçüm noktasının tahmin noktası üzerindeki ağırlık değerini ifade etmektedir. Her bir ölçüm noktasının ağırlık değerleri (2.3) eşitliğine göre hesaplanmaktadır.

$$A_i = \frac{1}{d_i^p} \quad (2.3)$$

Eşitlik (2.3)'te d_i : her bir ölçüm noktasının tahmin noktasına olan mesafesi, p : mesafeye bağlı etki oranının belirlenmesinde kullanılan güç parametresi ($p=1,2,3,4$) olarak tanımlanmaktadır. Güç parametresi literatürde çoğunlukla 2 olarak kabul edilmektedir.

Coğrafi bilgi sistemleri yazılımlarının hemen hemen hepsinde IDW yöntemi kullanılarak enterpolasyon işlemleri otomatik olarak yapılabilmektedir. Tez çalışması kapsamında meteorolojik haritaların oluşturulması için CBS yazılımı içerisinde yer alan IDW enterpolasyon aracı kullanılmıştır.

2.3.3 Arazi Kullanım Sınıflarının Belirlenmesi

Landsat uydu görüntüleri kullanılarak yapılan arazi örtüsü sınıflandırma çalışmaları uzun yıllardan beri birçok araştırmacı tarafından yapılmaktadır. Bu

Çalışmaların içerisinde farklı araştırmacılar tarafından İstanbul ili için yapılan çalışmalar da mevcuttur.

İstanbul ili su havzalarındaki 1990-2005 yılı arası arazi kullanım değişimlerini ortaya koymak için dört farklı tarihli Landsat uydu görüntüsü kullanılarak yapılan bir çalışmada, 12 farklı arazi kullanım kategorisi belirlenerek bunlara ilişkin değişimler elde edilmiş ve en kritik arazi kullanım değişikliklerinin şehre en yakın havzalarda olduğu belirtilmiştir [43].

Yine İstanbul ili su havzalarındaki kontrolsüz arazi kullanımı değişikliklerinin nedenlerinin araştırıldığı bir çalışmada, 1990, 1995, 2000 ve 2005 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmış ve en kritik arazi kullanımı değişikliklerinin, çoğunlukla metropol şehir merkezine yakın konumdaki erişilebilirliği yüksek yerlerde gerçekleştiği belirtilmiştir [44].

İstanbul Boğazı'nda yer alan 15 Temmuz şehitler Köprüsü ile Fatih Sultan Mehmet Köprüsünün kentsel yapılaşmaya olan etkilerinin analiz edildiği ve bu analiz sonuçlarına göre Yavuz Sultan Mehmet Köprüsü'nn yol açacağı tahmin edilen yapılaşmaya ilişkin simülasyonların yapıldığı bir çalışmada 1972, 1987, 2002 ve 2009 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmış ve 1972-2009 yılları arasında ormanlık alanlarda %27,9'luk bir azalma olduğu öne srlmştir [45].

İstanbul ili Küçükçekmece gölü çevresindeki yapılaşma oranının araştırıldığı bir çalışmada 1963, 1987 ve 2005 yıllarına ait Landsat ve Corona uydu görüntüleri kullanılmış ve arazi kullanım değişikliklerini tespit etmek için bölgedeki kentsel ve endüstriyel alanlar, yeşil alanlar, açık alanlar ve su yüzeylerinin tarihsel değişimi incelenmiştir. İnceleme sonuçlarına göre, kentsel arazi kullanım alanlarının 1963'te %2'den 2005'te %46'ya yükselmiş olduğu ve bunların çoğunun tarım ve yeşil alanlardan dönüştürülmüş olduğu belirtilmiştir [46].

İstanbul'daki arazi kullanım değişimlerinin incelendiği bir çalışmada 1975 ve 2000 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlara göre yerleşim alanlarında %327'lik bir artışın olduğu, ibreli orman alanlarında %255'lik bir artış olduğu, yapraklı orman alanlarında ise %29'luk bir azalma olduğu öne srlmştir [47].

Bu tez çalışması kapsamında; çalışma alanı içerisinde yer alan havza alanlarındaki 1990-2015 yılları arası arazi kullanım sınıflarındaki değişimin belirlenmesi için Haziran 1990, Aralık 1990, Haziran 1993, Aralık 1993, Haziran 1997, Kasım 1997, Mayıs 2000, Aralık 2000, Temmuz 2003, Aralık 2003, Haziran 2007, Ocak 2008, Şubat 2011, Mayıs 2011, Şubat 2015 ve Eylül 2015 tarihlerine ait 16 adet Landsat uydu görüntüsü kullanılmıştır. Arazi örtüsü sınıflandırma çalışması denetimli sınıflama yöntemine göre yapılmıştır. Bunun için uydu görüntüleri üzerinde örnekleme dosyaları (signature file) oluşturulmuş ve bunlar ile denetimli sınıflamalar (supervised classification) yapılarak arazi kullanım sınıfları elde edilmiştir.

Çalışma alanı kapsamında yapılan bu sınıflandırmada; tarım alanları, orman alanları, mera-çayır gibi doğal bitki örtüsü alanları, sazlık/bataklık alanlar, su yüzeyleri (baraj ve göl alanları hariç), bitki örtüsü olmayan kıraç alanlar ve yapılaşmış alanlar olmak üzere yedi farklı arazi kullanım sınıfı oluşturulmuştur. Bu arazi kullanım sınıflarına ilave olarak uydu görüntüleri üzerinde yapılan görsel inceleme ve değerlendirmeler neticesinde çalışma alanında yer alan maden sahaları belirlenmiştir. Böylelikle; sekiz farklı arazi kullanım sınıfını içeren arazi örtüsü haritaları kullanılarak, çalışma alanında yer alan havza ve alt havza alanları içerisindeki arazi kullanım sınıfları belirlenmiştir.

Çalışmada su havzaları için oluşturulan arazi kullanım sınıfı haritalarının tarihsel süreç içerisindeki değişimi bu 16 adet uydu görüntüsünün tarihi ile sınırlı kalmamıştır. Çalışma kapsamında yapılan bir kabule dayanarak; uydu görüntülerinden elde edilen arazi kullanım sınıfı haritalarının, görüntünün alındığı tarihten 3 ay öncesinde ve 3 ay sonrasında önemli bir değişime uğramamış olduğu varsayılmıştır. Bu varsayıma dayanarak; çalışma periyodu olarak seçilen 1990-2015 yılları arasındaki 16 farklı tarihe ait uydu görüntüsünden 101 adet farklı ay için arazi kullanım sınıfı haritası elde edilmiştir. Böylelikle çalışmada arazi kullanım sınıflarına ait aylık zaman serilerinin sayısı artırılmış olmaktadır. Arazi kullanım sınıflarına ait aylık zaman serilerinin artırılmasının amacı; yağış ve akış verilerine ait aylık zaman serileri ile arazi kullanım sınıflarına ait aylık zaman serilerine dayalı olarak yapılan modelleme çalışmaları kapsamında en fazla sayıda zaman serisi verisinin istatistiksel işlemlerde yer almasının sağlanmasıdır.

Tablo 2.6'da çalışmada kullanılan Landsat uydu görüntülerinin tarihleri ve bunlara dayalı olarak oluşturulan arazi kullanım sınıfı haritalarının tarihleri (aylık zaman serileri) yer almaktadır. Arazi sınıfı haritalarının aylık zaman serileri belirtilirken ay ve yıl kodlaması yapılmıştır. Buna göre; tablonun en üst sol köşesinde yer alan HA1990 kodlaması 13 Haziran 1990 tarihli uydu görüntüsünü tanımlamaktadır. Bunun karşılığında ise Haziran 1990 tarihinin 3 ay öncesi ve 3 ay sonrasını kapsayacak şekilde MR1990, NI1990, MA1990, HA1990, TE1990, AG1990, EY1990 tarihlerini ifade eden 7 adet arazi kullanım sınıfı haritası oluşturulmuştur. Bu 7 farklı tarihli arazi kullanım sınıfı haritasındaki arazi kullanım verileri birebir aynıdır. Diğer bir deyişle; Mart 1990 tarihinden başlayarak Eylül 1990 tarihine kadarki sürece ait arazi kullanım sınıfı verileri 13 Haziran 1990 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen veriler olup, bu yedi aylık zaman serisi içerisinde arazi kullanım sınıflarında bir değişimin olmadığı kabul edilmiştir.

Tablo 2.6 Landsat uydu görüntülerinden elde edilen arazi örtüsü haritaları

Landsat Uydu Görüntüsü Tarihi	Görüntü Tarihinin 3 Ay Öncesine ve Sonrasına Göre Kapsadığı Arazi Kullanım Sınıfı Tarihleri
HA1990 (13 Haziran 1990 tarihli uydu görüntüsü)	MR1990, NI1990, MA1990, HA1990, TE1990, AG1990, EY1990
AR1990 (22 Aralık 1990 tarihli uydu görüntüsü)	EK1990, KS1990, AR1990, OC1991, SB1991, MR1991
HA1993 (21 Haziran 1993 tarihli uydu görüntüsü)	MR1993, NI1993, MA1993, HA1993, TE1993, AG1993, EY1993
AR1993 (14 Aralık 1993 tarihli uydu görüntüsü)	EK1993, KS1993, AR1993, OC1994, SB1994, MR1994

Tablo 2.6 Landsat uydu görüntülerinden elde edilen arazi örtüsü haritaları
(devamı)

Landsat Uydu Görüntüsü Tarihi	Görüntü Tarihinin 3 Ay Öncesine ve Sonrasına Göre Kapsadığı Arazi Kullanım Sınıfı Tarihleri
HA1997 (16 Haziran 1997 tarihli uydu görüntüsü)	MR1997, NI1997, MA1997, HA1997, TE1997, AG1997
KS1997 (07 Kasım 1997 tarihli uydu görüntüsü)	EY1997, EK1997, KS1997, AR1997, OC1998, SB1998
MA2000 (15 Mayıs 2000 tarihli uydu görüntüsü)	SB2000, MR2000, NI2000, MA2000, HA2000, TE2000, AG2000
AR2000 (17 Aralık 2000 tarihli uydu görüntüsü)	EY2000, EK2000, KS2000, AR2000, OC2001, SB2001, MR2001
AR2002 (31 Aralık 2002 tarihli uydu görüntüsü)	EY2002, EK2002, KS2002, AR2002, OC2003, SB2003, MR2003
TE2003 (03 Temmuz 2003 tarihli uydu görüntüsü)	NI2003, MA2003, HA2003, TE2003, AG2003, EY2003, EK2003
HA2007 (12 Haziran 2007 tarihli uydu görüntüsü)	MR2007, NI2007, MA2007, HA2007, TE2007, AG2007, EY2007
OC2008 (14 Ocak 2008 tarihli uydu görüntüsü)	EK2007, KS2007, AR2007, OC2008, SB2008, MR2008, NI2008
SB2011 (07 Şubat 2011 tarihli uydu görüntüsü)	KS2010, AR2010, OC2011, SB2011, MR2011
MA2011 (22 Mayıs 2011 tarihli uydu görüntüsü)	NI2011, MA2011, HA2011, TE2011, AG2011

Tablo 2.6 Landsat uydu görüntülerinden elde edilen arazi örtüsü haritaları
(devamı)

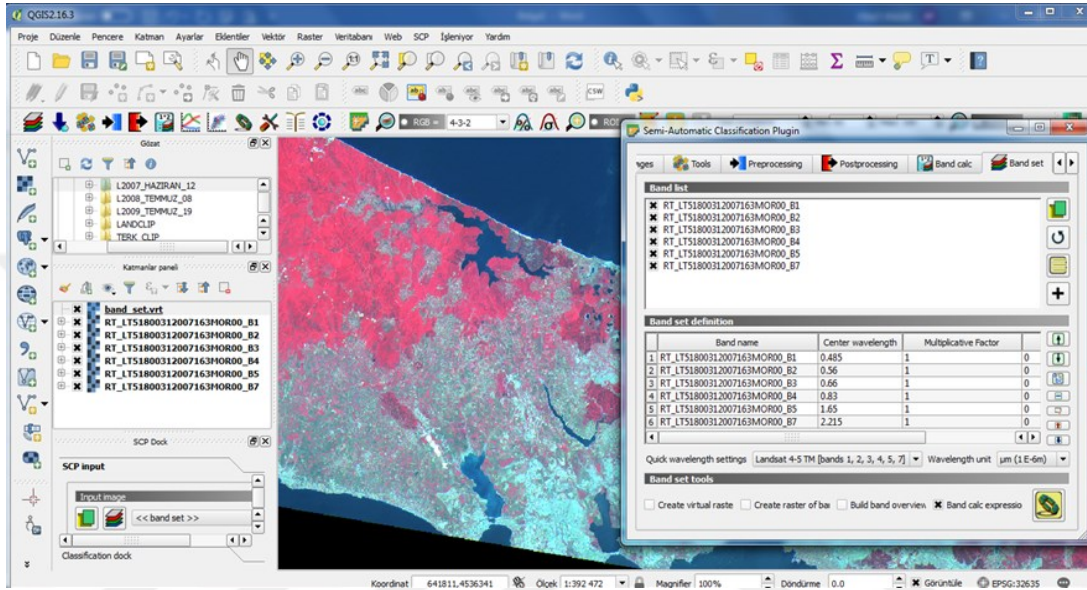
Landsat Uydu Görüntüsü Tarihi	Görüntü Tarihinin 3 Ay Öncesine ve Sonrasına Göre Kapsadığı Arazi Kullanım Sınıfı Tarihleri
SB2015 (26 Şubat 2015 tarihli uydu görüntüsü)	KS2014, AR2014, OC2015, SB2015, MR2015, NI2015, MA2015
EY2015 (06 Eylül 2015 tarihli uydu görüntüsü)	HA2015, TE2015, AG2015, EY2015
Toplam 16 adet uydu görüntüsü	Toplam 101 adet arazi kullanım sınıfı tarihi

Landsat uydu görüntüleri kullanılarak arazi kullanım sınıflarının belirlenmesi kapsamında yapılan temel işlemler aşağıda kısaca belirtilmiştir.

Görüntü Ön İşleme: Görüntü ön işleme kapsamında atmosferik düzeltme işlemi yapılmıştır. Atmosferik düzeltme; atmosferin uydu görüntüleri üzerindeki yansıma, saçılma gibi etkenlerden kaynaklanan etkisinin giderilmesi veya minimuma indirilmesi için yapılan işlemdir. Çalışma kapsamında yapılan atmosferik düzeltme işlemleri QGIS yazılımında yer alan atmosferik düzeltme aracı ile otomatik olarak yapılmıştır.

Bant Kombinasyonları: Landsat uydu görüntülerine ait bant kombinasyonları her bir uydu görüntüsünün içerdiği bantların özelliklerine göre yapılmaktadır. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri; Landsat-5TM, Landsat-7ETM ve Landsat-8OLI uydularına ait görüntüler olup, bu uydulardan alınan görüntülerin bant özellikleri birbirinden farklı olmaktadır. Landsat-5TM uydu görüntüsünde toplam 7 adet (1-2-3-4-5-6-7) bant olup, bunların içerisindeki 6 nolu bant termal banttır. Landsat-7ETM uydu görüntüsünde toplam 8 adet (1-2-3-4-5-6-7-8) bant olup, bunların içerisindeki 6 nolu bant termal bant, 8 nolu bant ise pankromatik banttır. Landsat-8OLI uydu görüntüsünde toplam 11 adet (1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11) bant olup, bunların içerisindeki 10 ve 11 nolu bantlar termal bant, 8 nolu bant ise

pankromatik banttır. Tez çalışması kapsamında yapılan arazi örtüsü sınıflandırma çalışmalarında termal ve pankromatik bantlar haricinde kalan 30 metre çözünürlüklü diğer bantlar kullanılmış olup; buna göre Landsat-5TM ve Landsat-7ETM için 1-2-3-4-5-7 nolu bantlar ve Landsat-8OLI için 2-3-4-5-6-7 nolu bantlar bant kombinasyonları içerisine alınmıştır. Şekil 2.4'te Landsat-5TM için 4-3-2 bantları kullanılarak yapılmış bir bant kombinasyonu örneği verilmiştir.



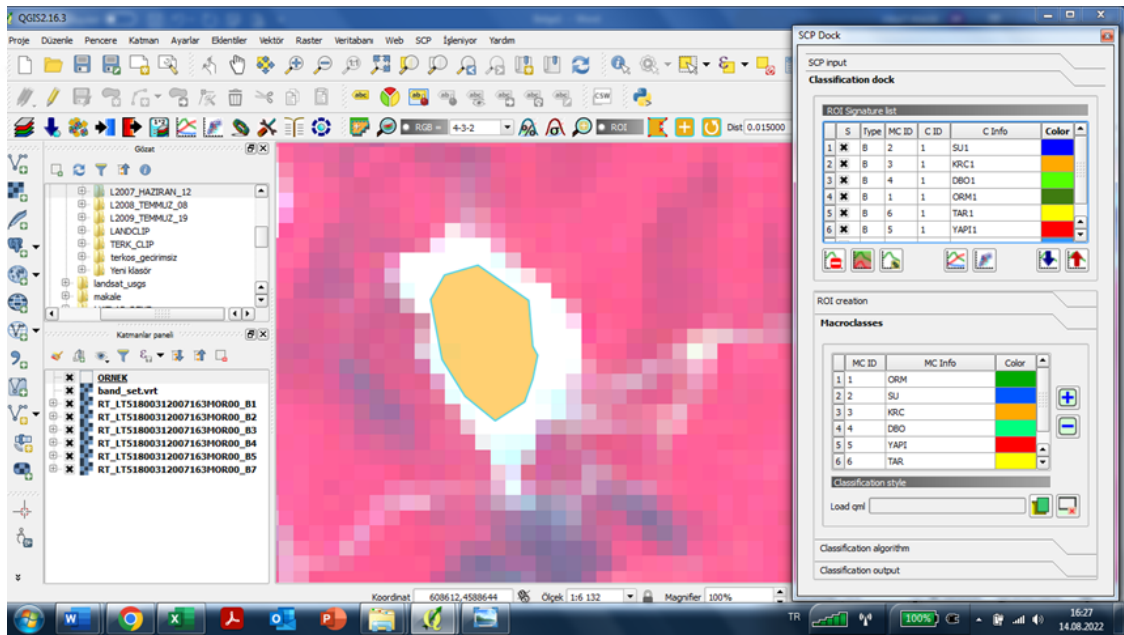
Şekil 2.4 Landsat-5TM için 4-3-2 nolu bant kombinasyonu örneği

Örnekleme Dosyalarının Oluşturulması: Yukarıda belirtildiği üzere; uydu görüntülerine dayanarak yapılan arazi örtüsü sınıflandırma işlemlerinde denetimli sınıflama yöntemi kullanılmıştır. Denetimli sınıflama yönteminde çalışma alanı içerisindeki arazi örtüsü hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Bu bilgiye dayanarak çalışma alanı içerisindeki arazi örtüsü sınıflarına ait örnekleme dosyaları oluşturulmaktadır. Örnekleme dosyaları arazi örtüsü sınıflandırma çalışması sonucunda elde edilmek istenen her bir arazi örtüsü tipi için örneklemlerin (referansların) yer aldığı dosyalardır. Örnekleme dosyalarında çalışma alanı kapsamında kullanıcı tarafından tanımlanan arazi kullanım sınıflarının piksel özellikleri kayıt edilmektedir.

Tez çalışması kapsamında oluşturulan örneklem dosyalarında yedi farklı arazi kullanım sınıfı tanımlanmıştır. Bunlar; ORM (orman alanı), SU (su yüzeyleri), TAR (tarım alanı), DBO (doğal bitki örtüsü alanı), YAPI (yapılaşmış alanlar), KRC (bitki örtüsü olmayan kıraç alanlar) ve SB (sazlık, bataklık vb. alanlar) olarak

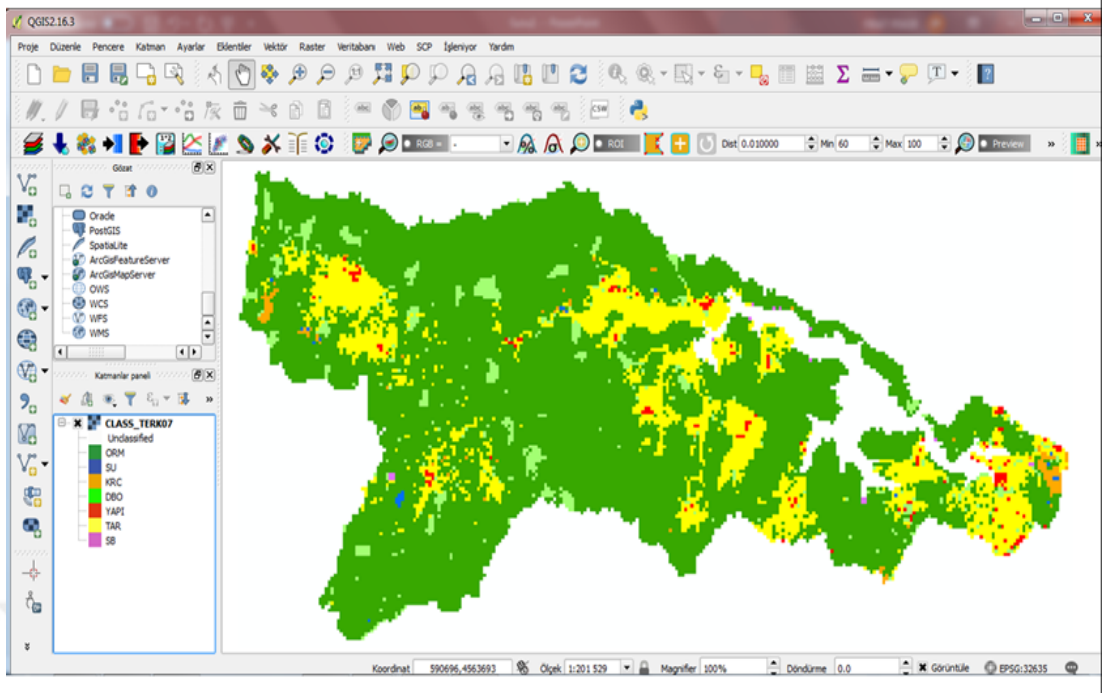
sıralanmaktadır. Bunların her birinin tanımlanması için çalışma alanı içerisinde küçük boyutlu örnek poligonlar çizilerek örnekleme dosyasına kaydedilmiştir. Arazi örtüsü sınıflarının tanımlandığı bu poligonların içerisinde yer alan piksellerin ortalama özellikleri örnekleme dosyasına yazılım tarafından otomatik olarak aktarılmaktadır.

Örnekleme dosyalarının oluşturulmasına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir. Şekil 2.5'te sunulan bu örnekte çalışma alanı içerisinde KRC (kıraç alanlar) için çizilen bir tanımlama poligonu görülmekte, sağ tarafta yer alan pencerede ise örnekleme dosyası için yapılan tanımlamalar yer almaktadır.



Şekil 2.5 Arazi örtüsü sınıflandırma işlemleri için örnekleme dosyası örneği

Denetimli Sınıflandırma İşleminin Yapılması: Örnekleme dosyalarında tanımlanan arazi örtüsü sınıflarının piksel özellikleri (yansıma vb. özellikler) ile çalışma alanı içerisinde yer alan tüm piksellerin özellikleri yazılım tarafından otomatik olarak karşılaştırılmakta ve bu karşılaştırma sonucunda çalışma alanındaki tüm piksellere arazi örtüsü bilgisi atanmaktadır. Böylelikle; önceden tanımlanmış verilere dayanarak çalışma alanı içerisindeki arazi örtüsü sınıfları belirlenmiş olmaktadır. Tez çalışması kapsamında denetimli sınıflandırma yöntemi kullanılarak yapılmış bir arazi örtüsü sınıflandırma çalışması örneği Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Denetimli sınıflandırma yöntemine göre arazi örtüsü sınıflandırma

Arazi Örtüsü Sınıflandırmada Doğruluk Analizleri: Arazi örtüsü sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra çalışma alanından rastgele seçilen piksellerin verilerine dayanarak doğruluk değerlendirmesi yapılmaktadır. Seçilen piksellere atanmış arazi sınıfı verileri ile referans verilerin karşılaştırılması sonucunda bir hata matrisi oluşturulmakta ve bu hata matrisine dayanarak arazi örtüsü sınıflandırmasına ilişkin doğruluk oranları belirlenmektedir. Tez çalışmasında arazi örtüsü sınıflandırmalarına ilişkin doğruluk analizleri CBS yazılımı kullanılarak otomatik olarak yapılmış olup elde edilen sonuçlar analiz sonuçları ve bulguların açıklandığı bölümde verilmiştir.

2.3.4 Gerçek Evapotranspirasyon Kayıplarının Hesaplanması

Bir arazide buharlaşma yoluyla toprak yüzeyinden ve terleme yoluyla bitki bünyesinden meydana gelen su kayıplarının toplamı evapotranspirasyon (ET) olarak adlandırılır.

ET su döngüsünün temel bir bileşenidir ve hidrolojik çevrim için son derece önemlidir [48]. Hidrolojik döngüde önemli bir su bütçesi bileşeni olan ET, kara yüzeyleri ve atmosfer arasında kütle ve enerji alışverişinden sorumludur ve toplam karasal yağışların %60-75'ini atmosfere geri dönüştürür [49]. Belirli bir bölge için

ET kayıplarının bilinmesi hidrolojik, tarımsal ve çevresel sistemlerin tasarımında, geliştirilmesinde ve izlenmesinde önemli bir bileşendir [50].

ET ile ilgili olarak referans evapotranspirasyon (ET_o), bitki türüne bağlı evapotranspirasyon (ET_c) ve gerçek evapotranspirasyon (ET_a) adı altında farklı tanımlar söz konusudur. ET_o; tamamı kısa boylu çim bitkisi ile kaplı bir alanda su kısıtı veya başka herhangi bir kısıtlama olmadığı durumdaki su kaybını, ET_c tamamı farklı bitkilerle kaplı bir alanda su kısıtı veya başka herhangi bir kısıtlama olmadığı durumda her bir bitki türüne bağlı olarak meydana gelen maksimum gerçek su kaybını ifade eder. ET_a ise farklı bitkilerle kaplı bir alanda bitkilerin türüne ve alanı kapladıkları yoğunluğa ve su kısıtı veya başka herhangi kısıta bağlı olarak meydana gelen gerçek su kaybını ifade eder [51].

ET hesaplarına ilişkin bir diğer tanımlama ise potansiyel evapotranspirasyondur. Potansiyel evapotranspirasyon yeterli zemin neminin her zaman mevcut olduğu durumdaki kayıpları vermektedir. Bu durumda gerçek evapotranspirasyon potansiyel evapotranspirasyondan daha düşük olabilir, zemin kuruma noktasına gelince gerçek evapotranspirasyon sona erer [32]. Gerçek evapotranspirasyon zemin nemine ve beslenmesine, bitki örtüsü ve bunlarına gelişme durumlarına bağlı olduğundan dolayı birçok belirsizliğin altındadır ve bu nedenle hesaplanması güçtür [34].

ET kayıplarının tahmini amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bir tanesi Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından FAO Sulama ve Drenaj Raporu No:56 (FAO56) kapsamında geliştirilmiş FAO Penman-Monteith (PM) yöntemidir.

PM yöntemi tarımsal alanlar için geliştirilmiş olup bu yöntemde ilk olarak ET_o hesabı yapılır. Daha sonra ET_c hesabına geçilir. ET_c'nin hesaplanabilmesi için ise çalışma alanında ekili tüm tarımsal bitki türlerinin ve bunlara ait su tüketim katsayılarının (k_c) bilinmesi gerekir. Şayet k_c katsayıları biliniyorsa, (2.4) eşitliğinde belirtildiği üzere ET_o değeri ile k_c çarpılarak her bir bitki türü için ET_c hesaplanır. ET_o'nun ve tarımsal bitkiler için k_c katsayılarının hesaplanmasına ilişkin yönerge FAO56'da yer almaktadır.

$$ET_c = k_c * ET_o \quad (2.4)$$

Eşitlik (2.4)'te ET_c : bitki türüne bağlı maksimum gerçek evapotranspirasyon miktarını (mm), k_c : bitki su tüketim katsayısını, ET_o : referans evapotranspirasyon miktarını (mm) ifade etmektedir.

Görüldüğü üzere PM yöntemindeki iki kilit nokta; ET_o ve k_c değerleridir. Yukarıdaki tanımdan da anlaşılacağı üzere; ET_o hesapları çalışma alanının tamamının kısa boylu çim bitkisi ile kaplı olması halindeki referans evapotranspirasyon miktarlarını ifade etmektedir. Çalışma alanında tarımsal üretimden kaynaklanan gerçek evapotranspirasyon miktarlarının hesaplanması için ise alanı kaplayan tüm zirai bitki türlerine ait k_c katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Bunun için de alanda ekili tüm bitki türlerinin bilinmesi gerekir ki bunun tespit edilmesi kolay değildir. Bunun yanı sıra; çalışma alanı içerisinde orman, mera, çayır, yapılaşmış alanlar, sazlık alanlar, bataklık alanlar, kıraç alanlar, maden alanları gibi tarım dışı farklı arazi kullanım sınıfları da mevcut olduğunda, tüm bunlara ait k_c katsayılarının belirlenmesi oldukça güçleşmektedir.

Günümüzde uydu teknolojilerinin gelişmesi ile karışık arazi örtüsü sınıflarına sahip alanlardaki ET_a kayıplarının hesaplandığı çeşitli modeller geliştirilmiştir. Uzaktan algılama teknolojisi ve enerji dengesine dayalı bu modeller ET_a miktarlarının belirlenmesinde doğru ve tekrarlanabilir tahminler sağlayabilmektedir [52]. SEBAL (Arazi Yüzey Enerji Dengesi Algoritması), S-SEBI (Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi Endeksi), SEBS (Yüzey Enerji Dengesi Sistemi), METRIC (İçselleştirilmiş Kalibrasyon ile Yüksek Çözünürlükte Evapotranspirasyonu Haritalama) ve SSEBop (Operasyonel Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi) modelleri ET_a tahminlerinin yapılması kapsamında geliştirilmiş enerji dengesine dayalı modellerden bazılarıdır [53].

SSEBop modeli enerji dengesine dayalı ET_a tahminlerinin yapıldığı çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. ABD'de ülke çapında yapılmış bir çalışmada SSEBop modeline dayalı tahminler ile sahada yapılmış ölçüm değerlerinin karşılaştırılması sonucunda 0,7 ile 0,97 arasında bulunan R^2 katsayıları modelin tahmin gücünün yüksek olduğunu göstermiştir [50].

ABD’de yapılmış başka bir çalışmada yine SSEBop modelinden elde edilen tahminler ölçüm verileri ile karşılaştırılmış ve model sonuçlarının farklı arazi örtüsü sınıflarında güçlü bir doğrusal ilişki gösterdiği belirtilerek korelasyon katsayılarının odunsu savanalarda 0,75, otlaklarda 0,81, orman alanlarında 0,82, tarım alanlarında 0,84, çalılık alanlarında 0,89 ve kentsel alanlarda 0,95 olarak hesaplandığı bildirilmiştir [53].

ABD Teksas eyaletinde yer alan yüksek ovalık bölgelerde yapılan bir çalışmada SSEBop modelinden elde edilen ETa tahminleri ile lizimetre ölçümlerinin sonuçları karşılaştırılmış, gözlemlenen ve modellenen ETa değerleri arasında 0,87 ile 0,97 arasında değişen R^2 katsayıları elde edilmiştir [54].

ABD Colorado su havzası için yapılmış başka bir çalışmada SSEBop modeli aylık ETa tahminleri ile iki ayrı ölçüm istasyonuna ait ölçüm değerlerinin karşılaştırılması sonucunda R^2 katsayıları 0,85 ve 0,91 olarak bulunmuştur [55].

Yine ABD çapında yapılmış bir çalışmada SSEBop modeli aylık ETa tahminleri ile 42 adet ölçüm istasyonu verisi karşılaştırılmış ve R^2 katsayıları tarım alanları için 0,92, çayır ve otlaklar için 0,88, orman alanları için 0,84, odunsu savanalar için 0,88 olarak hesaplanmıştır [56].

Brezilya’da soya fasulyesi ekili alanlar için yapılmış bir çalışmada SSEBop modeli tahminleri ile ölçüm verileri karşılaştırıldığında R^2 katsayısı 0,88 olarak bulunmuş ve modelin bu bitki türü için ETa kayıplarının tahmininde kullanılabilir olduğu belirtilmiştir [57].

ABD ve Meksika’da yer alan Yukarı Rio Grande havzası tarım alanlarında yer alan 6 adet ölçüm istasyonunun 2007-2014 yılları arasındaki 8 yıllık ETa ölçüm değerleri ile SSEBop modelinden tahmin edilen ETa değerlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, 0,83 ile 0,98 arasında değişen yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir [58].

Mısır Nil Nehri havzasında yer alan tarım alanlarında sulama verimliliğinin değerlendirilmesi kapsamında yapılmış bir çalışmada, içlerinde SSEBop modelinin de yer aldığı 3 farklı modelin performansı ölçülmüş ve aylık ETa tahminleri açısından en iyi performansı SSEBop modelinin gösterdiği belirtilmiştir [59].

Yukarıda bazı literatür örnekleri verilen SSEBop modelinde çalışma alanı içerisindeki bitki türlerine ait su tüketim katsayılarına ihtiyaç duyulmadan, uydu görüntülerine dayalı olarak ET_a hesapları yapılabilmektedir. Bunun için SSEBop modelinde (2.5) eşitliği kullanılmaktadır.

$$ET_a = ET_f * k_m * ET_o \quad (2.5)$$

Eşitlik (2.5)'te ET_a: gerçek evapotranspirasyon miktarını (mm), ET_f: evapotranspirasyon faktörünü, k_m: maksimum evapotranspirasyon katsayısını, ET_o: referans evapotranspirasyon miktarını (mm) ifade etmektedir.

Eşitlik (2.4) ve (2.5) te görüldüğü üzere; PM yöntemi ve SSEBop yönteminin ortak noktası, her iki hesaplama yönteminde de ET_o miktarının referans değer olarak kullanılmasıdır. Her iki yöntemde de bu referans değer belirli bir katsayı ile çarpılarak gerçek evapotranspirasyon miktarı belirlenmektedir.

Tez kapsamında yapılan havza alanlarındaki farklı arazi kullanım sınıflarına ait ET_a miktarlarının belirlenmesi çalışmalarında, yukarıda verilen (2.4) ve (2.5) eşitliklerine benzer şekilde bir hesaplama yapılmıştır. Buna göre ilkin arazi kullanım sınıflarına ait ET_o hesapları yapılmış, daha sonra her bir arazi kullanım sınıfı için hesaplanan gerçek evapotranspirasyon katsayıları (k) kullanılarak (2.6) eşitliğine göre arazi kullanım sınıflarına ait ET_a miktarları hesaplanmıştır.

$$ET_a = k * ET_o \quad (2.6)$$

Eşitlik (2.6)'da ET_a: arazi kullanım sınıfına ait gerçek evapotranspirasyon miktarını (mm), k: arazi kullanım sınıfına ait gerçek evapotranspirasyon katsayısını, ET_o: arazi kullanım sınıfına ait referans evapotranspirasyon miktarını (mm) ifade etmektedir.

Eşitlik (2.6) da yer alan arazi kullanım sınıflarına ait referans evapotranspirasyon miktarları PM yöntemine göre hesaplanmıştır. Arazi kullanım sınıflarına ait gerçek evapotranspirasyon katsayıları ise USGS tarafından oluşturulmuş olan global ET_a haritaları kullanılarak hesaplanmıştır. Bunlara ilişkin açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

2.3.4.1 Referans Evapotranspirasyon Kayıplarının Hesaplanması

Penman-Monteith (PM) yöntemi dünyanın çoğu bölgesinde referans evapotranspirasyon (ET_o) kayıplarını tahmin etmenin en iyi yolu olarak kabul edilmektedir [60]. Gerekli iklim verileri sağlandığı takdirde PM yöntemi ET_o'yu tahmin etmek için standart yöntem olarak tavsiye edilmiş [61, 62] ve FAO ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından standart referans evapotranspirasyon yöntemi olarak önerilmiştir [63]. Öyle ki yapılan birçok çalışmada PM yöntemi referans alınarak evapotranspirasyon tahmininde kullanılan diğer yöntemlerin birbiri ile kıyaslaması yapılmıştır [60, 62, 64, 65].

PM yöntemine göre ET_o hesaplarının yapılmasında, aşağıda verilen (2.7) eşitliği kullanılmaktadır [51]:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2.7)$$

Eşitlik (2.7)'de; ET_o: referans evapotranspirasyon (mm gün⁻¹), R_n: net güneş radyasyonu (MJ m⁻² gün⁻¹), G: toprak ısı akısı (MJ m⁻² gün⁻¹), T: ortalama sıcaklık (°C), u₂: yüzeyden 2 metre yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı (m s⁻¹), e_s: ortalama doymuş buhar basıncı (kPa), e_a: gerçek buhar basıncı (kPa), Δ: doymuş buhar basıncı-sıcaklık eğrisinin eğimi (kPa °C⁻¹), γ: psikrometrik sabit (kPa °C⁻¹) olarak tanımlanmaktadır.

Eşitliğin sağ tarafında yer alan tüm değişkenlerin hesaplanabilmesi için gerekli veriler; aylık maksimum ve minimum sıcaklık, aylık maksimum ve minimum nispi nem, aylık ortalama rüzgâr hızı, aylık toplam güneşlenme süresi verileri ile araziye ait yükselti bilgileri olup bu veriler kullanılarak yapılan tüm hesaplamalara ilişkin detaylı formülasyon ve açıklamalar eklerde yer almaktadır.

ET_o hesabı için ihtiyaç duyulan iklim verilerinin daha önceki aşamalarda haritalarının oluşturulmuş olması sayesinde, piksel düzeyinde yapılan hesaplamalarla çalışma alanı kapsamında 1990-2015 yılları arası aylık ET_o haritaları elde edilmiştir. ET_o haritaları ve arazi kullanım sınıfı haritaları kullanılarak CBS ortamında yapılan kesişim işlemleriyle de her bir alt havza

içerisinde yer alan farklı arazi kullanım sınıflarına ait aylık ETo miktarları hesaplanmıştır.

2.3.4.2 Gerçek Evapotranspirasyon Katsayılarının Belirlenmesi

Günümüzde, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) Kıtık Erken Uyarı Sistemi Ağı (FEWS NET) tarafından, SSEBop modeli kullanılarak tüm dünya arazilerini kapsayacak şekilde global evapotranspirasyon (GETa) haritaları oluşturulmakta ve bu haritalar kuraklık izleme ve erken uyarı amacıyla kullanılmaktadır. 2003 yılından itibaren yayınlanmakta olan GETa haritaları bütün dünya arazileri için aylık ve yıllık ETa tahminleri sunmaktadır.

GETa haritaları dünya çapında gıda krizlerinin önüne geçebilmek ve bu konuda özellikle olası kuraklık riskleri için erken uyarı yapabilmek amacıyla USGS Kıtık Erken Uyarı Sistemleri Ağı tarafından yapılan izleme çalışmalarında yağış verileri ile birlikte kullanılan başlıca veriler içerisindedir [66]. Bu haritalarda yer alan ETa değerleri ile 6 kıtada yer alan ölçüm sahası verilerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada genel olarak makul sonuçların elde edildiği bildirilmiştir [49].

Dünya ölçeğinde oluşturulan GETa haritaları 1x1 km piksel boyutunda olacak şekilde üretilmektedir. Farklı arazi kullanım sınıflarının 1x1 km'den çok daha geniş yüzeyleri kapladığı bölgelerde, bu haritalar kullanılarak her bir arazi kullanım sınıfına ait ETa değeri kolaylıkla belirlenebilmektedir. Ancak bu haritaların 1 x 1 km'lik pikselleri içerisinde birden fazla arazi kullanım sınıfının yer aldığı durumlarda, her bir arazi kullanım sınıfına ait ETa değerinin belirlenmesi güçleşmektedir. Diğer bir deyişle; GETa haritasının 1 x 1 km'lik bir pikseli içerisinde farklı arazi kullanım sınıflarının yer aldığı durumlarda, pikselin ETa değeri piksel içerisindeki tüm arazi kullanım sınıflarının ortalama ETa değeri olmakta, bu durumda da her bir arazi kullanım sınıfının kendine ait ETa değeri bilinmemektedir.

Bu çalışmada; arazi kullanım sınıflarına ait ETa değerlerinin belirlenmesinde GETa haritalarının piksel boyutundan kaynaklanan kısıtlamayı aşmak için excel yazılımı içerisinde yer alan solver (çözücü) aracı kullanılarak iterasyona dayalı sayısal çözümleme işlemleri yapılmıştır. Her bir alt havza için ayrı ayrı yapılan sayısal çözümleme işlemlerinde, alt havza içerisindeki arazi kullanım sınıflarına

ait aylık ETo miktarları ile alt havzanın bütününe ait aylık ETa miktarları arasında (2.8) eşitliği kurulmuştur.

$$AETa = \frac{k_1 * ETo_1 * A_1 + k_2 * ETo_2 * A_2 + \dots + k_8 * ETo_8 * A_8}{A_T} \quad (2.8)$$

Eşitlik (2.8) de; AET_a: alt havza bütününde aylık gerçek evapotranspirasyon miktarını (mm), $k_{(1,2,...,8)}$: çalışma kapsamında oluşturulmuş 8 farklı arazi kullanım sınıfının her birine ait ET_a katsayılarını, $ETo_{(1,2,...,8)}$: 8 farklı arazi kullanım sınıfının her birine ait aylık referans evapotranspirasyon miktarlarını (mm), $A_{(1,2,...,8)}$: 8 farklı arazi kullanım sınıfının her birine ait alanları (m²), A_T: alt havzanın toplam alanını (m²) ifade etmektedir.

Eşitlik (2.8) in dayandığı hipotez; alt havza içerisindeki farklı arazi kullanım sınıflarına ait aylık ETa miktarlarının alansal ağırlıklı ortalamasının, alt havza bütünündeki aylık ETa miktarına eşit olacağıdır. Eşitlikte yer alan alt havza bütünündeki aylık ETa miktarları (AETa) alt havza alanları ile GETa haritalarının CBS ortamında kesişimlerinden elde edilmiştir. Diğer bir deyişle, her bir alt havzaya ait AETa değerleri GETa haritalarından elde edilen aylık ETa değerleri olup, bunlar arazi kullanım sınıflarından bağımsız olarak alt havza alanları bütününde meydana gelen aylık ETa miktarlarıdır. Arazi kullanım sınıflarına ait aylık ETa miktarları ise arazi kullanım sınıflarına ait aylık ETo miktarlarının k katsayıları ile çarpımı sonucunda hesaplanmaktadır. Eşitliğin her iki tarafının birbirine eşitlenmesi k katsayıları ile gerçekleştirilmektedir. Eşitlikte yer alan k katsayılarının belirlenmesi için ise iterasyona dayalı sayısal çözümleme işlemleri yapılmıştır. Excel yazılımı içerisinde yer alan solver aracı kullanılarak yapılan bu sayısal çözümleme sonucunda elde edilen nihai k katsayıları arazi kullanım sınıflarına ait gerçek evapotranspirasyon katsayıları (ETa katsayıları) olarak tanımlanmıştır.

İterasyona dayalı sayısal çözümleme işlemleri her bir alt havza için ayrı ayrı olmak üzere ve yılın her bir ayını temsilen 12 adet veri işlem satırı oluşturulmak suretiyle yapılmıştır. Veri işlem satırlarında yer alan arazi kullanım sınıflarına ait aylık ETo değerleri, 2003-2015 yılları arası aylık ETo değerlerinin ortalamasıdır. Veri satırlarında yer alan arazi kullanım sınıflarının alanları, 2003-2015 yılları arası

aylık alan değerlerinin ortalamasıdır. Alt havza alanlarındaki AETa değerleri 2003-2015 yılları arası aylık ETa değerlerinin ortalamasıdır. Veri işlem satırlarında yılın her bir ayı için ortalama değerlerin kullanılmasının nedeni; gerek Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanmış ETo miktarları ve gerekse GETa haritalarından elde edilen ETa miktarları içerisindeki olası aşırı düşük veya aşırı yüksek ekstrem değerlerden etkilenmeden, k katsayılarının uzun yıllara dayalı ortalama ETa ve ETo miktarlarına göre hesaplanabilmesi içindir. Böylelikle; bir yandan GETa haritalarından alınan verilerin bir anlamda kalibrasyonu yapılmış olurken, diğer yandan sayısal çözümleme işlemleri sonucunda elde edilen k katsayıları mevsim normallerine göre belirlenmiş olmaktadır.

İterasyona dayalı sayısal çözümleme işlemlerinde çalışma periyodu olarak seçilen 2003-2015 yılları arasındaki ortalama verilerin kullanılmasının nedeni, GETa haritalarının 2003 yılından itibaren sunulmaya başlanmış olmasıdır. Bundan dolayı arazi kullanım sınıflarına ait aylık ETa katsayıları (k katsayıları) 2003-2015 yılları arasındaki aylık ortalama verilere göre hesaplanmış olup, 1990-2015 yılları arasındaki tüm aylar için yapılan ETa hesaplarında bu katsayılar kullanılmıştır.

İterasyona dayalı sayısal çözümleme işlemlerinde yılın her bir ayı için oluşturulan 12 adet veri işlem satırının her birinde yukarıda verilen (2.8) eşitliğinin sağlanmasına çalışılmaktadır. Bu eşitliklerin sağlanması için excel solver aracı kullanılarak çok sayıda iterasyon yapılmaktadır. Her bir iterasyonda bu 12 adet eşitlikte yer alan k katsayılarına bir sayısal değer atanmakta, bu sayısal değere göre eşitliklerin farkları hesaplanmakta ve bu farklardan da (2.9) eşitliğine göre toplam fark hesaplanmaktadır.

$$TF = \sqrt{\frac{\sum F^2}{12}} \quad (2.9)$$

Eşitlik (2.9) da; TF: toplam farkı, F: 12 adet veri işlem satırının her birine ait farkları ifade etmektedir. Excel solver aracı toplam farkın sıfırlanmasına kadar iterasyona devam etmekte, toplam farkın sıfır ya da minimum olduğu durumda iterasyona son vermektedir. İterasyon sonlandırılıp sayısal çözümleme işlemi

tamamlandığında elde nihai k katsayıları, alt havzadaki arazi kullanım sınıflarına ait ETa katsayıları olarak kullanılmaktadır.

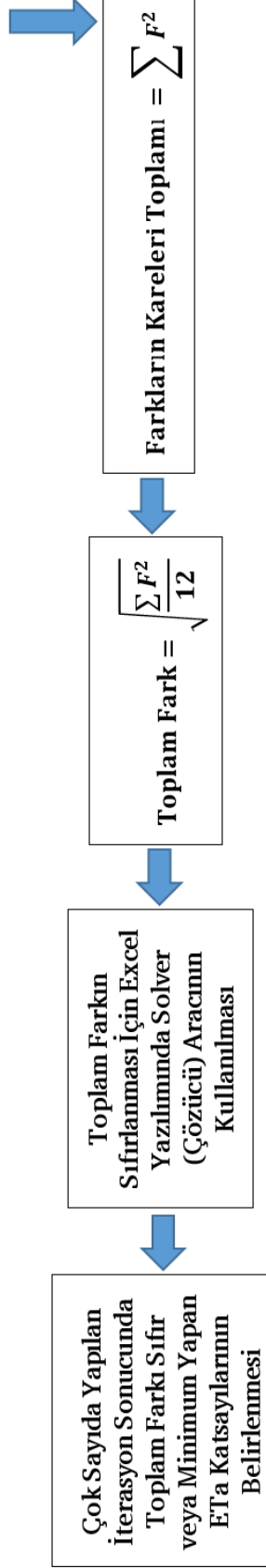
İterasyona dayalı sayısal çözümleme işlemlerinde kıraç alanlar, maden alanları, su yüzeyleri ve yapılaşmış alanlarda yılın 12 ayı için tek bir ETa katsayısı (k) hesaplanırken, orman alanı, tarım alanı, sazlık-bataklık ve doğal bitki örtüsü alanlarında yılın her bir ayı için ayrı ayrı ETa katsayıları (k) hesaplanmıştır. Bunun temel dayanağı; orman alanlarında ağaçların kışın yaprak dökmesi, mera, çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarının kurak mevsimlerde seyrelip kururken yağışlı mevsimlerde gürleşmesi, tarım alanlarındaki bitki örtüsünün ekim ve hasat mevsimlerine dayalı olarak yılın farklı aylarında değişkenlik göstermesi gibi nedenlerdir. Dolayısıyla bu alanların üzerindeki bitki örtüsü yılın farklı aylarında değişkenlik gösterebildiğinden, bunlar için yılın her bir ayına ait ayrı bir ETa katsayısı hesaplanmıştır. Üzerinde bitki örtüsü olmayan kıraç, maden ve yapılaşmış alanlar ve su yüzeyleri için ise yılın tüm ayları için sabit (tek) bir ETa katsayısı hesaplanmıştır.

İterasyon işlemlerinde başlangıç koşulları önemli bir etken olup sonuçlar üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Esasen başlangıç koşulları birçok modelleme çalışmasında üzerinde önemle durulan bir husustur. İterasyona dayalı sayısal çözümleme işlemi soyut bir matematiksel eşitliğe dayalı olarak rastlantısal şekilde yapılan bir çözümleme olduğundan, işlemlere başlamadan önce başlangıç koşullarının ve hatta çalışma sınırlarının belirlenmesi, değişkenler arasındaki sayılara dayalı soyut ilişkinin fiziksel gerçeklikle bir ölçüde bağ kurabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda; tez çalışması kapsamında yapılan iterasyona dayalı sayısal çözümleme işlemlerinde başlangıç ve sınır koşulları belirlenerek, çözümleme işlemi sonucunda elde edilen katsayıların tamamen rastlantısal ve fiziksel gerçeklikten kopuk bir şekilde belirlenmesinin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Sınır koşullarının belirlenmesi kapsamında her bir alt havza içerisindeki farklı arazi kullanım sınıfları için maksimum ve minimum ETa katsayıları belirlenmiştir. Bunun yapılabilmesi için; öncelikle GETa haritaları ile arazi kullanım sınıfları karşılaştırılarak her bir alt havzadaki farklı arazi kullanım sınıflarına ait aylık ETa miktarları hesaplanmıştır. 2003-2015 yılları arasındaki tüm aylar için belirlenen bu ETa miktarları arazi kullanım sınıflarının ham ETa

miktarları olarak tanımlanmıştır. Bunlara ham ETa miktarı adının verilmesinin nedeni; yukarıda da açıklandığı üzere, GETa haritalarının 1x1 km’lik piksel boyutundan kaynaklanan kısıtlamadan kaynaklı olarak bu ETa miktarlarının kaba değerler olmasıdır. Daha sonra arazi kullanım sınıflarının aylık ham ETa miktarları arazi kullanım sınıflarına ait aylık ETo miktarlarına bölünerek ham katsayılar elde edilmiştir. Ham katsayılar 2003-2015 yılları arasındaki her bir ay için ve her bir alt havzadaki farklı arazi kullanım sınıfları için ayrı ayrı hesaplanan ham ETa katsayılarıdır. Ancak; GETa haritalarının piksel çözünürlüğünden dolayı arazi kullanım sınıflarına ait ham ETa katsayıları hassas sonuçlar vermemektedir. Çünkü bazı durumlarda bir piksel içerisinde birden farklı arazi kullanım sınıfı yer alabilmekte, bu durumda da her bir arazi kullanım sınıfının GETa değeri aynı olmaktadır. Ancak bu durumun gerçek dünyayı yansıtmadığı aşikardır. Aynı piksel içerisinde yer alan farklı arazi kullanım sınıflarından kaynaklanacak gerçek evapotranspirasyon kayıpları arasında şüphesiz farklılıklar (örneğin: orman alanı ile kıraç alan arasındaki fark gibi) olacaktır. Bundan dolayı arazi kullanım sınıfları için hesaplanan bu ham ETa katsayıları üzerinde çeşitli analiz ve işlemler yapılarak bunların kalibre edilmesi ve nihai ETa katsayılarının (k) belirlenmesi gerekmektedir. Böylelikle, iterasyona dayalı sayısal çözümleme işlemleri ile bu ham ETa katsayılarının bir anlamda kalibrasyonu da yapılmış olmaktadır. Bu kapsamda; ham ETa katsayıları maksimum ve minimum sınırların belirlenmesinde kullanılmıştır. Arazi kullanım sınıfları için hesaplanan 2003-2015 yılları arası aylık ham ETa katsayılarının en büyüğü, iterasyondaki maksimum katsayı olarak, en küçüğü ise minimum katsayı olarak seçilmiş, böylelikle iterasyon işlemleri ile hesaplanan nihai ETa katsayılarının bu maksimum ve minimum sınırlar arasında kalması sağlanmıştır. Başlangıç koşulu olarak da maksimum ve minimum sınır değerlerinin ortalaması alınmıştır. Böylelikle iterasyona arazi kullanım sınıfları için tanımlanan bir ortalama katsayıdan başlanmakta ve belirli bir maksimum-minimum sınır içerisinde çalışarak nihai katsayıya ulaşılmaktadır. Bu yaklaşımın, iterasyon sonucunda elde edilen tüm katsayıların aynı yöntemle belirlenmiş başlangıç ve sınır koşulları altında daha tutarlı bir şekilde hesaplanmasına olanak sağladığı düşünülmektedir. İterasyona dayalı sayısal çözümlemeye ilişkin olarak yapılan bu açıklamaların şematik bir anlatımı Şekil 2.7’de yer almaktadır.

Her Bir Alt Havza İçin Oluşturulan Yılın 12 Aynaya Ait Veri İşlem Satırı

OC $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$
 SB $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$
 MR $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$
 NI $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$
 MA $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$
 HA $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$
 TE $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$
 AG $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$
 EY $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$
 EK $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$
 KS $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$
 AR $\rightarrow (AETa * Ar) - (k_1 * ET_{O2} * A_3 + k_2 * ET_{O2} * A_2 + k_3 * ET_{O3} * A_3 + k_4 * ET_{O4} * A_4 + k_5 * ET_{O5} * A_5 + k_6 * ET_{O6} * A_6 + k_7 * ET_{O7} * A_7 + k_8 * ET_{O8} * A_8) = F \rightarrow F^2$



Şekil 2.7 İterasyona dayalı sayısal çözümleme işlemleri

2.3.5 Başlangıç Su Tutulması Miktarlarının Hesaplanması

ABD’de Toprak Koruma Servisi (Soil Conservation Service) tarafından sızma hesapları için geliştirilmiş olan Eğri Numarası yönteminde (SCS-CN) yağış olayı esnasında zeminde tutulan, başlangıçta ve çukurlarda depolanan su miktarları esas alınmaktadır. Bütün bu terimler sızma öncesinde yüzeyde değişik şekillerde meydana gelen su kayıplarını ifade etmekte olup, burada buharlaşma göz önünde tutulmamaktadır [34].

Yağış verilerinden yüzeysel akışın belirlenmesinde sıkça kullanılan bir yöntem olan SCS-CN yöntemi, az sayıda veri ihtiyacı duyulması ve bu yöntem kullanılarak yapılan birçok çalışmada doğru sonuçların elde edilmesinde dolayı hızlı ve kolay uygulanabilir bir yöntem olarak nitelendirilmektedir [67]. Yöntemin en önemli avantajının; akışın tek bir parametreyle, sadece eğri numaralarıyla ilişkisinin kurulmasından dolayı uygulamanın kolay, öngörülebilir ve kararlı olması olduğu belirtilmektedir [68]. Yöntemin uygulanmasında az sayıda girdi parametresine ihtiyaç duyulduğundan dolayı yüzeysel akışın modellenmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir [69].

SCS-CN yönteminde yağışın havzaya düzgün olarak dağıldığı varsayılmaktadır. Arazinin özelliğine ve nem miktarına göre sızma miktarı elde edilir. Bu yöntemde en önemli varsayım yüzeysel akışın başlangıç su tutulmasında (Ia) meydana gelen kayıplardan sonra başladığıdır [70].

Yağış esnasındaki başlangıç su tutulması yağışın yüzeyde (arazi yüzeyini kaplayan her türlü cisim, bitki vb.) tutulan su miktarı ile arazideki çukurlarda tutulan su miktarının toplamıdır. Başlangıç su tutulması ile alıkonulan su yüzeysel akışa geçmez. Burada biriken suyun bir kısmı sızarken bir kısmı da buharlaşmaktadır. Akışın meydana gelebilmesi için ilk önce başlangıç su tutulması miktarının aşılması gerekmektedir [34].

SCS-CN yöntemi birçok araştırmacı tarafından yağış-akış modellemesi çalışmalarında kullanılmıştır. Hindistan’ın Khuldabad bölgesinde SCS-CN yöntemi kullanılarak yapılan bir akış modellemesi çalışması sonuçlarına göre yağış miktarları ile modelden elde edilen akış miktarları arasındaki korelasyon katsayıları aylık periyotlar için 0,978 olarak, yıllık periyotlar için ise 0,996 olarak

bulunmuştur [71]. Yine Hindistan'da yapılan bir başka çalışmada CBS ve uzaktan algılama teknolojileri ile birlikte kullanılan SCS-CN yöntemi vasıtasıyla etkin bir yüzeysel akış modellemesi yapılabileceği ve arazi kullanım planlaması ve havza yönetiminde bu yöntemin verimli bir şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir [72]. Havza yüzeysel akış modellemesi için SCS-CN yönteminin kullanıldığı başka bir çalışmada bu yöntemin uzaktan algılama teknikleri ile kullanıldığında akış hacimlerinin başarılı bir şekilde tahmin edilebildiği belirtilmiş ve ölçüm olmayan havzalarda yüzeysel akış tahminleri için kullanılabileceği ifade edilmiştir [73].

Orman yangınlarının yaşandığı havzalarda yangın öncesi ve sonrasındaki yüzeysel akış miktarlarının modellemesinin yapıldığı bir çalışmada yüzey akış miktarlarının belirlenmesinde kullanılan yöntem SCS-CN yöntemi olmuş ve bu yöntemin avantajlarından birinin toprak ve arazi örtüsü değişimlerinin yüzeysel akış üzerindeki etkisini belirleyebilmek olduğu belirtilmiştir [74].

SCS-CN yönteminin Ankara Beypazarı'nda yer alan Çakıloba-Karadoruk akifer sistemindeki yeraltı suyu besleniminin hesaplanmasında kullanıldığı bir çalışmada, bu yöntemin küçük havzalarda sağlıklı sonuçlar verdiği ve bu yöntem kullanılarak yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçların akım ölçümleri yapılan çevre havzaların akım değerleri ile uyumlu çıktığı belirtilmiştir [75].

Arazi kullanımındaki değişimlerin iklim üzerindeki etkilerinin modellenmesi amacıyla yapılan bir başka çalışmada ise akış ölçümü yapılmayan havzalardaki yüzey akış miktarlarını tahmin etmek için SCS-CN yöntemi kullanılmıştır [76].

ABD Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından yayınlanan teknik yayınlar içerisinde yer alan TR55 (Urban Hydrology for Small Watersheds) dokümanında SCS-CN yöntemine ilişkin tüm açıklamalar yer almaktadır. Buna göre SCS-CN yönteminde akış hesapları (2.10) eşitliği kullanılarak yapılmaktadır [77]:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (2.10)$$

Eşitlik (2.10)'da Q: yüzeysel akış miktarı (inç), P: yağış miktarı (inç), I_a : başlangıç su tutulması miktarı (inç) ve S: maksimum su tutma kapasitesi (inç) olarak tanımlanmaktadır.

Maksimum su tutma kapasitesi (S) zemin şartlarına bağlı olarak değişmekte olup, S miktarlarının hesabı (2.11) eşitliğine göre yapılmaktadır.

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2.11)$$

Eşitlik (2.11)'de CN: yüzey akış eğri numarası olarak tanımlanmaktadır. Yapılan uygulamalardan elde edilen sonuçlar başlangıç su tutulması ile maksimum su tutma potansiyeli arasında (2.12) eşitliğinde verilen bağıntının kurulabildiğini göstermiştir.

$$I_a = 0,2 * S \quad (2.12)$$

Eşitliklerden görüldüğü üzere; SCS-CN yönteminde kilit unsur eğri numaralarının (CN) belirlenmesidir. Eğri numaraları zemin şartlarına bağlı olarak 0-100 arasında değişen tam sayılardır. Zemin şartları ise arazi örtüsü ve hidrolojik toprak gruplarının birlikte kombinasyonlarına göre belirlenmektedir. Arazi örtüsü ile kıraç (çıplak) alanlar, tarım, orman, mera/çayır alanları, su yüzeyleri, yapılaşmış alanlar gibi farklı arazi kullanım sınıfları ifade edilmektedir. Bu sınıflandırmalar neticesinde araziye kaplayan bitki örtüsü ya da yapay yüzeylere göre yüzeyde tutulan su miktarları modellenmektedir. Hidrolojik toprak grupları ise sızma potansiyeline göre aşağıda sıralanan 4 grup altında toplanmaktadır:

A grubu topraklar: Kumlu, çakıllı topraklar (drenaj kapasitesi yüksek)

B grubu topraklar: Siltli topraklar (drenaj kapasitesi orta)

C grubu topraklar: Kumlu-killi topraklar (drenaj kapasitesi düşük)

D grubu topraklar: Killi topraklar (drenaj kapasitesi çok düşük)

Böylelikle araziye kaplayan bitki örtüsünün veya yapay yüzeylerin su tutma potansiyeli ile bunların altında yatan toprağın sızma potansiyelinin birlikte kombine edildiği CN numaraları belirlenmektedir.

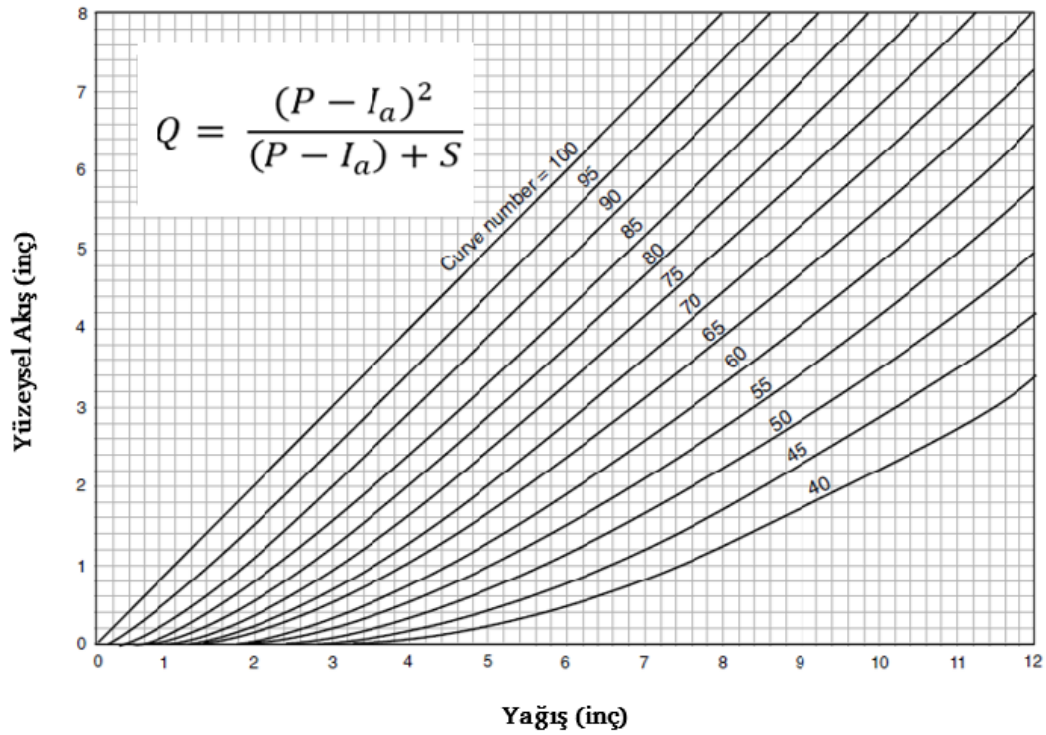
SCS-CN yönteminde arazi kullanım sınıfları ve hidrolojik toprak gruplarına göre belirlenen eğri numaraları Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7 SCS-CN yöntemine göre eğri numaralarının belirlenmesi [77]

Arazi Kullanım Sınıfları		Hidrolojik Toprak Grubu			
		A	B	C	D
Kıraç alanlar		77	86	91	94
Tarım alanları	Zayıf şartlar	72	81	88	91
	İyi şartlar	62	71	78	81
Mera, çayır alanları	Zayıf şartlar	68	79	86	89
	Orta şartlar	49	69	79	84
	İyi şartlar	39	61	74	80
Orman alanları	Zayıf şartlar	45	66	77	83
	Orta şartlar	36	60	73	79
	İyi şartlar	30	55	70	77
Yerleşim alanları	500 m ² parsel boyutu	77	85	90	92
	1000 m ² parsel boyutu	61	75	83	87
	1500 m ² parsel boyutu	57	72	81	86
Su yüzeyi ve sulak alanlar		100	100	100	100

Kıraç alanlar üzerinde bitki örtüsü olmayan çıplak alanlar olduğundan bu alanlardaki CN değerleri sadece hidrolojik toprak gruplarına göre değişmektedir. Tarım alanlarındaki CN numaraları zayıf ve iyi şartlara göre belirlenmektedir. Tarım alanlarındaki zayıf ve iyi şartlar arazi eğimi ve tarlanın sürülüş biçimine göre belirlenmektedir. Toprağı erozyona karşı koruyacak şekilde sürmek iyi şartları, erozyona karşı korunmasız şekilde sürmek zayıf şartları ifade etmektedir.

Mera, çayır ve orman alanlarındaki zayıf, orta ve iyi şartlar bu alanların bitki örtüsü ile kaplı olma oranlarına göre belirlenmektedir. Bitki örtüsünün araziyi kaplama oranı %50'den az ise zayıf şartlar, %50-%75 arasında ise orta şartlar, %75'ten fazla ise iyi şartlar geçerli olmaktadır. Yerleşim alanlarındaki şartlar ise parsel alanlarının büyüklüğüne göre belirlenmektedir. Yapılaşmanın yoğun olduğu alanlarda parsel boyutları küçülmemekte, bu da CN numarasının daha büyük seçilmesini gerektirmektedir. Yapılaşma yoğunluğu düştükçe parsellerin boyutları da artmakta, örneğin çiftlik evleri gibi büyük parsellerde inşa edilmiş yapıların yer aldığı alanlarda CN numaraları daha küçük seçilmektedir. SCS-CN yönteminde CN numaralarının büyümesi doğrudan akışa geçen yağmur suyu miktarının artmasına neden olmakta, Şekil 2.8'de görüldüğü üzere CN numaraları azaldıkça doğrudan akışa geçen yağmur suyu miktarı azalmaktadır.



Şekil 2.8 SCS-CN yönteminde eğri numaraları ile yüzeysel akışın ilişkisi [77]

2.3.5.1 Hidrolojik Toprak Gruplarının Belirlenmesi

SCS-CN yönteminde kullanılan hidrolojik toprak gruplarının belirlenmesi için büyük toprak grupları ve toprak özellikleri kombinasyonu (BTG-TOK) verileri kullanılmıştır. BTG-TOK verileri Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan

toprak haritalarında yer almakta olup, her bir toprak harita biriminde büyük toprak grubunu ifade eden bir sembol ve toprak özelliklerinin kombinasyonun ifade eden bir sayı yer almaktadır.

Toprak haritalarında yer alan büyük toprak grupları ve bunlara ait semboller Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8 Büyük toprak grupları ve sembolleri [67]

Büyük Toprak Grubu	Sembolü
Alüvyal topraklar	A
Kestanerengi topraklar	C
Çorak topraklar	Ç
Kırmızımsı kestanerengi topraklar	D
Kırmızı-kahverengi akdeniz toprakları	E
Kırmızımsı kahverengi topraklar	F
Gri-kahverengi podzolik topraklar	G
Hidromorfik alüvyal topraklar	H
Kolüvyal topraklar	K
Regosoller	L
Kahverengi orman toprakları	M
Kireçsiz kahverengi orman toprakları	N
Organik topraklar	O
Kırmızı-sarı podzolik topraklar	P

Tablo 2.8 Büyük toprak grupları ve sembolleri [67] (devamı)

Büyük Toprak Grubu	Sembolü
Rendzinalar	R
Alüvyal sahil bataklıkları	S
Kırmızı akdeniz toprakları	T
Kahverengi orman toprakları	M
Kireçsiz kahverengi orman toprakları	N
Organik topraklar	O
Kireçsiz kahverengi topraklar	U
Vertisoller	V
Bazaltik topraklar	X
Yüksek dağ çayır toprakları	Y
Sierozemler	Z

Büyük toprak grupları ve bunların toprak özellikleri kombinasyonu göre topraklar 4 grup altında toplanmakta, buna göre de hidrolojik toprak grupları belirlenmektedir. Toprak haritasında yer alan büyük toprak grubu sembolüne ve toprak özellikleri kombinasyonunun karşılığında belirtilmiş rakama bakılarak hidrolojik toprak grupları belirlenmektedir.

Hidrolojik toprak gruplarının BTG-TOK verilerine dayalı olarak belirlendiği sınıflandırma Tablo 2.9’da verilmiştir.

Tablo 2.9 BTG-TOK kombinasyonuna göre hidrolojik toprak grupları [67]

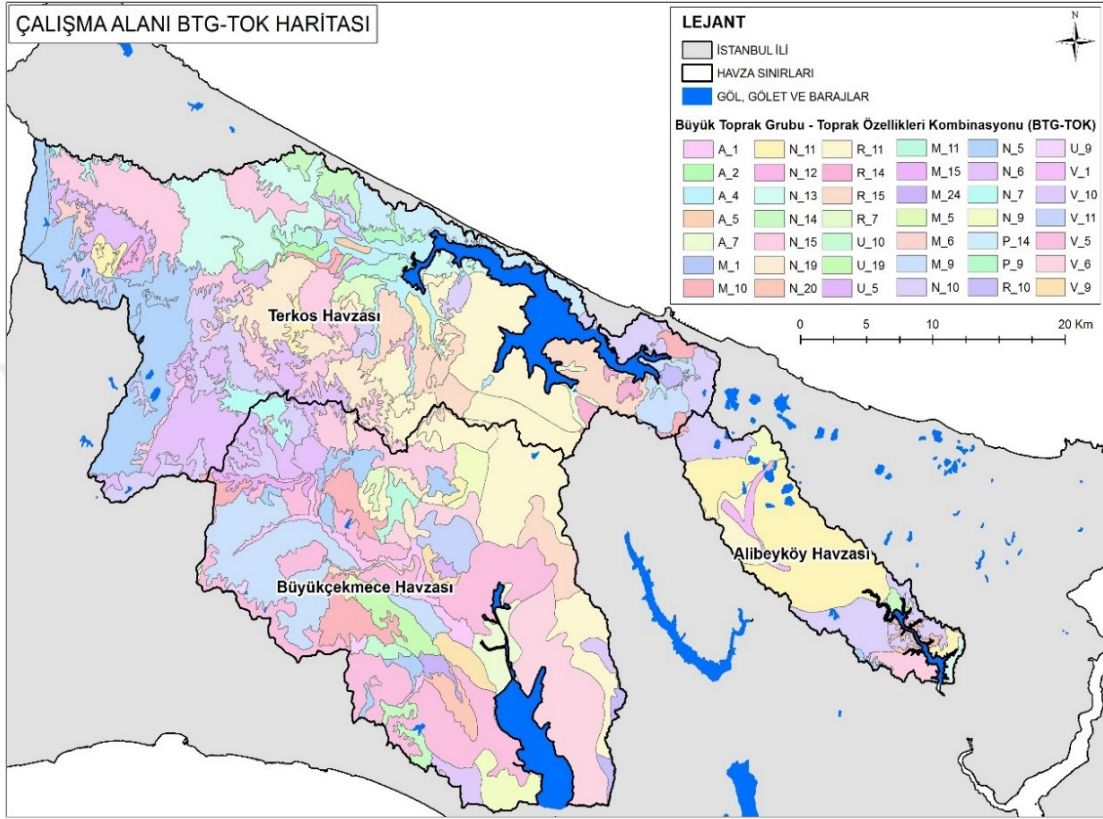
Hidrolojik Toprak Grubu	Büyük Toprak Grubu	Toprak Özellikleri Kombinasyonu
A	L	1-11, 13-15, 17-19, 21, 22
	A	3, 6, 9, 10
	E, T	1-16
B	P, G	1, 2, 5, 9, 10
	C, D, M, N	1-10
	E, T	17-24
	B, F, R, Y	1-8
	U	1, 2, 3
	L	12, 16, 20, 24
	X	1-4
	K	4-6, 13-15, 22-24
C	P, G	3, 4, 7, 8, 11-22
	C, D, M, N	11-18
	B, F	9-23
	U	4-21
	R	9-21

Tablo 2.9 BTG-TOK kombinasyonuna göre hidrolojik toprak grupları [67]
(devamı)

Hidrolojik Toprak Grubu	Büyük Toprak Grubu	Toprak Özellikleri Kombinasyonu
C	L, E, T	25
	Y	9-25
	X	5-20
	K	1-3, 10-12, 19-32
	Ç	3, 6, 9
	A	2, 5, 8
D	P, G	23-25
	C, D, M, N	19-25
	B, F	24, 25
	R, U	22-25
	V	1-25
	Z	1-4
	A	1, 4, 7
	X	21-5
	Ç	1, 2, 4, 5, 7, 8

Çalışma alanına ait toprak haritası incelendiğinde; alanda başlıca alüvyal topraklar (A), kahverengi orman toprakları (M), kireçsiz kahverengi orman toprakları (N), rendzinalar (R), kireçsiz kahverengi topraklar (U), kırmızı-sarı podzolik topraklar (P) ve vertisollerin (V) yer aldığı görülmektedir. Bunlara ait

toprak özellikleri kombinasyonları ise Harita 2.8’de görüldüğü üzere 1 ile 24 arasında değişmektedir. Çalışma alanında yer alan bu BTG-TOK kombinasyonlarına karşılık gelen hidrolojik toprak gruplarının belirlenmesinde Tablo 2.9’da verilen gruplandırma kriterleri kullanılmıştır.



Harita 2.8 Çalışma alanı büyük toprak grupları ve toprak özellikleri

2.3.5.2 Eğri Numaralarının Belirlenmesi

Arazi kullanım sınıflandırması çalışmalarında belirlenerek haritalanan kıraç alanlar, maden alanları, doğal bitki örtüsü alanları, orman alanları, su yüzeyleri, sazlık/bataklık alanlar, tarım alanları ve yapılaşmış alanlar için önceki bölümde sunulan Tablo 2.5’deki CN numaraları kullanılmıştır. SCS-CN yönteminde maden alanları için doğrudan bir CN numarası tanımlanmadığından, bu alanlarda kıraç alanlar için belirlenen CN numaraları kullanılmıştır. Sazlık/bataklık alanlar sulak alan olarak kabul edilmiş ve bunların CN numaraları 100 olarak alınmıştır. Tarım alanlarında yapılan uygulamaların erozyona karşı korumalı olmadığı kabulü yapılmış ve buna dayanarak tarım alanları için CN numaraları zayıf şartlara göre belirlenmiştir. Yapılaşmış alanlar için yapılan sınıflandırmada her bir havza için

farklı kabuller yapılmıştır. Buna göre; Alibeyköy havzasının yapılaşmış alanları diğer havzalarla karşılaştırıldığında kent merkezine daha yakın ve yüksek yoğunlukta olduğundan bu havzadaki yapılaşmış alanlar için parsel boyutu 500 m² olarak kabul edilerek en yüksek CN numaraları kullanılmıştır. Terkos havzası kent merkezine en uzak konumdaki havza olduğundan ve bu havzadaki yapılaşmış alanlar da daha seyrek bir yoğunluktadır. Bu nedenle Terkos havzasındaki yapılaşmış alanların ortalama parsel boyutu 1500 m² olarak kabul edilerek en düşük CN numaraları kullanılmıştır. Büyükçekmece havzasındaki yapılaşmanın ise bu iki havzanın arasında olduğu kabul edilerek CN numaraları 1000 m² parsel boyutuna göre seçilmiştir. Doğal bitki örtüsü alanlarına çayır ve meralar için belirtilen CN numaraları atanmıştır. Doğal bitki örtüsü alanları ve orman alanları için zayıf, orta ve iyi olarak ifade edilen şartların belirlenmesi için bu alanlardaki bitki örtüsü yoğunluklarına bakılmıştır. Bunun için ise bu alanlara ait Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) değerleri belirlenmiştir.

NDVI Değerlerinin Belirlenmesi:

Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI), uydu görüntüleri üzerinden yeşil bitki örtüsünün analizinde kullanılan bir göstergedir. Bitkiler fotosentez sürecinde enerji kaynağı olarak kullandıkları güneş radyasyonunun bir kısmını kullanmayıp kızılötesi bölgede tekrar yansıtmaktadır. Bitkilerin bu özelliğinden yararlanarak geliştirilen NDVI değeri kızılötesi bölgedeki yansıma değeri ile görünür bölgedeki kırmızı bant yansıma değeri arasındaki farkın bu iki yansıma değerinin toplamına bölünmesiyle elde edilir [78].

SCS-CN yönteminin CBS ve uzaktan algılama teknikleri ile birlikte kullanıldığı çalışmalarda, bitki örtüsü ile kaplı alanlardaki zayıf, orta ve iyi olarak tanımlanan şartların belirlenmesi için uydu görüntüleri üzerinden Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) değerleri belirlenmektedir. [67, 79].

NDVI değeri (2.13) eşitliği kullanılarak yapılmaktadır.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2.13)$$

Eşitlik (2.13)'te NIR: uydu görüntüsüne ait yakın kızılötesi bant, R: ise kırmızı bant olarak tanımlanmaktadır.

Tez çalışmasında Landsat uydu görüntülerine ait yakın kızılötesi ve kırmızı bantlar kullanılarak doğal bitki örtüsü alanları ve orman alanları için NDVI hesapları yapılmıştır. NDVI değerleri -1 ile +1 arasında değişkenlik göstermektedir. Çıplak kayalık alanlarda ya da kıraç topraklarda NDVI değerleri genellikle çok düşüktür (0,1'den daha az). Bitkilerde ise NDVI değerleri 0,1'den itibaren başlamakla birlikte, çoğunlukla 0,3 ile 0,9 arasında değişmektedir.

Çalışmada doğal bitki örtülü alanlar ve orman alanların NDVI değerlerine bakıldığında genellikle 0,2 ile 0,9 arasında değiştiği görülmüştür. Bu değişim aralığına göre NDVI değeri 0,5'ten düşük olanlar zayıf, 0,5 – 0,7 arasında olanlar orta, 0,7'den büyük olanlar ise iyi şartlardaki alanlar olarak sınıflandırılmıştır.

2.3.5.3 Başlangıç Su Tutulması Miktarlarının Belirlenmesi

SCS-CN yönteminde başlangıç su tutulması (Ia) miktarları doğrudan doğruya Tablo 2.10'da verilen CN numaralarına göre belirlenebilmektedir. Çalışmada arazi kullanım sınıfları ve hidrolojik toprak gruplarına göre belirlenen CN numaralarına karşılık gelen Ia değerleri Tablo 2.10 esas alınarak belirlenmiştir.

Tablo 2.10 Eğri numaralarına göre başlangıç su tutulması miktarları [77]

CN	Ia (mm)	CN	Ia (mm)	CN	Ia (mm)
40	76.2	60	33.9	80	12.7
41	73.1	61	32.5	81	11.9
42	70.2	62	31.1	82	11.2
43	67.3	63	29.8	83	10.4
44	64.6	64	28.6	84	9.7
45	62.1	65	27.4	85	9.0

Tablo 2.10 Eğri numaralarına göre başlangıç su tutulması miktarları [77]
(devamı)

CN	Ia (mm)	CN	Ia (mm)	CN	Ia (mm)
44	64.6	64	28.6	84	9.7
45	62.1	65	27.4	85	9.0
46	59.6	66	26.2	86	8.3
47	57.3	67	25.0	87	7.6
48	55.0	68	23.9	88	6.9
49	52.9	69	22.8	89	6.3
50	50.8	70	21.8	90	5.6
51	48.8	71	20.8	91	5.0
52	46.9	72	19.8	92	4.4
53	45.1	73	18.8	93	3.8
54	43.3	74	17.9	94	3.3
55	41.6	75	16.9	95	2.7
56	39.9	76	16.1	96	2.1
57	38.3	77	15.2	97	1.6
58	36.8	78	14.3	98	1.0
59	35.3	79	13.5		

Tablo 2.10’da görüldüğü üzere CN numaraları arttıkça Ia miktarları azalmaktadır. Önceki bölümde CN numaraları arttıkça doğrudan akışa geçen yağmur suyu

miktarının da artışı belirtilmişti. Böylelikle bunun nedeni de açıklanmış olmaktadır.

CN numaraları arttıkça yağış olayının başlangıcında yüzeyde tutulan su miktarı azalmakta, yağmur suyunun yüzeyde tutulamayan kısmı ise doğrudan yüzeysel akışa geçmektedir.

SCS-CN Yönteminin Kullanımına İlişkin Açıklama:

SCS-CN yöntemi her bir tekil yağış olayındaki veya tekil yağış fırtınasındaki yüzeysel akış miktarını modellemek için geliştirilmiştir. Diğer bir deyişle, bu yöntemde bir yağış olayı boyunca yağışın şiddetine, süresine ve zemin şartlarına bağlı olarak, yüzeye düşen yağışın ne kadarının yüzeyde tutulacağı ne kadarının ise doğrudan yüzeysel akışa geçeceği modellenmektedir. Bu nedenle bu yöntemde kullanılan yağış verileri genellikle günlük yağış verileri olmaktadır.

Tez çalışmasında kullanılan yağış verileri günlük yağışlar değil, aylık toplam yağış verileridir. Bu nedenle bu tez çalışmasında doğrudan doğruya SCS-CN yöntemine dayanarak bir yüzeysel akış modellemesi yapılmamış, bunun yerine bu yöntemle göre hesaplanmış başlangıç su tutulması (I_a) miktarları akış modellerinde bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. I_a miktarları doğrudan doğruya CN değerlerine bağlı olup, yağış şartlarına değil zemin şartlarına göre değişkenlik göstermektedir. Bir arazi parçasına ait I_a miktarı o arazinin bitki örtüsü ve toprak özelliklerine göre belirlendiğinden, arazi örtüsü veya toprak özellikleri değişmediği müddetçe, I_a değeri sabit bir su tutma potansiyelini ifade etmektedir. Bu nedenle; tez çalışması kapsamında geliştirilen arazi kullanım sınıflarına dayalı yüzeysel akış modellerinde aylık toplam yağış ve gerçek evapotranspirasyon miktarları ile birlikte SCS-CN yönteminde yer alan değişkenler içerisinde sadece başlangıç su tutulması (I_a) miktarları kullanılmıştır.

2.3.6 Çoklu Regresyon Yöntemine Dayalı Yağış ve Akış Modelleri

Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos havzaları için havza ölçeğinde oluşturulan yağış ve akış modellerinde lineer regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır.

Regresyon analizi yönteminde aralarında ilişki olduğu düşünülen iki ya da daha fazla değişken arasında matematiksel bir eşitlik kurulmakta ve bu eşitliğe

dayanarak değişkenlerden birinin değeri diğer değişkenlerin değerine bağlı olarak tahmin edilmektedir. Değeri tahmin edilen değişken bağımlı değişken olarak, bu tahminin yapılmasında kullanılan diğer değişkenler ise bağımsız değişken olarak adlandırılmaktadır. Lineer regresyon analizinde bağımsız değişkenlerin değerine bağlı olarak bağımlı değişken değerinin tahmin edilmesinde (2.14) eşitliği kullanılmaktadır.

$$y = a + b * X_1 + c * X_2 + \dots + n * X_n + e \quad (2.14)$$

Eşitlik (2.14)'te y değeri tahmin edilmek istenen bağımlı değişkeni, a regresyon sabitini, $X_1, X_2, \dots, X_n$ bağımsız değişkenlerin değerlerini, b, c, ..., n bağımsız değişkenlere atanan regresyon katsayılarını, e ise kalan hata miktarını ifade etmektedir.

Regresyon analizine dayalı olarak geliştirilen yağış ve akış modellerinde 1990-2015 yılı arasındaki 101 adet aylık zaman serisine ait eklenik veriler kullanılmıştır. Eklenik verilerden kasıt; modelde yer alan değişkenlerin her bir ayına ait değerine, kendisinden önce gelen tüm ayların değerlerinin eklenmesidir. Modelleme alışmaları için oluşturulan yağış, yüzeysel akış, ETa, Ia ve arazi kullanım sınıflarının alansal büyüklüklerini içeren 101 adet aylık zaman serisi, önceki bölümlerde gerekçesi belirtildiği üzere 16 farklı tarihte çekilmiş Landsat uydu görüntüsüne dayalı olarak belirlenmiştir. Başlangıç tarihi Mart 1990, bitiş tarihi Eylül 2015 olan bu 101 adet aylık zaman serisi içerisinden, birbirini takip eden ayların aynı grup içerisinde toplandığı hesaplama dönemleri oluşturulmuştur. Bu hesaplama dönemleri belli bir aydan başlayıp, birbirini takip ederek belli bir ayda sona eren, kesintisiz aylık zaman periyotlarıdır. Modellerde kullanılan bu hesaplama dönemleri Tablo 2.11'de verilmiştir. Tablo 2.11'e göre bir örnek vermek gerekirse, 1 nolu hesaplama dönemi Mart 1990 tarihinden başlayıp Mart 1991 tarihinde sona ermekte ve bu tarihler arasındaki kesintisiz tüm ayları içermektedir. Tablodan grldği üzere hesaplama dönemleri 10 ile 14 ay arasında değişen zaman periyotlarını kapsamaktadır. Dolayısıyla bunlar bir nevi su yılları olarak kabul edilebilir. Toplam 101 ay içeren 8 adet hesaplama dönemi oluşturulmuş olup, bunların tümü yaklaşık 8,5 yıla tekabül etmektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan bu 8 adet hesaplama dönemi regresyon analizine dayalı

yağış ve akış modellerinin başarı oranlarının ölçülmesi ve modellere ait determinasyon katsayılarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

Tablo 2.11 Aylık verilere dayalı oluşturulmuş model hesaplama dönemleri

Hesaplama Dönemi	Hesaplama Dönemi İçerisinde Yer Alan Aylık Veriler
1	Mart 1990 - Mart 1991 arası kesintisiz 13 ay
2	Mart 1993 - Mart 1994 arası kesintisiz 13 ay
3	Mart 1997 - Şubat 1998 arası kesintisiz 12 ay
4	Şubat 2000 - Mart 2001 arası kesintisiz 14 ay
5	Eylül 2002 - Ekim 2003 arası kesintisiz 14 ay
6	Mart 2007 - Nisan 2008 arası kesintisiz 14 ay
7	Kasım 2010 - Ağustos 2011 arası kesintisiz 10 ay
8	Kasım 2014 - Eylül 2015 arası kesintisiz 11 ay

2.3.6.1 Eklenik Verilere Dayalı Havza Yağış Modelleri

Bir bölgedeki yağış miktarı birçok etkene bağlıdır. Bu etkenlerin en başında iklimsel etkenler gelmektedir. Bununla birlikte arazi kullanımının ve özellikle orman alanlarının yağış üzerindeki etkileri uzun yıllardan beri tartışılan bir konu olmuştur. Bazı araştırmacılar orman alanlarının yağış miktarını artırdığını savunurken, bazı araştırmacılar ise orman alanlarının havza su kayıplarında artışa yol açtığını savunmaktadır.

1880’li yıllara kadar ormansızlaşmanın yağış miktarını azalttığı güçlü bir şekilde savunulmuş, yirminci yüzyılın başlarında bu görüş değişerek orman alanlarının yağışta önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiş, daha sonra 1980’li yıllarda yeni gelişmelerle birlikte bu konu tekrardan gündeme gelmiş ve araştırmacılar yeni

veriler ve teorilerin ışığında orman alanı ile yağış oluşumu arasında bir ilişki olduğu görüşünü güçlü bir şekilde savunmaya başlamışlardır [80].

Ormanların atmosferik nem ve yağış üzerinde büyük rol oynadığı belirtilmekte ve orman alanlarında meydana gelen evapotranspirasyonun atmosferik nemi artırmak suretiyle yerel ve bölgesel ölçekte meydana gelen yağış miktarına katkıda bulunduğu belirtilmektedir. Bu katkının ise orman alanlarında meydana gelen yüksek düzeydeki evapotranspirasyona bağlı olarak artan nemin atmosferin üst kısımlarına doğru hareket ederek yağışları tetiklemesi şeklinde olduğu ifade edilmektedir [81].

Kanada'da yapılmış bir çalışmada ormanların geniş bölgelere ve hatta yerel alanlara düşen toplam yağış miktarı üzerinde %5 gibi düşük bir düzeyde de olsa etkili olduğu belirtilmiştir [82].

Bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda yine benzer şekilde orman alanlarının yağış oluşumu üzerinde düşük derecede de olsa etkili olduğu ve ormanların orografik ve yoğunlaştırıcı etkilerinden dolayı bulundukları bölgelerdeki yağış miktarını %10 düzeylerine kadar artırabildikleri belirtilmiştir [83].

Amazon havzasındaki ormansızlaşma senaryolarının etkilerinin tahmin edildiği bir çalışmada ise ormansızlaştırılan alanlardaki kurak mevsim yağışlarının %20 düzeylerine kadar düşüş gösterebileceği belirtilmiştir [84].

Yine orman alanları ile yağış rejimi arasındaki ilişkini araştırıldığı bir çalışmada; orman alanlarının daha yüksek bir atmosfer nemine yol açığının önceki birçok çalışmada ortaya konduğu belirtilmiş ve buna ilave olarak yüksek rakımlardaki orman alanlarının, okyanuslardan buharlaşan nemi çekerek bir alandaki yağışı teorik olarak artırabileceği belirtilmiştir [85].

Orman alanları ile yağış arasında ilişkinin araştırıldığı farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, genel olarak ormanlık alanlardaki yüksek nem oranının etkisiyle bu bölgelerdeki yağış miktarlarında düşük de olsa bir artışın meydana gelebileceği öngörülmektedir. Ormanlık alanların bulunduğu bölgelerdeki bu atmosferik nem artışı ise orman alanlarında meydana gelen yüksek evapotranspirasyon kayıplarından dolayı meydana gelmektedir. Öte

yandan tez çalışmasında kullanılan meteoroloji ölçüm istasyonlarının yağış verileri karşılaştırıldığında, ormanlık alanların yoğun olduğu Bahçeköy ve Çatalca-Radar istasyonlarında yıllık ortalama yağış miktarlarının 1130 mm ve 907 mm olduğu, Kumköy istasyonunda 822 mm, Florya istasyonunda 646 mm, Çorlu istasyonunda ise 596 mm olduğu görülmüştür. İstasyonların bulundukları coğrafi konum, denizden uzaklık ve yükseklik gibi etkenlerin yağış miktarları üzerinde etkili olduğu bilindiğinden, yağış miktarlarını sadece orman alanı varlığına bağlamak şüphesiz ki doğru değildir. Ancak yukarıda yer verilen bazı literatür örneklerinde belirtildiği gibi, olsa olsa orman varlığının yağış oluşumu üzerinde düşük bir etkisinin olabileceğinden bahsedilebilir.

Tüm bu değerlendirmelere dayanarak, tez çalışması kapsamında, orman alanlarının bulundukları bölgedeki yağış miktarı üzerinde düşük de olsa pozitif bir etkisinin olduğu kabul edilmiştir. Bu kabule dayanarak, havza alanlarındaki yağış miktarları ile arazi kullanım sınıfları arasında bir ilişki kurmak amacıyla geliştirilen yağış modellerinde sadece orman alanı varlığına yer verilmiş, diğer arazi kullanım sınıfları yağış modelleri içerisinde yer almamıştır. Bu yaklaşım çerçevesinde oluşturulan yağış modellerinde ise orman alanlarının yağış miktarları üzerindeki uzun vadeli etkilerinin ortaya konmasına çalışılmıştır. Lineer regresyon analizine dayanarak oluşturulan yağış modellerinde havza ölçeğindeki aylık orman alanları miktarlarının eklenik toplamı bağımsız değişken, havza ölçeğindeki aylık toplam yağış miktarlarının eklenik toplamı ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Eklenik toplamlardan kastedilen, her bir aya ait orman alanı ve toplam yağış miktarının üzerine kendisinden önce gelen aylara ait miktarların da eklenerek modellemeye girmesidir. Örnek vermek gerekirse modellemede başlangıç tarihi olarak alınan Mart 1990 ayı için sadece bu aya ait orman alanı ve yağış miktarı kullanılırken, bu ayı takip eden Nisan 1990 ayına ait orman alanı ve yağış miktarı üzerine Mart 1990 ayının orman alanı ve yağış miktarı eklenmekte, devam eden Mayıs 1990 ayına ait orman alanı ve yağış miktarı üzerine ise hem Mart 1990, hem de Nisan 1990 ayına ait orman alanı ve yağış miktarı eklenmektedir. Devam eden tüm aylık periyotlar için aynı ekleme işlemi devam ettirilerek, modellemede kullanılan aylık zaman serilerinin bitiş tarihi olan Eylül 2015 ayına ait orman alanı ve yağış miktarları üzerine

kendisinden önce gelen tüm aylık periyotlardaki miktarlar eklenmiş olmaktadır. Böylelikle, yağış modellerinde aylık verilerin eklenik toplamalarının kullanılmasıyla orman alanlarının yağış miktarları üzerindeki uzun vadeli etkilerinin ortaya konmasına çalışılmıştır. Eklenik verilere dayalı olarak oluşturulan yağış modellerinde kullanılan lineer regresyon denklemi (2.15) eşitliğinde verilmiştir.

$$Y = a + bX \quad (2.15)$$

Eşitlik (2.15)'te Y: havza alanı bütününde eklenik aylık toplam yağış miktarını (m^3/ay), X: havza alanındaki eklenik aylık orman alanı miktarını (km^2), a: regresyon sabitini, b: regresyon katsayısını ifade etmektedir.

Yağış modellerinin başarı oranları, modelleme çalışmaları için aylık zaman serilerine dayalı olarak oluşturulan hesaplama dönemleri baz alınarak ölçülmüştür. Yukarıda da belirtildiği üzere aylık zaman serilerine göre 8 adet hesaplama dönemi oluşturulduğundan, her bir hesaplama dönemi sonunda modelden elde edilen eklenik yağış miktarları ile ölçüm sonuçlarına dayalı eklenik yağış miktarları arasındaki determinasyon (R^2) katsayıları hesaplanarak modellerin tahmin gücü ortaya konmuştur.

2.3.6.2 Eklenik Verilere Dayalı Havza Akış Modelleri

Çoklu lineer regresyon analizine dayanarak oluşturulan akış modellerinde DSİ-AGİ istasyonlarına ait aylık yüzeysel akış ölçümlerinin eklenik toplamaları bağımsız değişken, DSİ-AGİ istasyonlarının su toplama alanlarındaki aylık toplam yağış, ETa ve Ia miktarlarının eklenik toplamaları ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Yağış modellerinde olduğu gibi akış modellerinde de eklenik toplamalar her bir ay üzerine kendisinden önce gelen tüm ayların verileri eklenerek elde edilmiştir. Eklenik verilere dayalı olarak oluşturulan akış modellerinde kullanılan lineer regresyon denklemi (2.16) eşitliğinde verilmiştir.

$$A = a + bX + cY \quad (2.16)$$

Eşitlik (2.16)'da A: DSİ-AGİ istasyonu eklenik aylık akış miktarını (mm), X: DSİ-AGİ su toplama alanı aylık eklenik yağış miktarları ile aylık eklenik gerçek evapotranspirasyon (ETa) miktarları arasındaki farkı (mm), Y: DSİ-AGİ su

toplama alanı aylık eklenik toplam başlangıç su tutulması (I_a) miktarını (mm), a : regresyon sabitini, b ve c : regresyon katsayılarını ifade etmektedir.

Eşitlik (2.16)'da görüldüğü üzere; akış modellerinde 2 adet bağımsız değişken yer almaktadır. Bunların ilki yağış miktarlarından ETa miktarları çıkarılarak elde edilen bağımsız değişkendir. Böylelikle yüzeysel akış hesapları yapılırken akış miktarı üzerindeki yağış miktarlarının pozitif, ETa miktarlarının ise negatif etkisi modelde doğrudan yer almış olmaktadır. Modele ikinci bağımsız değişken olarak giren I_a miktarlarının akış üzerindeki etkisi regresyon katsayılarına göre belirlenmektedir.

Akış modellerinde arazi kullanım sınıflarının yüzeysel akış miktarı üzerindeki etkisi model bağımsız değişkenleri olan ETa ve I_a miktarlarının hesaplanması aşamasında kendini göstermektedir. Akış modellerinde kullanılan ETa ve I_a miktarları, akış ölçümlerinin yapıldığı DSİ-AGİ ölçüm istasyonlarının su toplama alanı bütününe ait ETa ve I_a miktarları olup, bunlar eşitlik (2.17) ve (2.18) de belirtildiği şekilde, AGİ su toplama alanı içerisindeki her bir arazi kullanım sınıfına ait ETa ve I_a miktarlarının alansal ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Böylelikle arazi kullanım sınıflarının yüzeysel akış üzerindeki etkileri akış modellerine yansıtılmış olmaktadır.

$$ETa = \frac{ETa_1 * A_1 + ETa_2 * A_2 + \dots + ETa_8 * A_8}{A_T} \quad (2.17)$$

Eşitlik (2.17)'de ET_a : su toplama havzası aylık gerçek evapotranspirasyon miktarı (mm), $ET_{a1,2,...,8}$: su toplama havzası içindeki farklı arazi kullanım sınıflarına ait aylık gerçek evapotranspirasyon miktarları (mm), $A_{1,2,...,8}$: farklı arazi kullanım sınıflarının her birinin alanı (m^2), A_T : su toplama havzasının toplam alanıdır (m^2).

$$I_a = \frac{Ia_1 * A_1 + Ia_2 * A_2 + \dots + Ia_8 * A_8}{A_T} \quad (2.18)$$

Eşitlik (2.18)'de I_a : su toplama havzası başlangıç su tutulması miktarı (mm), $I_{a1,2,...,8}$: su toplama havzası içindeki farklı arazi kullanım sınıflarına ait başlangıç su tutulması miktarları (mm), $A_{1,2,...,8}$: farklı arazi kullanım sınıflarının her birinin alanı (m^2), A_T : su toplama havzasının toplam alanını (m^2) ifade etmektedir.

Akış modellerinde aylık eklenik toplamlar kullanılmak suretiyle yapılan hesaplamalar, belli bir aydaki toplam akış miktarının oluşmasında daha önceki aylarda meydana gelen yağış, evapotranspirasyon ve sızma miktarlarının dolaylı olarak bir etkisinin olabileceği kabulüne dayanmaktadır. Önceki dönemlerde evapotranspirasyon kaybına uğramadan zemine sızan fazla su, devam eden dönemlerde dolaylı akış vasıtasıyla yüzeysel akışa katkıda bulunabilmektedir. Dolaylı akışın yüzeysel akış üzerindeki bu olası etkilerini hesaplamalara yansıtmak amacıyla yüzeysel akış modellerinde aylık verilerin eklenik toplamı kullanılmıştır. Böylelikle birbirini izleyen çoklu ayların eklenik verilerine göre yapılan akış modellemesinde bir yandan dolaylı akışın etkisi hesaba katılırken, diğer yandan çok sayıdaki hesaplama dönemi için uzun vadeli tahminler de yapılabilmektedir. Yağış modellerinde olduğu gibi akış modellerinin de başarı oranları, modelleme çalışmaları için aylık zaman serilerine dayalı olarak oluşturulan hesaplama dönemleri baz alınarak ölçülmüştür. Aylık zaman serilerine göre 8 adet hesaplama dönemi oluşturulduğundan, her bir hesaplama dönemi sonunda modelden elde edilen eklenik akış miktarları ile ölçüm sonuçlarına dayalı eklenik akış miktarları arasındaki determinasyon (R^2) katsayıları hesaplanarak modellerin tahmin gücü ortaya konmuştur.

2.3.7 Risk Analizlerinin Yapılması

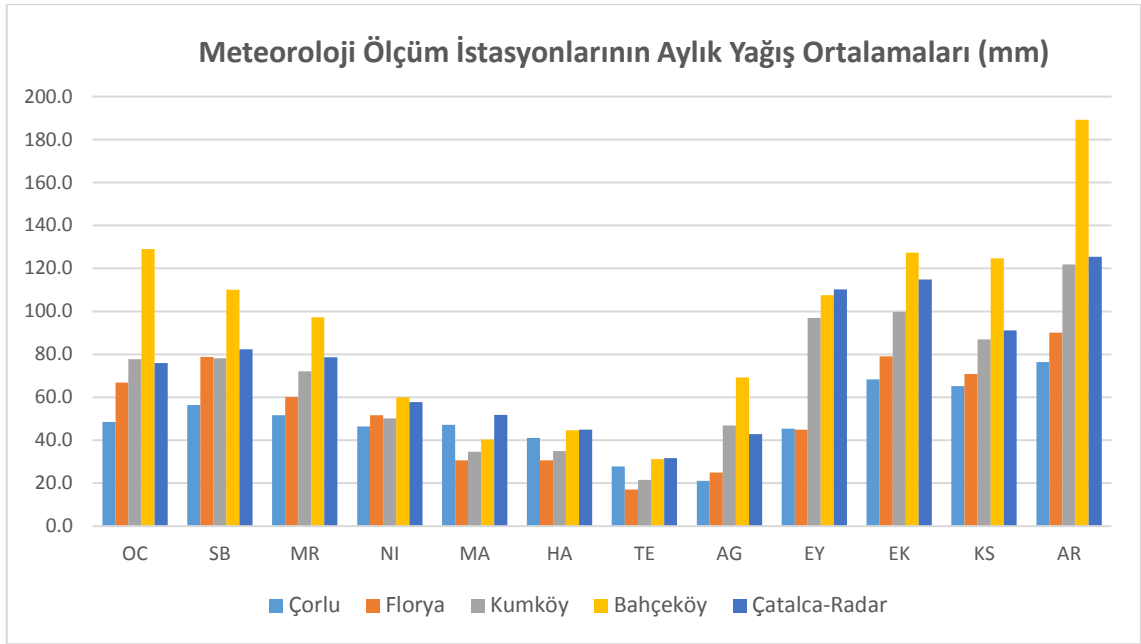
Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzaları için ayrı ayrı geliştirilen yağış ve akış modellerinden elde edilen regresyon sabitleri ve katsayıları kullanılarak, excel yazılımında birbirine bağlı ve formüllü hesaplama sayfaları oluşturulmuş, böylelikle otomatik hesaplama yapılabilen dinamik yağış ve akış modelleri elde edilmiştir. Dinamik hale getirilen bu modellere dayanarak, arazi kullanımındaki farklı değişim senaryolarına göre havzalarda uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarlarına ilişkin risk analizi ve değerlendirmeler yapılmıştır.

3.1 Havza Alanları Aylık Yağış Miktarları

Çalışma alanı içerisinde ve yakın çevresinde yer alan Çorlu, Florya, Kumköy, Bahçeköy ve Çatalca-Radar meteoroloji ölçüm istasyonlarına ait 1990-2015 yılları arası aylık ve yıllık ortalama toplam yağış miktarları Tablo 3.1’de verilmiştir. İstasyonların ortalama yağış miktarları karşılaştırıldığında, Bahçeköy istasyonunun yıllık 1131 mm ortalama yağış miktarı ile açık ara en fazla yağış alan istasyon olduğu görülmektedir. Bahçeköy istasyonunu yıllık ortalama 907 mm yağış miktarı ile Çatalca-Radar istasyonu takip etmektedir. Kumköy istasyonundaki yıllık ortalama yağış miktarı 822 mm olarak hesaplanmıştır. Kumköy istasyonu Bahçeköy istasyonuna nispeten yakın bir konumdadır. Bu iki istasyon arasındaki yağış miktarlarına bakıldığında yıllık ortalama 300 mm gibi büyük bir fark olduğu görülmektedir. İki istasyon arasındaki yükseklik farkına bakıldığında Bahçeköy istasyonunun 130 metre, Kumköy istasyonunun ise 38 metre yükseklikte olduğu görülmektedir. Dolayısıyla iki istasyon arasındaki yağış farkının yükselti farkının yanı sıra, Kumköy istasyonunun denize yakın olması, Bahçeköy istasyonunun ise ormanlık alanlarla çevrili olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer istasyonlara bakıldığında ise Florya istasyonunun yıllık yağış ortalamasının 650 mm, Çorlu istasyonunun ise 600 mm olduğu görülmektedir. Bu iki istasyonun yağış miktarları diğer istasyonlara göre düşük kalmaktadır. Meteoroloji istasyonlarının aylık ortalama yağışlarının görsel olarak karşılaştırması Şekil 3.1’de yer almaktadır. Yılın tüm aylarında bakıldığında Bahçeköy istasyonunun çoğunlukla en yüksek yağış ortalamasına sahip olduğu görülmektedir. En düşük aylık ortalamalar ise genellikle Çorlu ve Florya istasyonlarına aittir.

Tablo 3.1 Meteoroloji ölçüm istasyonları ortalama yağış miktarları

Yağış Dönemi	Ortalama Toplam Yağış Miktarları (mm)				
	Çorlu	Florya	Kumköy	Bahçeköy	Çatalca-Radar
Ocak	48.5	66.8	77.8	129.0	75.9
Şubat	56.4	78.8	78.1	110.1	82.3
Mart	51.6	60.1	72.0	97.3	78.6
Nisan	46.5	51.6	50.2	60.0	57.8
Mayıs	47.2	30.7	34.7	40.3	51.8
Haziran	41.1	30.7	35.0	44.7	44.9
Temmuz	27.8	17.1	21.5	31.2	31.7
Ağustos	21.1	25.0	46.9	69.3	42.9
Eylül	45.4	44.9	97.0	107.6	110.2
Ekim	68.4	79.0	99.8	127.4	114.8
Kasım	65.2	70.9	86.9	124.7	91.2
Aralık	76.4	90.1	121.8	189.2	125.4
Yıllık	595.6	645.6	821.7	1130.9	907.5



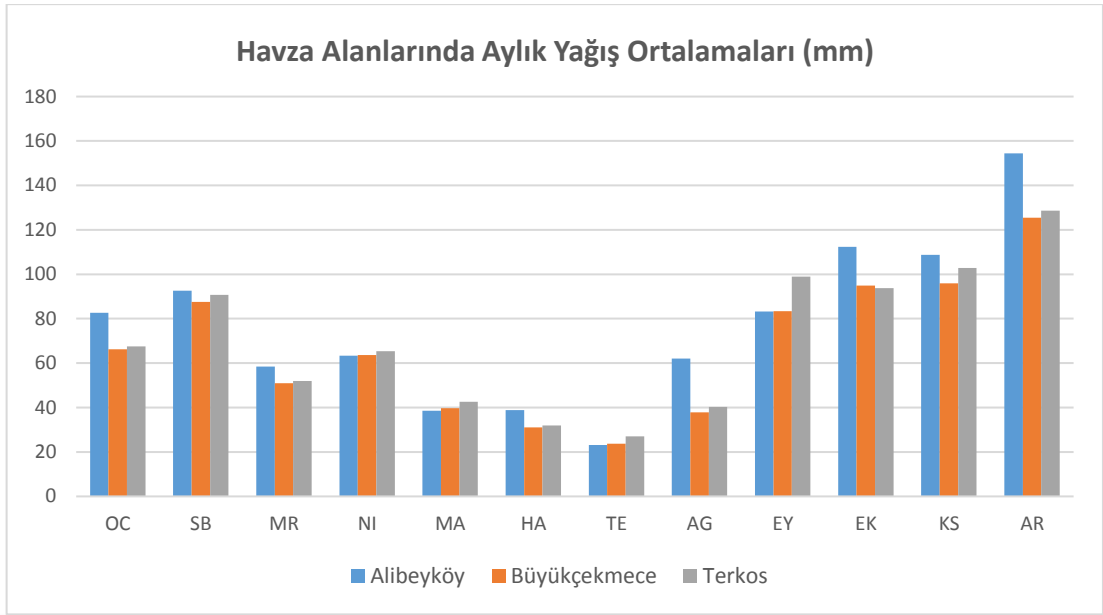
Şekil 3.1 Meteoroloji ölçüm istasyonlarının aylık yağış ortalamaları

Meteoroloji ölçüm istasyonlarına ait noktasal ölçüm verilerinin IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak alansal yağış verileri haline getirilmesi neticesinde havza alanları için 1990-2015 yılları arası aylık toplam yağış haritaları elde edilmiştir. Bu haritalardan elde edilen aylık toplam yağış miktarları kullanılarak Tablo 3.2’de verilen havza alanlarındaki ortalama aylık ve yıllık yağış miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 3.2’de görüldüğü üzere yıllık ortalama yağış miktarının en fazla olduğu havza 918 mm ile Alibeyköy havzasıdır. Terkos havzası yıllık ortalama 842 mm ile ikinci sırada gelmektedir. Büyükçekmece havzası ise 801 mm ile üçüncü sırada gelmiştir. Alibeyköy havzasının diğer havzalara göre daha fazla yağış almasının nedeni Bahçeköy istasyonuna olan yakınlığıdır. Terkos havzasındaki yağış miktarları ise daha çok Çatalca-Radar istasyonu yağış miktarlarından etkilenmektedir. Aylık yağış miktarlarına bakıldığında özellikle kış aylarında en yüksek yağışların Alibeyköy havzasında olduğu görülmektedir. Terkos ve Büyükçekmece havzalarındaki aylık ortalama yağış miktarları çoğu aylarda Alibeyköy havzasına göre düşük kalmakla beraber birbirine yakın çıkmıştır. Havza alanlarında aylık ortalama yağışların grafiksel gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir.

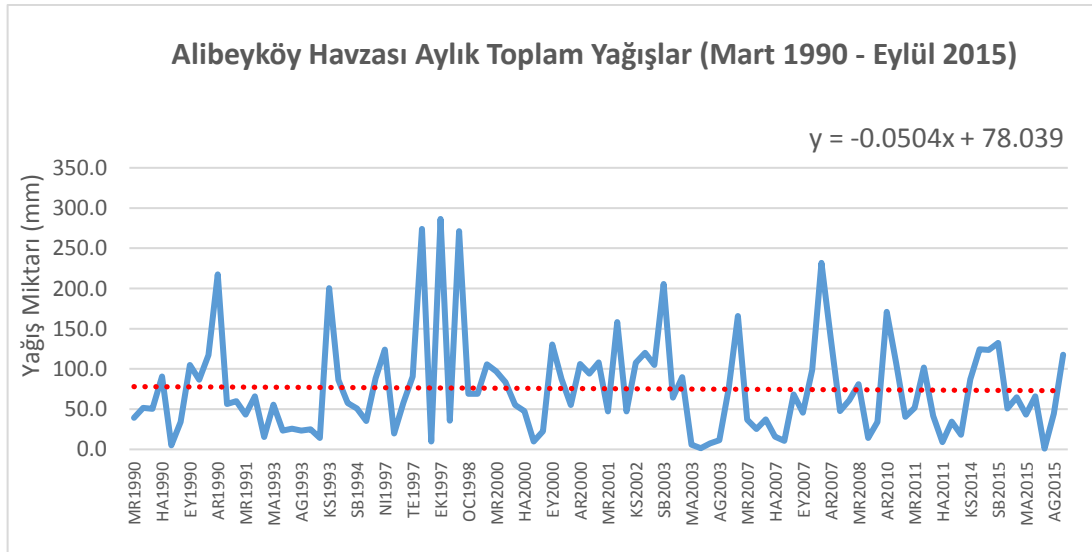
Tablo 3.2 Havza alanlarında ortalama yağış miktarları

Yağış Dönemi	Ortalama Toplam Yağış (mm)		
	Alibeyköy	Büyükçekmece	Terkos
Ocak	82.7	66.2	67.6
Şubat	92.6	87.6	90.8
Mart	58.4	50.9	52.0
Nisan	63.3	63.7	65.4
Mayıs	38.5	39.7	42.6
Haziran	38.9	31.1	32.0
Temmuz	23.1	23.7	27.0
Ağustos	62.0	37.8	40.3
Eylül	83.3	83.4	99.0
Ekim	112.4	94.9	93.8
Kasım	108.7	95.9	102.9
Aralık	154.4	125.5	128.6
Yıllık	918.2	800.5	841.9



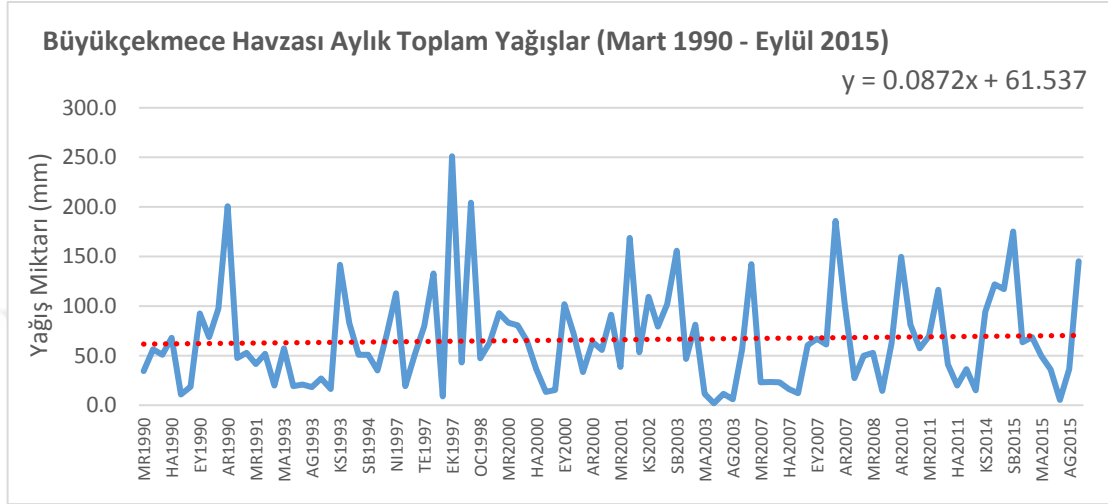
Şekil 3.2 Havza alanlarında aylık yağış ortalamaları

Havza alanlarındaki 1990-2015 yılları arasındaki yağış miktarlarındaki değişimler ise aşağıda yer alan grafiklerde verilmiştir. Şekil 3.3'te Alibeyköy havzasındaki uzun yıllara dayalı aylık toplam yağış miktarı değişim grafiği yer almaktadır. Şekil incelendiğinde grafiğe ait eğilim çizgisinin çalışma periyodu göz önüne alındığında negatif bir değere sahip olduğu görülmekte, bu da Alibeyköy havzası aylık yağış miktarlarında düşük de olsa bir azalma eğilimi olduğunu göstermektedir.



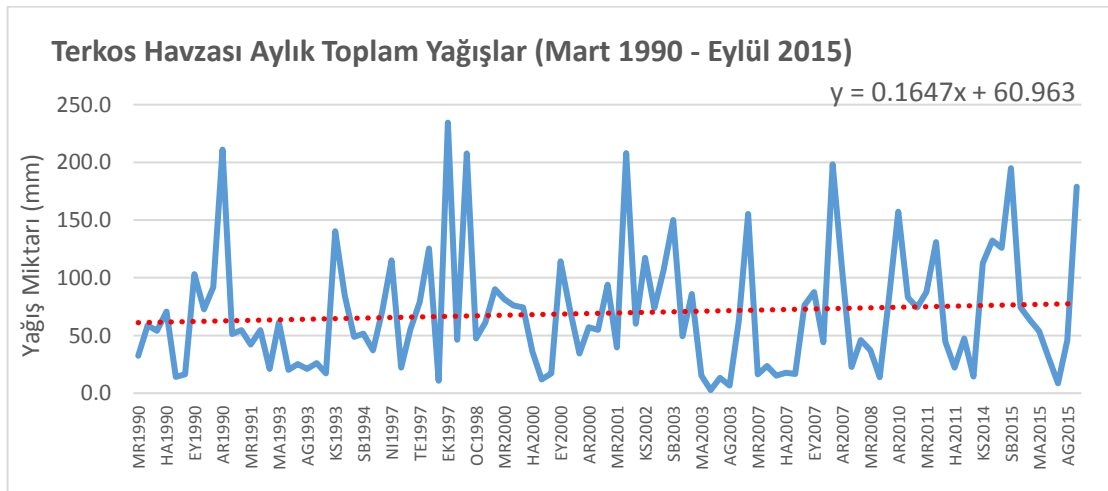
Şekil 3.3 Alibeyköy havzası aylık toplam yağış miktarları değişimi

Şekil 3.4'te Büyükçekmece havzasındaki uzun yıllara dayalı aylık toplam yağış miktarı değişim grafiği yer almaktadır. Şekil incelendiğinde grafiğe ait eğilim çizgisinin çalışma periyodu göz önüne alındığında pozitif bir değere sahip olduğu görülmekte, bu da Büyükçekmece havzası aylık yağış miktarlarında düşük de olsa bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.4 Büyükçekmece havzası aylık toplam yağış miktarları değişimi

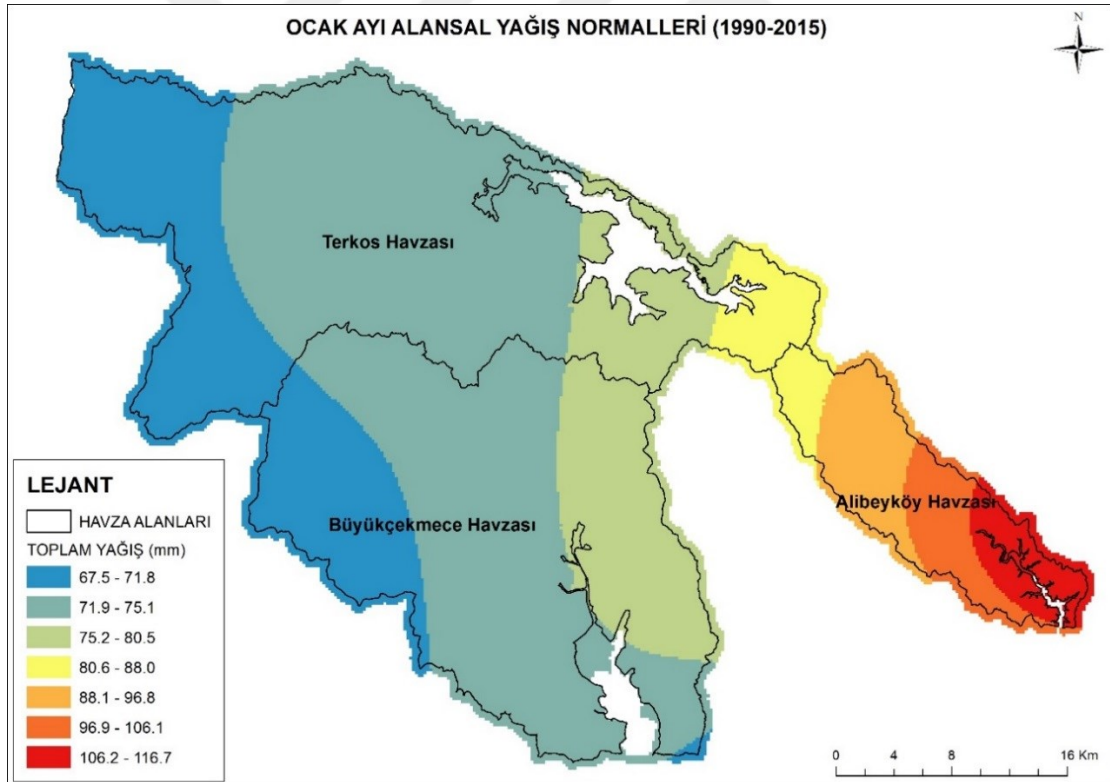
Şekil 3.5'te Terkos havzasındaki uzun yıllara dayalı aylık toplam yağış miktarı değişim grafiği yer almaktadır. Şekil incelendiğinde grafiğe ait eğilim çizgisinin çalışma periyodu göz önüne alındığında pozitif bir değere sahip olduğu görülmekte, bu da Terkos havzasındaki aylık yağış miktarlarında belirgin bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir.



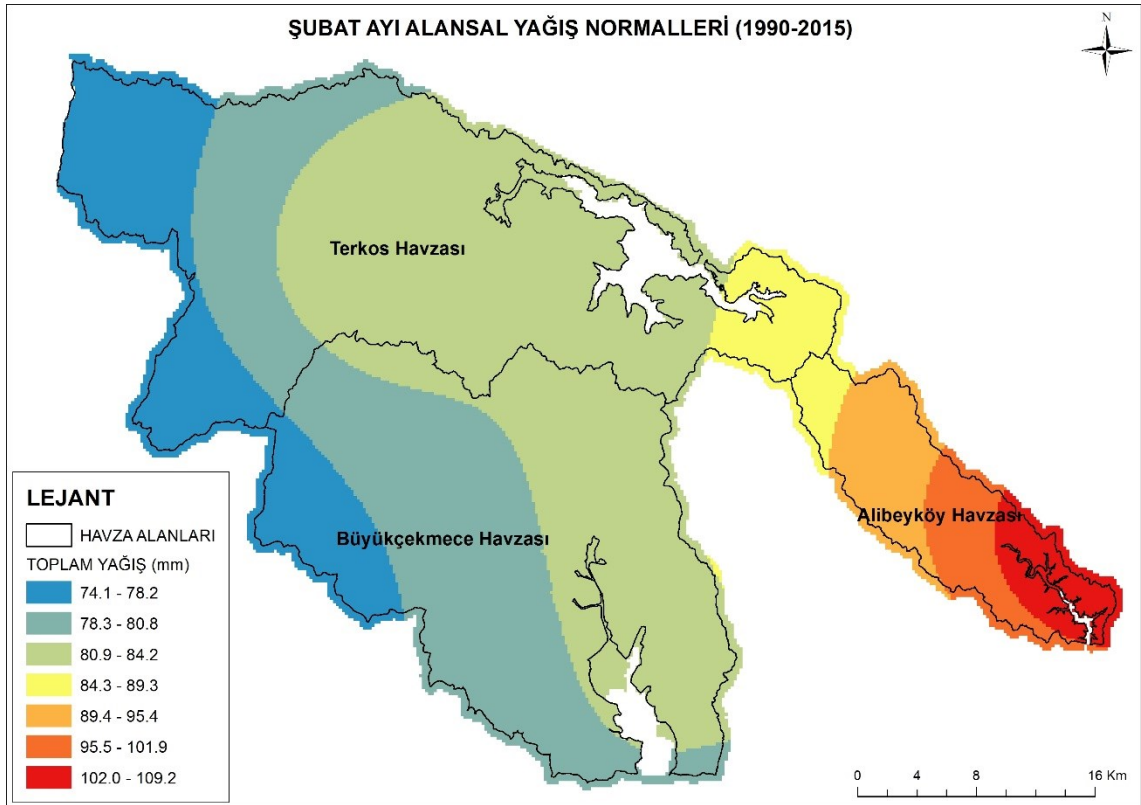
Şekil 3.5 Terkos havzası aylık toplam yağış miktarları değişimi

Yapılan bu değerlendirmelere göre; havzaların çalışma periyodu içerisindeki aylık toplam yağış miktarı değişimleri birbirleriyle karşılaştırıldığında Alibeyköy havzası yağış miktarlarında bir azalma eğilimi görülürken, Büyükçekmece ve Terkos havzaları yağış miktarlarında bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Büyükçekmece ve Terkos havzalarındaki yağışlarda görülen artış eğilimlerine bakıldığında ise Terkos havzasındaki artış eğiliminin Büyükçekmece havzasına göre daha yüksek bir oranda olduğu görülmektedir.

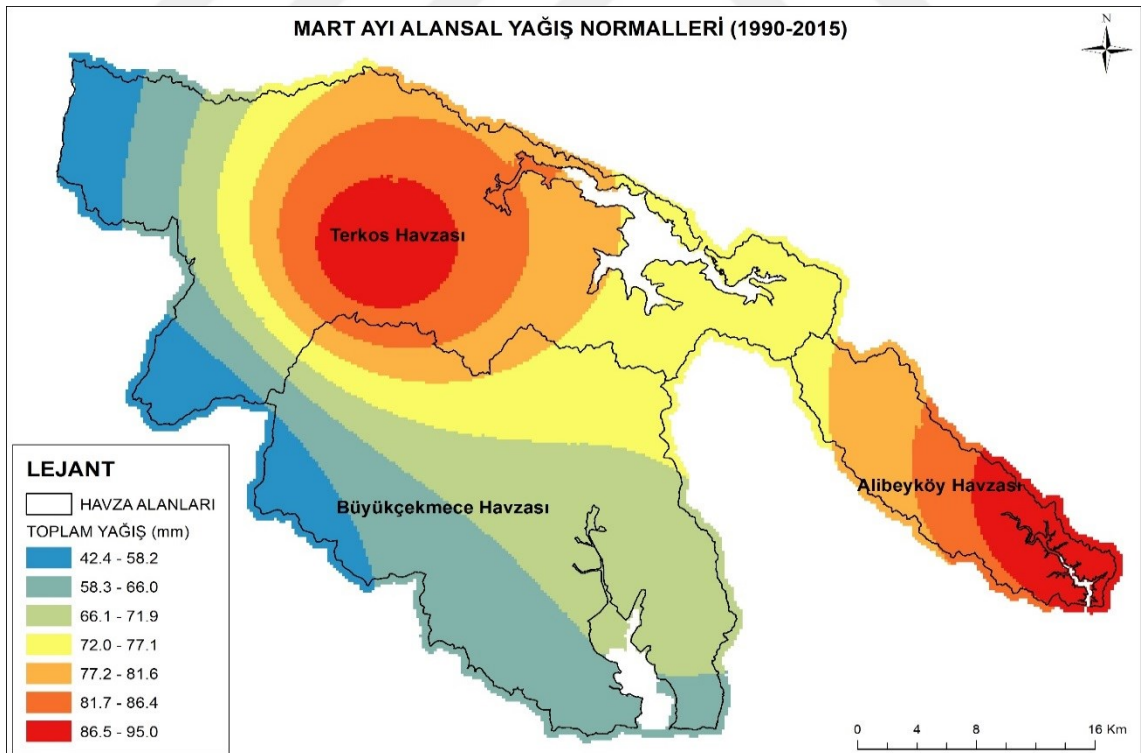
Çalışma periyodu olarak belirlenen 1990-2015 yılları arasındaki tüm aylar için oluşturulan aylık yağış haritalarının tümüne burada yer vermek mümkün olmadığından, 1990-2015 yılları arası ortalamalar alınarak havza alanları için aylık ve yıllık ortalama yağış haritaları oluşturulmuştur. Havza alanlarındaki aylık ve yıllık ortalama alansal yağış dağılım haritaları aşağıda yer almaktadır (Harita 3.1 – Harita 3.13).



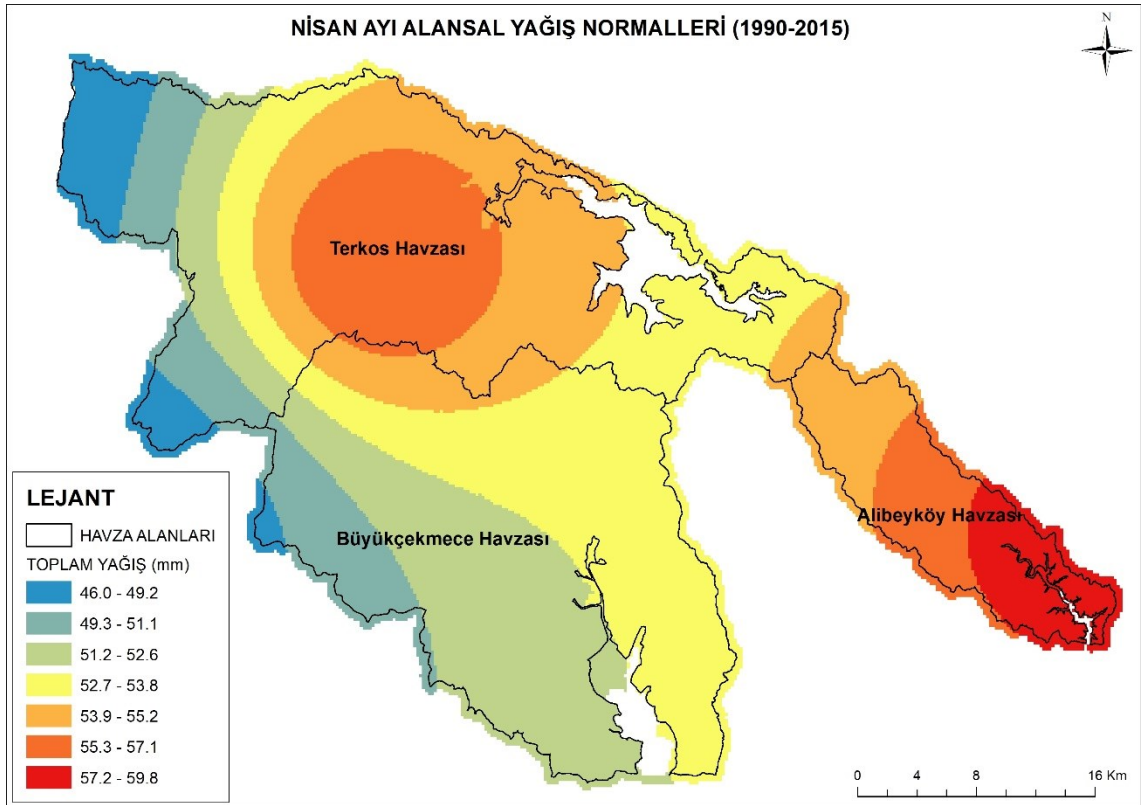
Harita 3.1 Ocak ayı alansal yağış normalleri



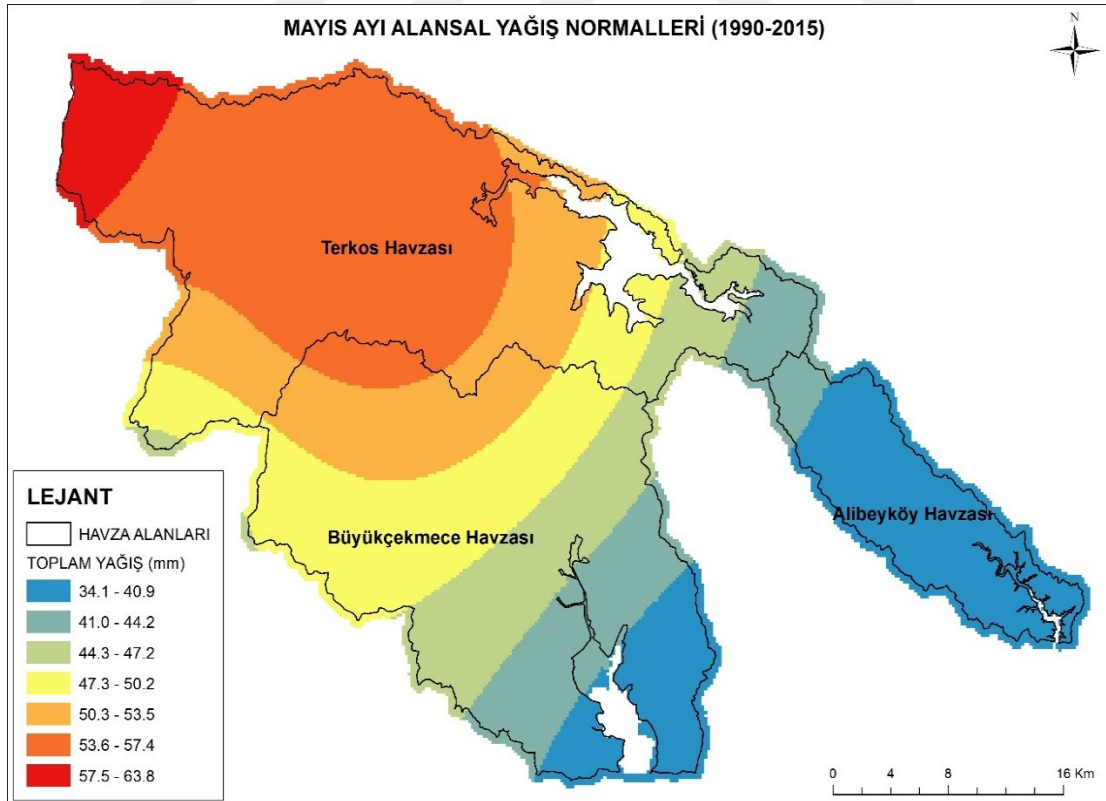
Harita 3.2 Şubat ayı alansal yağış normalleri



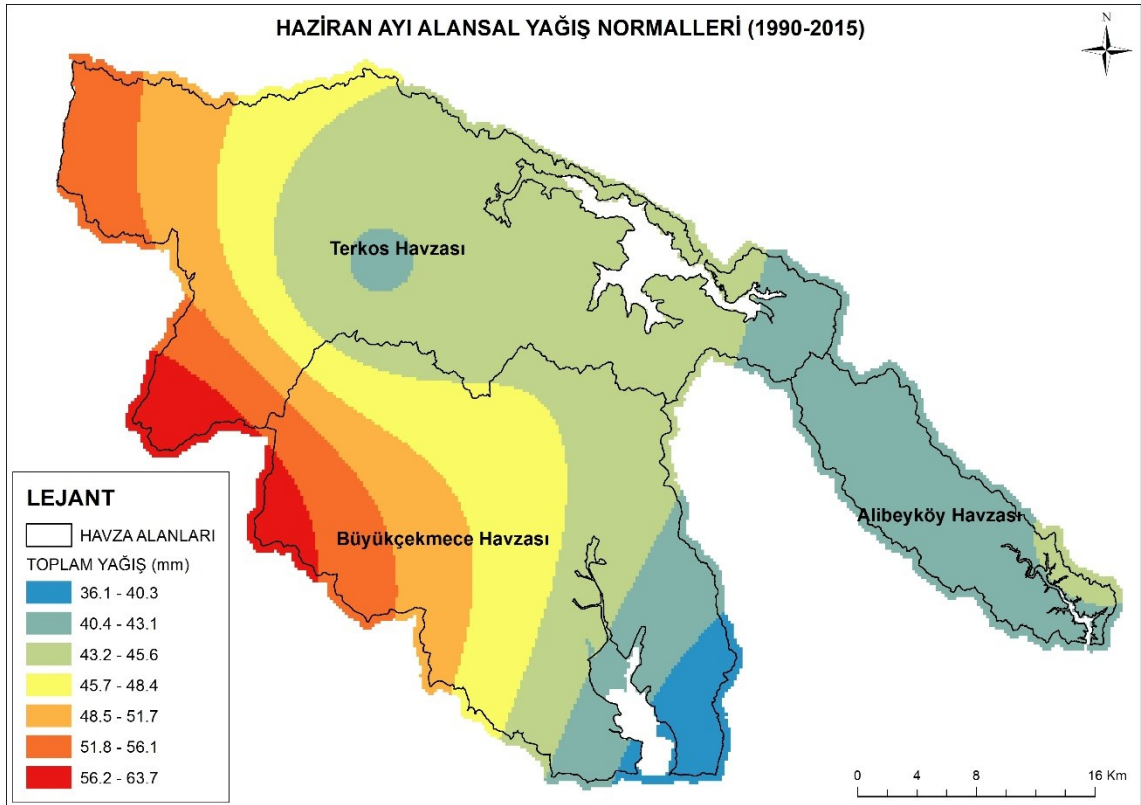
Harita 3.3 Mart ayı alansal yağış normalleri



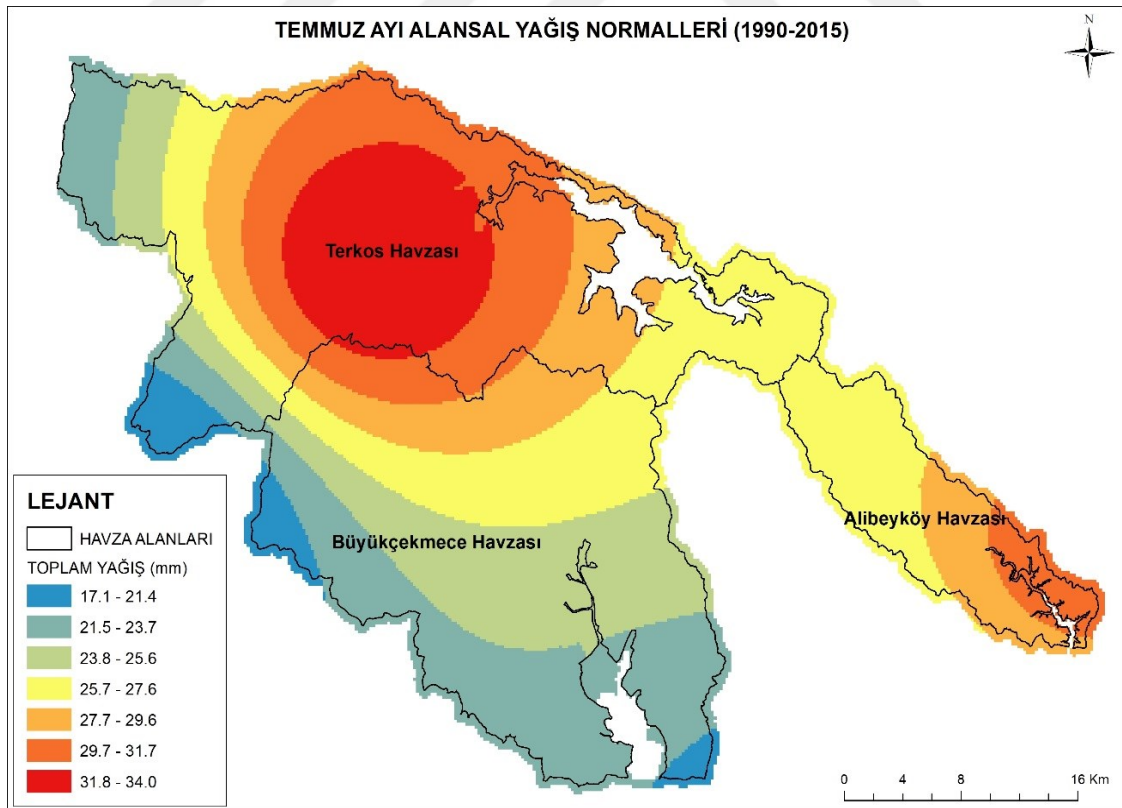
Harita 3.4 Nisan ayı alansal yağış normalleri



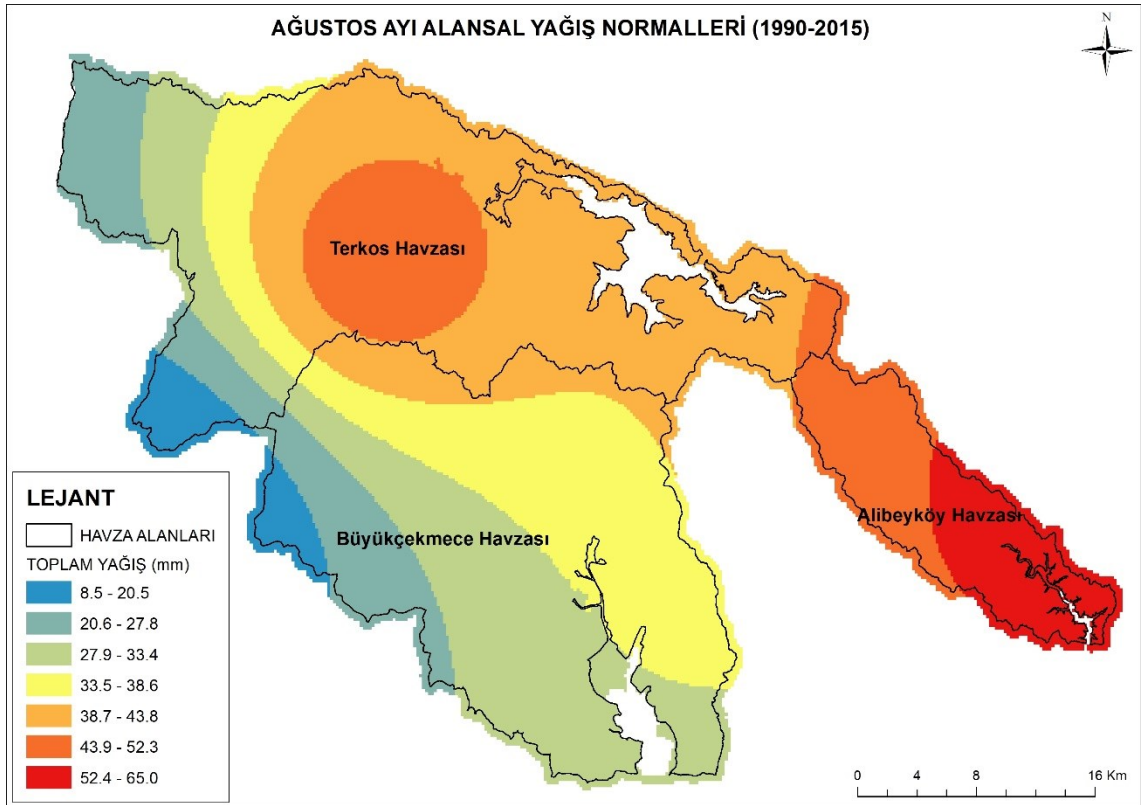
Harita 3.5 Mayıs ayı alansal yağış normalleri



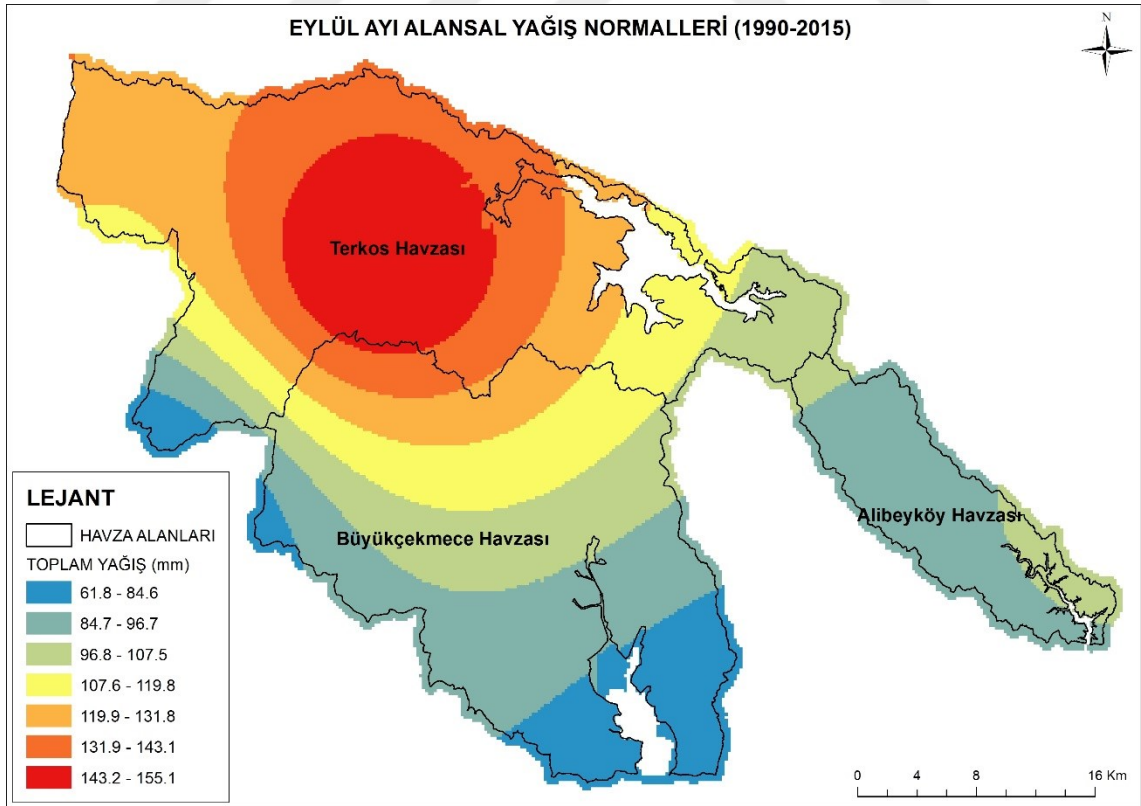
Harita 3.6 Haziran ayı alansal yağış normalleri



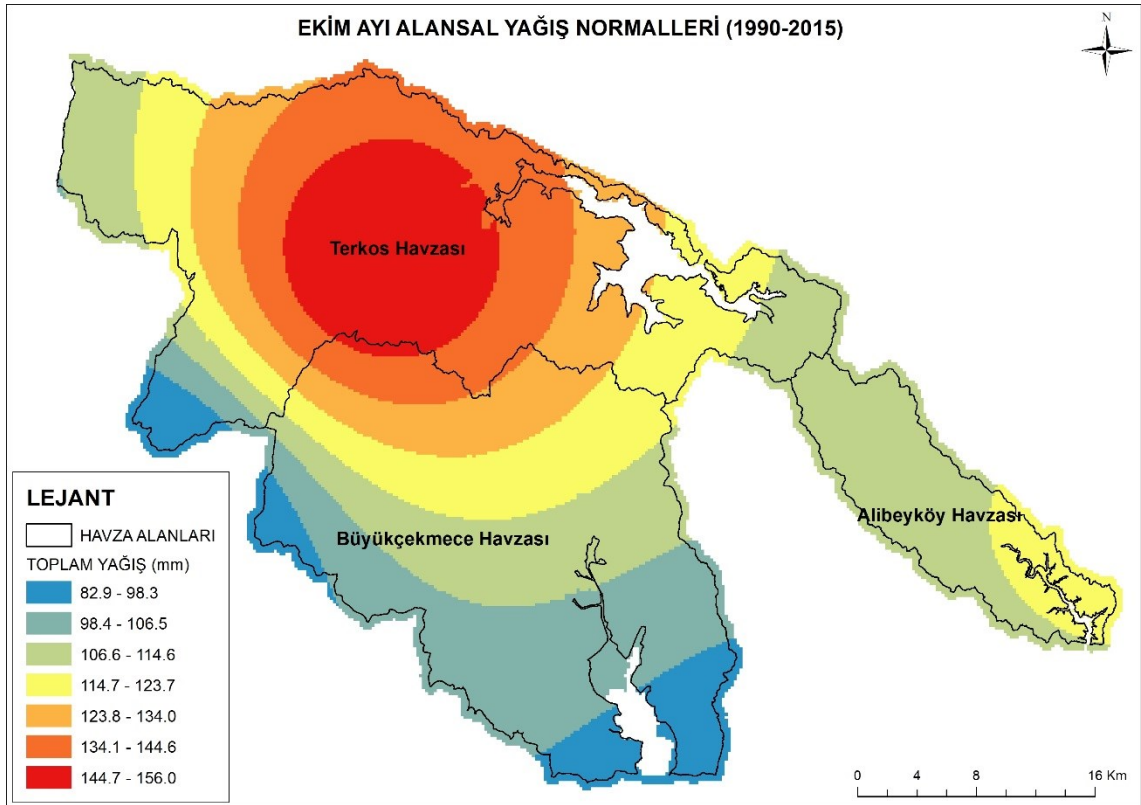
Harita 3.7 Temmuz ayı alansal yağış normalleri



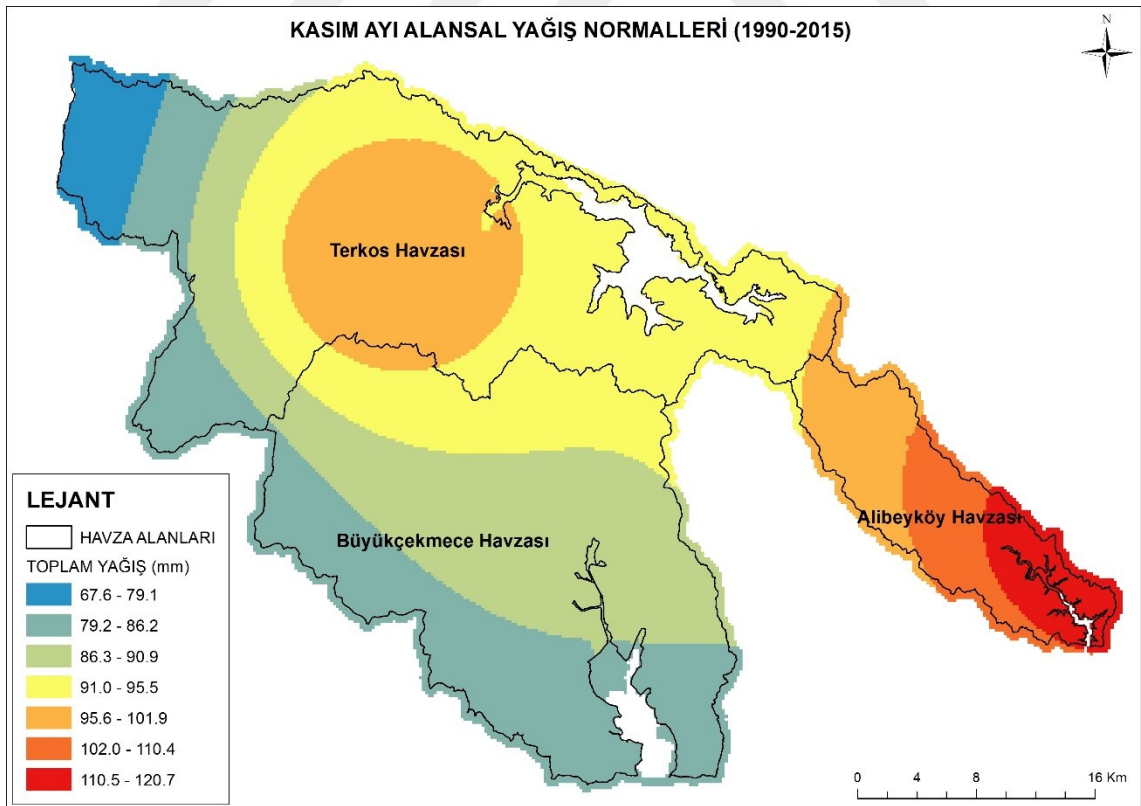
Harita 3.8 Ağustos ayı alansal yağış normalleri



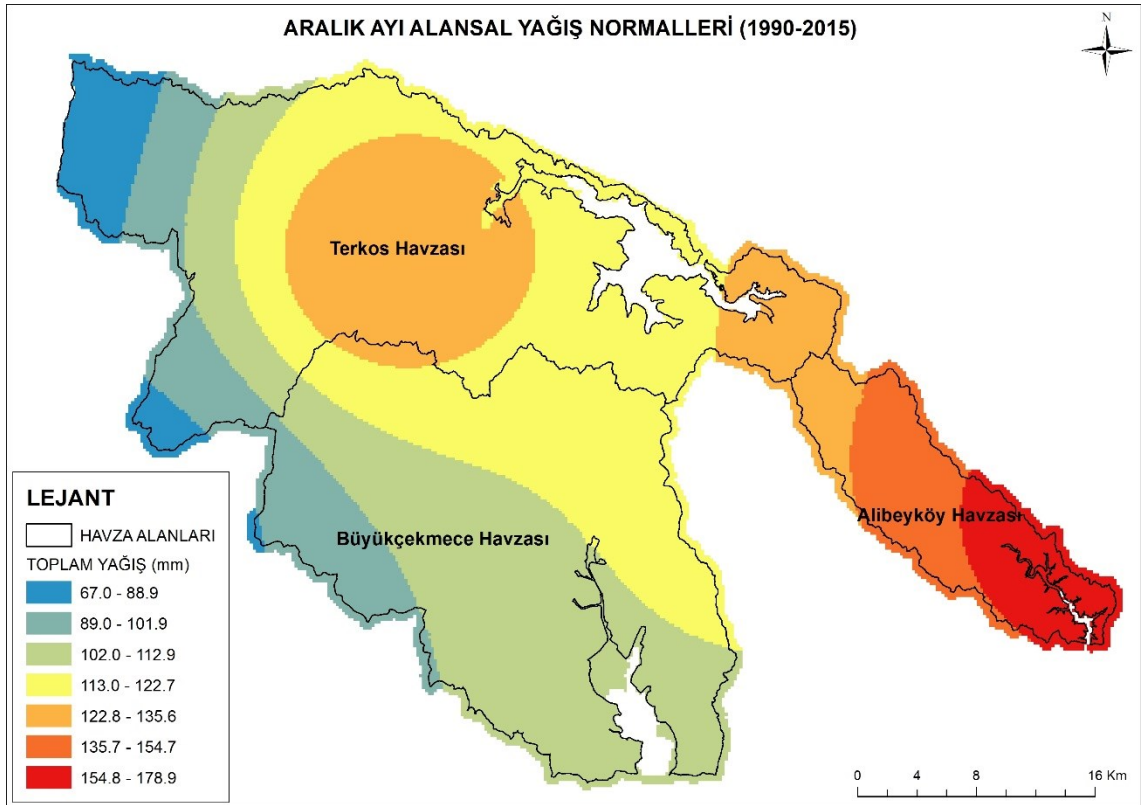
Harita 3.9 Eylül ayı alansal yağış normalleri



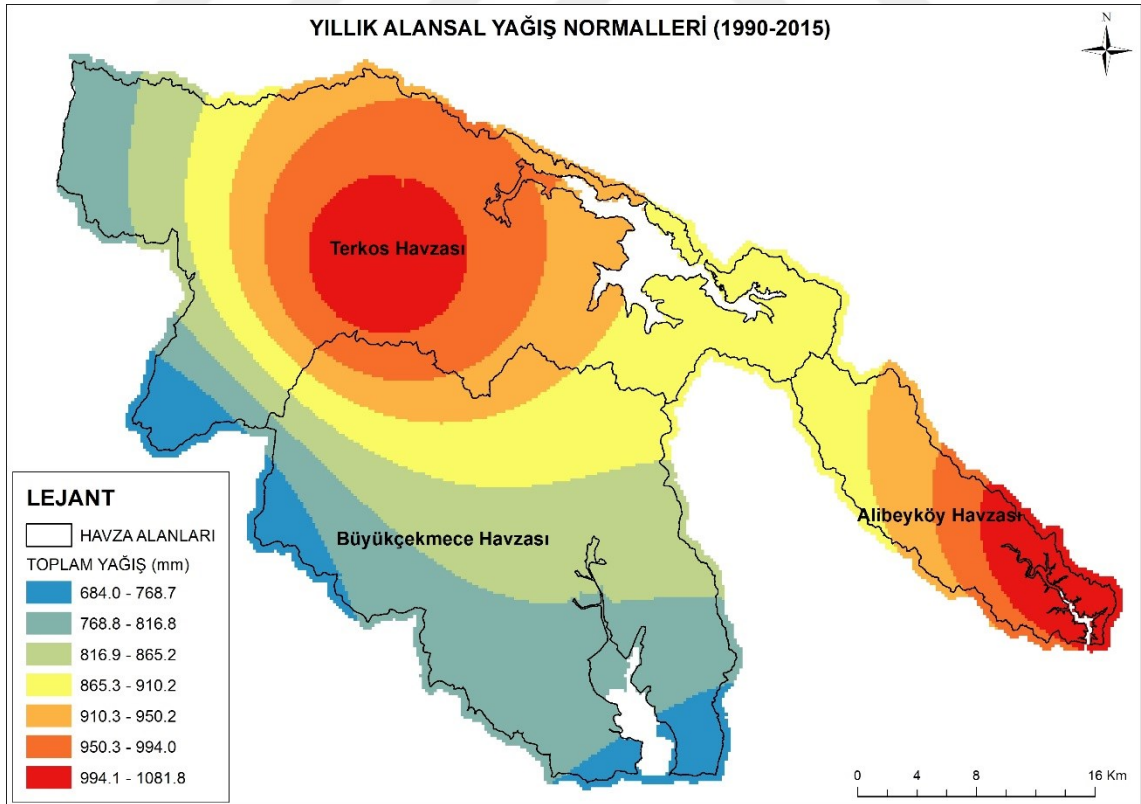
Harita 3.10 Ekim ayı alansal yağış normalleri



Harita 3.11 Kasım ayı alansal yağış normalleri



Harita 3.12 Aralık ayı alansal yağış normalleri



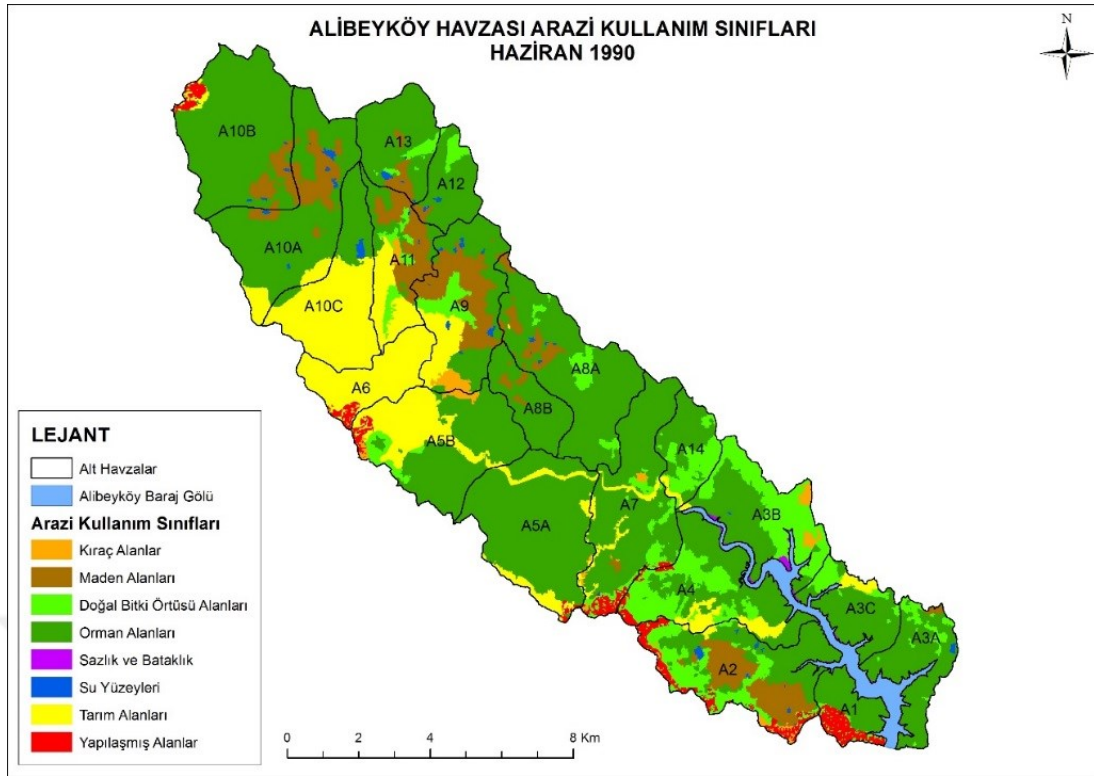
Harita 3.13 Yıllık alansal yağış normalleri

3.2 Havza Alanları Arazi Kullanım Sınıfları

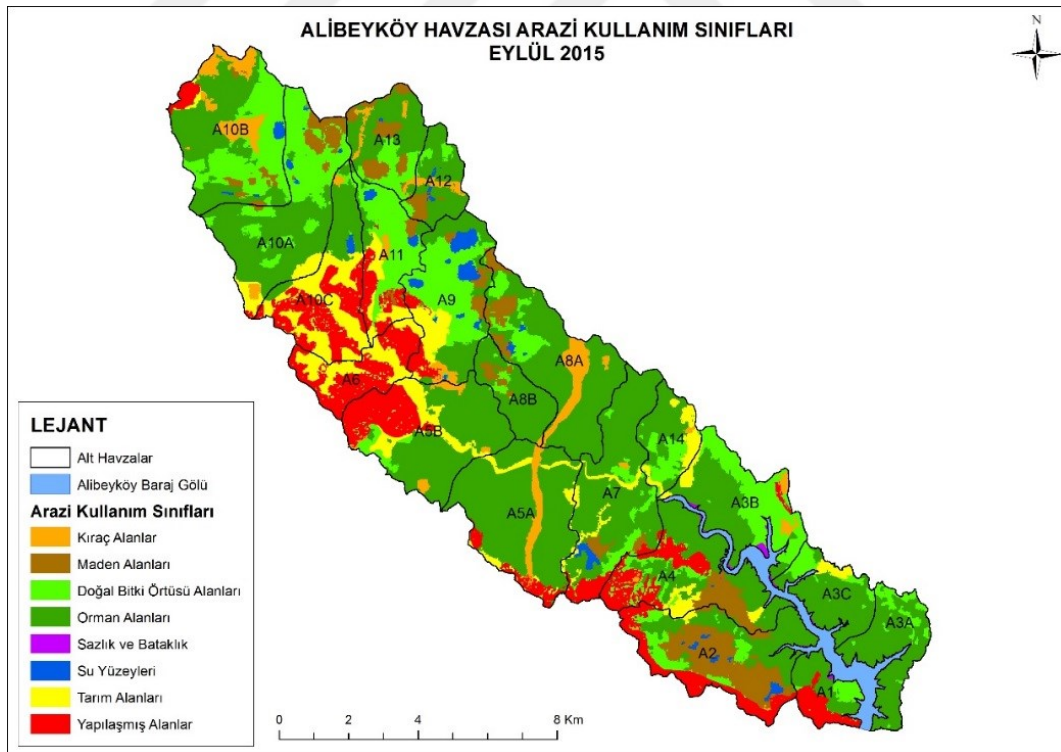
Çalışma alanı içerisinde yer alan havza alanlarındaki 1990-2015 yılları arası arazi kullanım sınıflarındaki değişimin belirlenmesi için; Haziran 1990, Aralık 1990, Haziran 1993, Aralık 1993, Haziran 1997, Kasım 1997, Mayıs 2000, Aralık 2000, Temmuz 2003, Aralık 2003, Haziran 2007, Ocak 2008, Şubat 2011, Mayıs 2011, Şubat 2015 ve Eylül 2015 tarihlerine ait 16 adet Landsat uydu görüntüsü üzerinde, denetimli sınıflama yöntemine göre arazi örtüsü sınıflandırma çalışması yapılmış ve tarım alanları, orman alanları, çayır/mera gibi doğal bitki örtüsü alanları, sazlık/bataklık alanlar, su yüzeyleri (baraj ve göl alanları hariç), bitki örtüsü olmayan kıraç alanlar ve yapılaşmış alanlar olmak üzere yedi farklı arazi kullanım sınıfı oluşturulmuştur. Arazi örtüsü sınıflandırma çalışması doğruluk analizleri neticesinde elde edilen genel doğruluk oranları %89 ile %95 arasında değişmektedir. Kappa oranları ise %86 ile %92 arasında değişmektedir. Elde edilen bu genel doğruluk ve kappa oranlarına göre arazi kullanım sınıfı haritalarının gerçek arazi örtüsü özelliklerini yeterli düzeyde yansıttığı kabul edilmiştir. Yine Landsat uydu görüntüleri üzerinden yapılan görsel kontrol ve incelemeler sonucunda çalışma alanındaki maden alanları belirlenerek arazi kullanım sınıfı haritaları üzerine işlenmiştir. Maden alanlarının da dahil edilmesiyle çalışma alanı içerisindeki araziler sekiz farklı arazi kullanım sınıfına ayrılmıştır. Alt havza alanları ve arazi kullanım sınıflarının kesişiminden her bir alt havza alanı içerisindeki arazi kullanım sınıfları belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında oluşturulan 16 farklı tarihli arazi kullanım sınıfları haritaları eklerde verilmiştir. Bu haritalara dayanarak; havzalarda Haziran 1990-Eylül 2015 yılları arasında meydana gelmiş arazi kullanım sınıfı değişimleri aşağıda yer almaktadır.

3.2.1 Alibeyköy Havzası Arazi Kullanım Sınıfları

Aşağıda yer alan Harita 3.14 ve Harita 3.15'te sırasıyla Alibeyköy havzasının Haziran 1990 ve Eylül 2015 tarihli arazi kullanım sınıfları görülmektedir. Bu iki farklı tarih aralığında özellikle yapılaşmış alanlarda büyük oranda artış olduğu görülmektedir. Tablo 3.3'te Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıflarının tarihsel süreç içerisindeki alansal dağılımı verilmiştir.



Harita 3.14 Alibeyköy havzası Haziran 1990 arazi kullanım sınıfları



Harita 3.15 Alibeyköy havzası Eylül 2015 arazi kullanım sınıfları

Tablo 3.3 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları alansal dağılımı

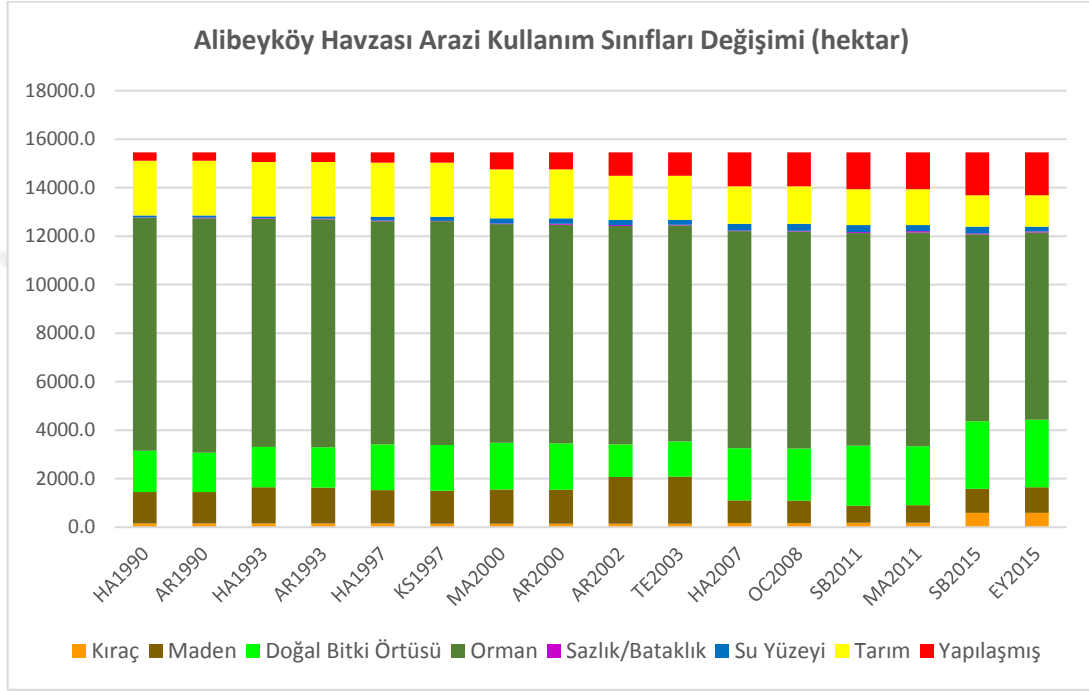
Dönem	Arazi Kullanım Sınıfları (hektar)								
	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/ Bataklık	Su Yüzeyi	Tarım	Yapılaşmış	Toplam
HA1990	158	1289	1702	9609	26	76	2258	337	15453
AR1990	157	1291	1625	9668	26	92	2258	337	15453
HA1993	152	1500	1666	9398	26	79	2244	389	15453
AR1993	152	1489	1652	9406	26	98	2242	389	15453
HA1997	157	1371	1892	9204	25	149	2235	419	15453
KS1997	144	1359	1886	9223	25	161	2235	419	15453
MA2000	147	1413	1929	9005	33	206	2020	699	15453
AR2000	147	1395	1909	9022	33	227	2020	699	15453
AR2002	149	1923	1348	9005	34	217	1822	955	15453

Tablo 3.3 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları alansal dağılımı (devamı)

Dönem	Arazi Kullanım Sınıfları (hektar)								
	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/ Bataklık	Su Yüzeyi	Tarım	Yapılaşmış	Toplam
TE2003	149	1941	1446	8906	34	199	1822	955	15453
HA2007	168	935	2151	8952	34	276	1546	1392	15453
OC2008	168	923	2148	8954	34	288	1546	1392	15453
SB2011	187	693	2484	8760	44	292	1485	1508	15453
MA2011	187	728	2417	8827	44	256	1485	1508	15453
SB2015	590	991	2784	7719	36	280	1289	1765	15453
EY2015	591	1058	2791	7719	36	204	1289	1765	15453

Şekil 3.6'da yer alan Alibeyköy havzasında Haziran 1990-Eylül 2015 tarihleri arasındaki arazi kullanımı değişimine bakıldığında en büyük değişimin yapılaşmış alanlar ve tarım alanları arasında olduğu görülmektedir. Tarım alanları %43 azalırken, yapılaşmış alanlar %424 oranında artmıştır. Yapılaşma büyük oranda tarım alanları üzerinde gerçekleşmiştir. Havza genelinde orman alanları %20 azalırken, doğal bitki örtüsü alanları %64 artmıştır. Bu değişimin temelinde;

kuzeydeki ormanlık alanların ilk olarak maden alanına dönüşmesi, maden faaliyetleri sona erdikten sonra kısmen ağaçlandırma yapılmış olsa da bu alanların çoğunlukla doğal bitki örtüsü ile kaplanması yatmaktadır. Maden alanlarının bir kısmı ise maden faaliyetleri sona erdikten sonra kıraç alanlar olarak kalmıştır. Bunun neticesinde maden alanları havza genelinde %18 azalırken, kıraç alanlar %275 oranında artmıştır.

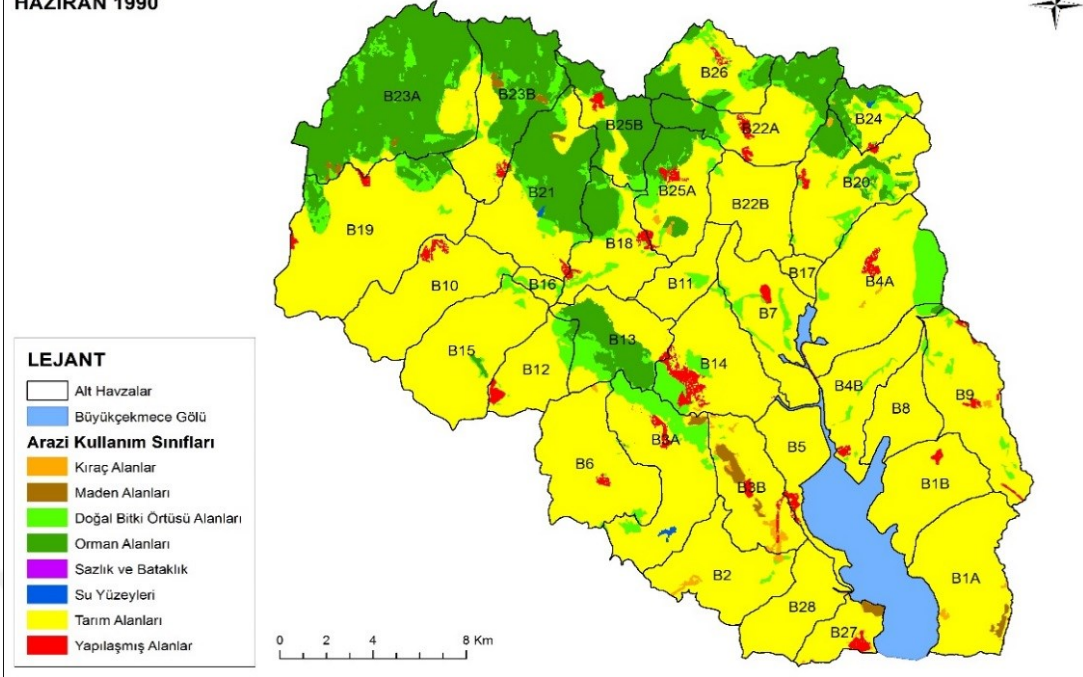


Şekil 3.6 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıflarındaki değişim

3.2.2 Büyükçekmece Havzası Arazi Kullanım Sınıfları

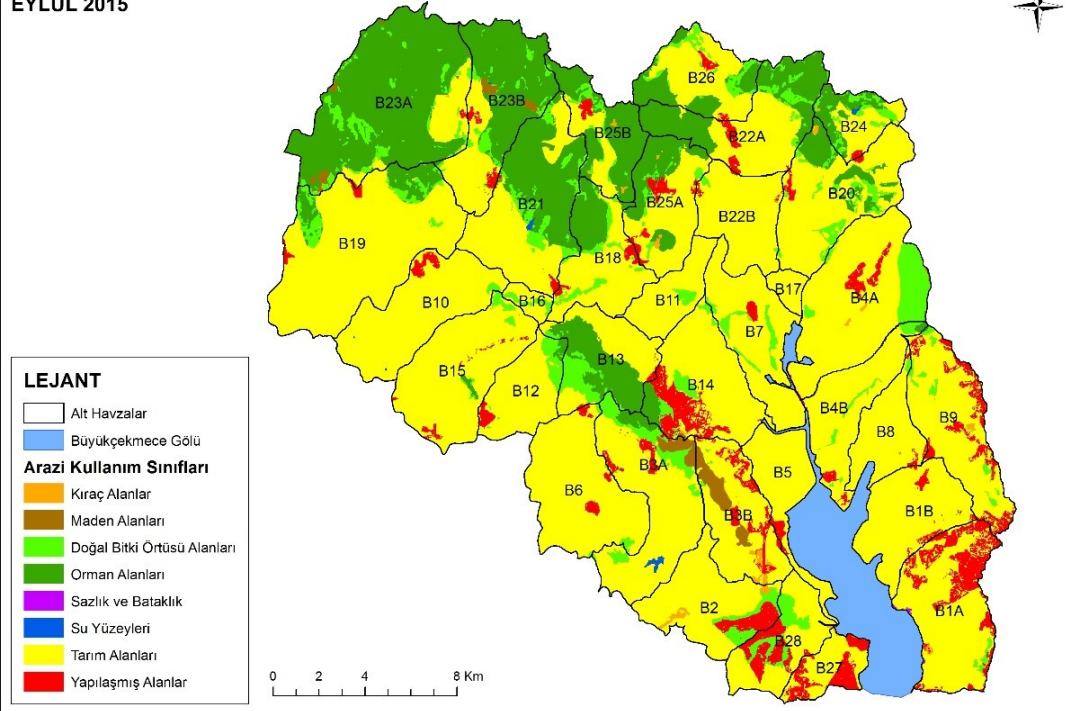
Harita 3.16 ve 3.17’de sırasıyla Büyükçekmece havzasının Haziran 1990 ve Eylül 2015 tarihli arazi kullanım sınıfları görülmektedir. Arazi kullanım sınıflarının dağılımına bakıldığında havzanın ağırlıklı olarak tarım ve orman alanları ile kaplı olduğu görülse de genel anlamda tarımsal bir karakterde olduğu söylenebilir. Bu iki farklı tarih arasında arazi kullanım sınıflarında meydana gelen en belirgin değişimin ise yapılaşmış alanlarda gerçekleştiği görülmektedir. Tablo 3.4’te Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıflarının tarihsel süreç içerisindeki alansal dağılımı yer almaktadır.

BÜYÜKÇEKMECE HAVZASI ARAZİ KULLANIM SINIFLARI
HAZİRAN 1990



Harita 3.16 Büyükçekmece havzası Haziran 1990 arazi kullanım sınıfları

BÜYÜKÇEKMECE HAVZASI ARAZİ KULLANIM SINIFLARI
EYLÜL 2015



Harita 3.17 Büyükçekmece havzası Eylül 2015 arazi kullanım sınıfları

Tablo 3.4 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları alansal dağılımı

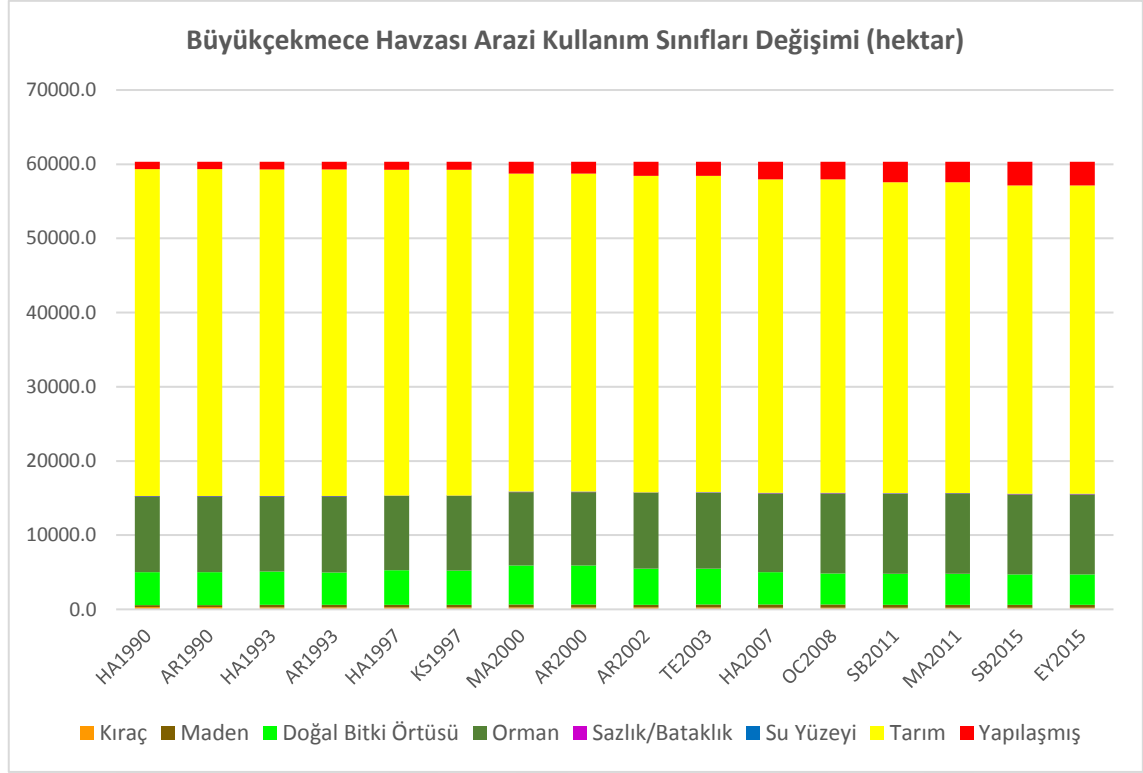
Tarih	Arazi Kullanım Sınıfları (hektar)								
	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/ Bataklık	Su Yüzeyi	Tarım	Yapılaşmış	Toplam
HA1990	300	287	4440	10198	21	37	44065	967	60315
AR1990	300	287	4413	10224	21	37	44065	967	60315
HA1993	282	318	4519	10107	21	42	43992	1033	60315
AR1993	281	320	4386	10240	21	42	43992	1033	60315
HA1997	273	354	4629	10006	21	42	43920	1071	60315
KS1997	270	362	4610	10022	21	42	43918	1071	60315
MA2000	255	384	5294	9876	24	42	42862	1578	60315
AR2000	256	384	5266	9904	24	42	42862	1578	60315
AR2002	250	384	4854	10209	35	42	42668	1873	60315

Tablo 3.4 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları alansal dağılımı
(devamı)

Tarih	Arazi Kullanım Sınıfları (hektar)								
	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/ Bataklık	Su Yüzeyi	Tarım	Yapılaşmış	Toplam
TE2003	248	423	4822	10213	37	42	42657	1873	60315
HA2007	236	416	4342	10628	37	43	42254	2360	60315
OC2008	236	416	4186	10784	37	43	42254	2360	60315
SB2011	217	377	4198	10811	37	43	41888	2744	60315
MA2011	216	391	4195	10806	37	43	41883	2744	60315
SB2015	212	415	4103	10788	37	42	41534	3185	60315
EY2015	212	421	4098	10765	37	42	41556	3185	60315

Şekil 3.7’de verilen Büyükçekmece havzasında Haziran 1990-Eylül 2015 tarihleri arasındaki arazi kullanımı değişimine bakıldığında, en büyük değişimin yapılaşmış alanlarda olduğu görülmektedir. Yapılaşmış alanlar %229 oranında artmıştır. Yapılaşmanın çoğunlukla tarım alanlarında gerçekleştiği görülmektedir. Bunun karşılığı olarak tarım alanları %6 oranında azalmıştır. Havza içerisindeki orman ve doğal bitki örtüsü alanlarında önemli oranda bir değişimin olmadığı

gözlenmektedir. Buna mukabil sazlık/bataklık alanlarda %78'lik bir artış olmuştur. Maden alanlarında %47'lik bir artış görülürken, kıraç alanlarda %29'luk bir azalma görülmektedir



Şekil 3.7 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıflarındaki değişim

3.2.3 Terkos Havzası Arazi Kullanım Sınıfları

Harita 3.18 ve Harita 3.19'da sırasıyla Terkos havzasının Haziran 1990 ve Eylül 2015 tarihli arazi kullanım sınıfları görülmektedir. Tablo 3.5'te ise Terkos havzası arazi kullanım sınıflarının tarihsel süreç içerisindeki alansal dağılımı yer almaktadır. Terkos havzasında Haziran 1990-Eylül 2015 tarihleri arasındaki arazi kullanım sınıfları değişimine bakıldığında, en büyük değişimin sazlık ve bataklık alanlarda olduğu görülmektedir. Bu alanlar %100 oranında artmıştır. Terkos havzasındaki sazlık ve bataklık alanlar genellikle göl çerçevesinde yoğunlaşmaktadır. Havzadaki yapılaşmış alanların %78 oranında artmış olduğu görülmektedir. Alibeyköy ve Büyükçekmece havzaları ile karşılaştırıldığında Terkos havzasındaki yapılaşma oranı daha düşük kalmıştır. Bunun başlıca nedeni havzanın kent merkezinden ve ana ulaşım yollarından uzakta yer almasıdır.

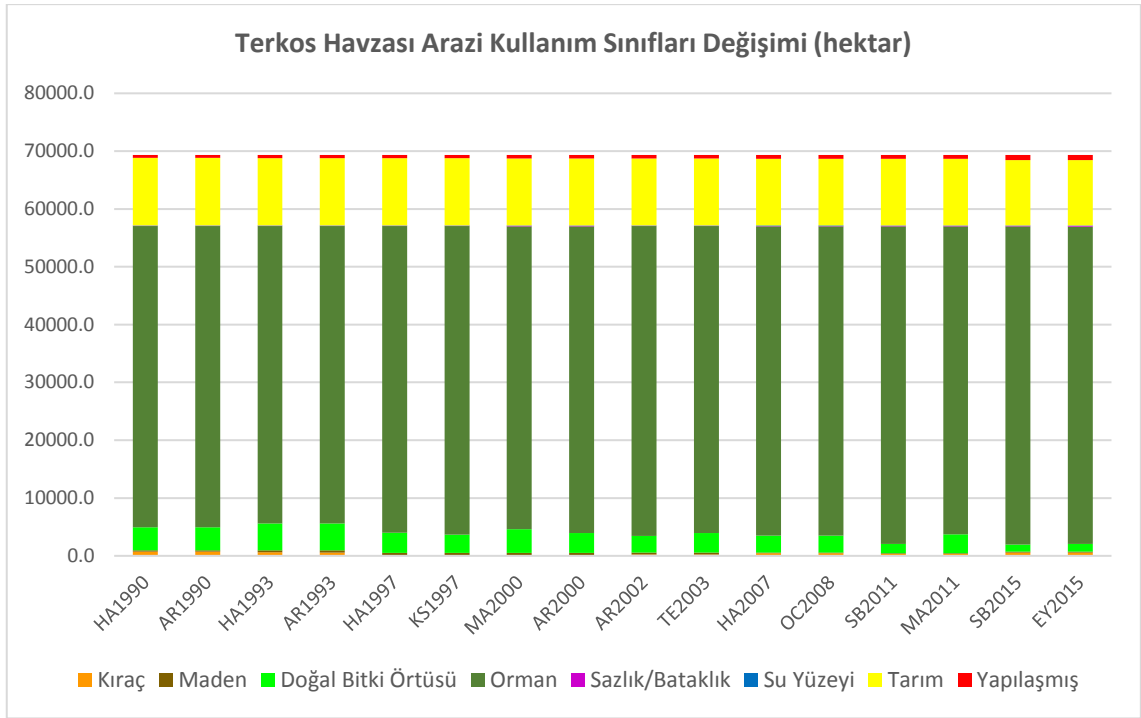
Tablo 3.5 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları alansal dağılımı

Tarih	Arazi Kullanım Sınıfları (hektar)								
	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/ Bataklık	Su Yüzeyi	Tarım	Yapılaşmış	Toplam
HA1990	730	240	3965	52102	79	20	11683	505	69324
AR1990	730	240	3965	52102	79	20	11679	509	69324
HA1993	597	340	4678	51423	58	45	11637	546	69324
AR1993	595	349	4673	51420	58	45	11636	548	69324
HA1997	108	414	3478	53028	62	54	11621	560	69324
KS1997	108	414	3160	53346	62	54	11619	562	69324
MA2000	131	410	4046	52425	65	64	11602	580	69324
AR2000	131	410	3415	53056	65	64	11601	581	69324
AR2002	220	328	2887	53596	58	55	11594	586	69324

Tablo 3.5 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları alansal dağılımı (devamı)

Tarih	Arazi Kullanım Sınıfları (hektar)								
	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/ Baraklık	Su Yüzeyi	Tarım	Yapılaşmış	Toplam
TE2003	220	328	3402	53080	58	55	11593	587	69324
HA2007	451	91	2952	53515	57	74	11554	630	69324
OC2008	451	91	2952	53515	57	74	11554	631	69324
SB2011	342	130	1609	54883	128	52	11540	639	69324
MA2011	342	130	3258	53234	128	52	11538	642	69324
SB2015	571	190	1215	54988	157	16	11306	881	69324
EY2015	571	190	1321	54877	157	16	11293	899	69324

Şekil 3.8’de görüldüğü üzere Terkos havzasında orman alanları %5 artarken, tarım alanları %3 oranında azalmış, doğal bitki örtüsü alanlarında ise %67’lik bir azalma olmuştur. Maden alanları ve kıraç alanlar sırasıyla %21 ve %22 oranında azalmıştır. Orman alanlarındaki artışın bir kısmı kıraç ve maden alanlarının ağaçlandırılması neticesinde meydana gelmiştir. Bir kısmı ise Terkos gölünün kuzeydoğu kesimlerinde yapılan ağaçlandırılması neticesinde meydana gelmiştir.

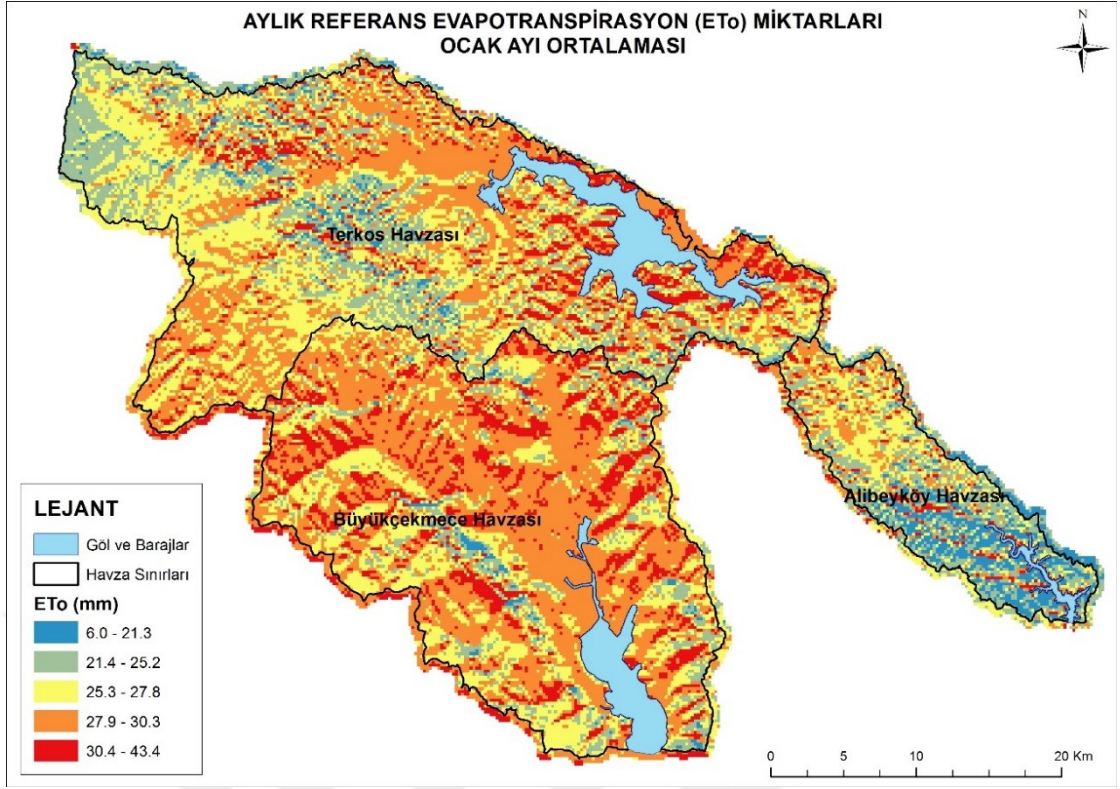


Şekil 3.8 Terkos havzası arazi kullanım sınıflarındaki değişim

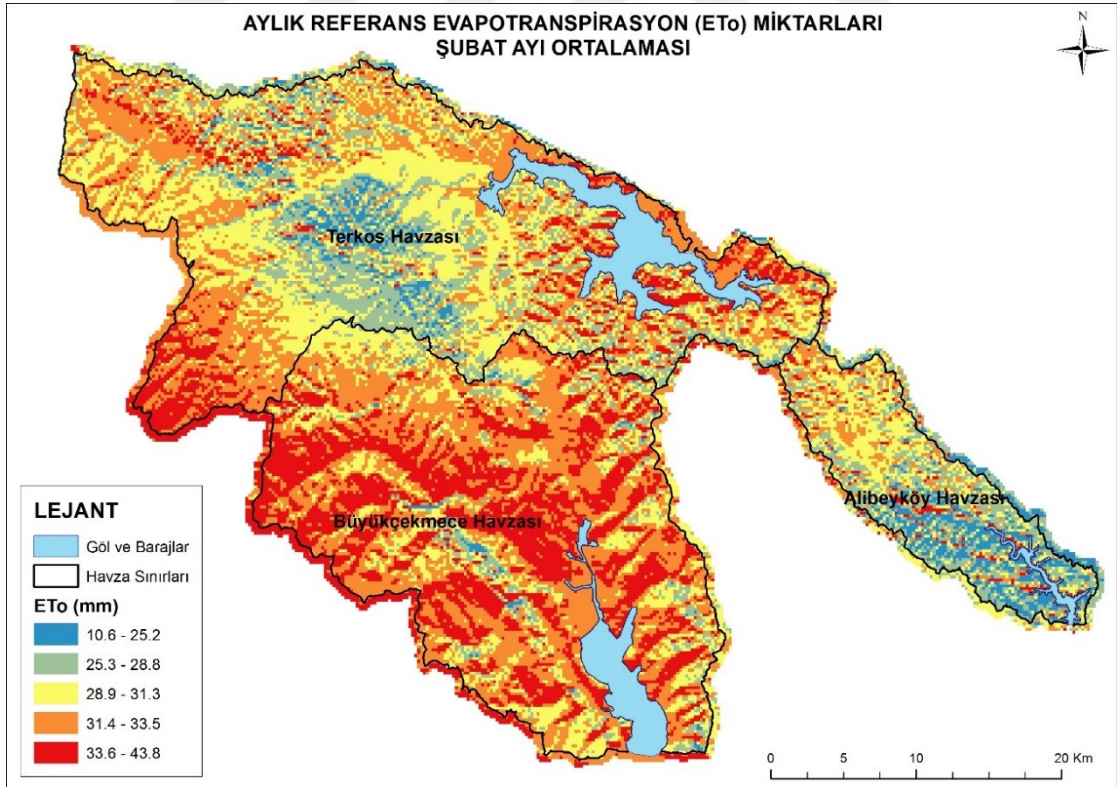
3.3 Havza Alanları Referans Evapotranspirasyon Miktarları

Çalışma alanı kapsamında; Penman-Monteith yöntemi kullanılarak 1990-2015 yılları arası tüm aylar için aylık ETo haritaları elde edilmiştir. ETo haritalarının arazi kullanım sınıfı haritaları ile kesişimlerinden, her bir alt havza içerisindeki arazi kullanım sınıflarının ait aylık ETo miktarları hesaplanmıştır.

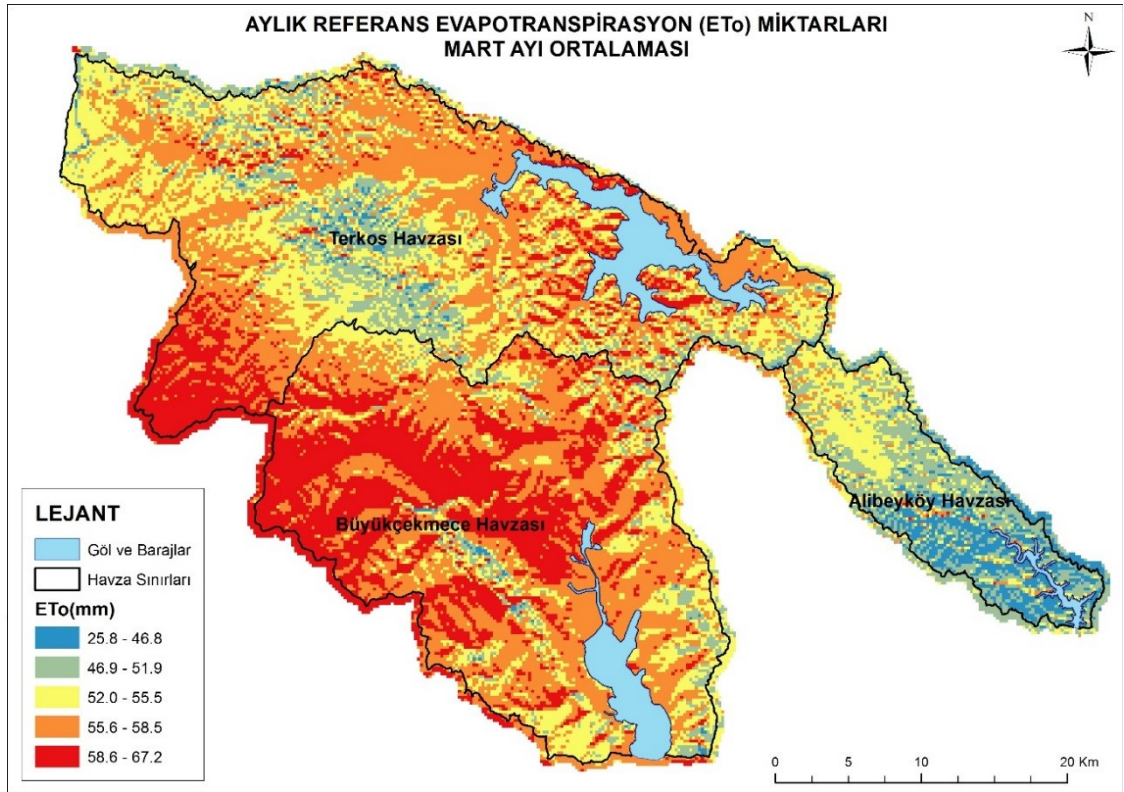
Çalışmanın zaman periyodu olan 1990-2015 yılları arasındaki tüm aylara ait ETo haritasına burada yer vermek mümkün olmadığından, bu bölümde verilmek üzere; aylık ETo değerlerinin uzun yıllara dayalı ortalamaları alınarak aylık ve yıllık ortalama ETo haritaları oluşturulmuştur. Havza alanlarına ait uzun yıllara dayalı aylık ve yıllık ortalama ETo haritaları aşağıda verilmiştir (Harita 3.20 – Harita 3.32).



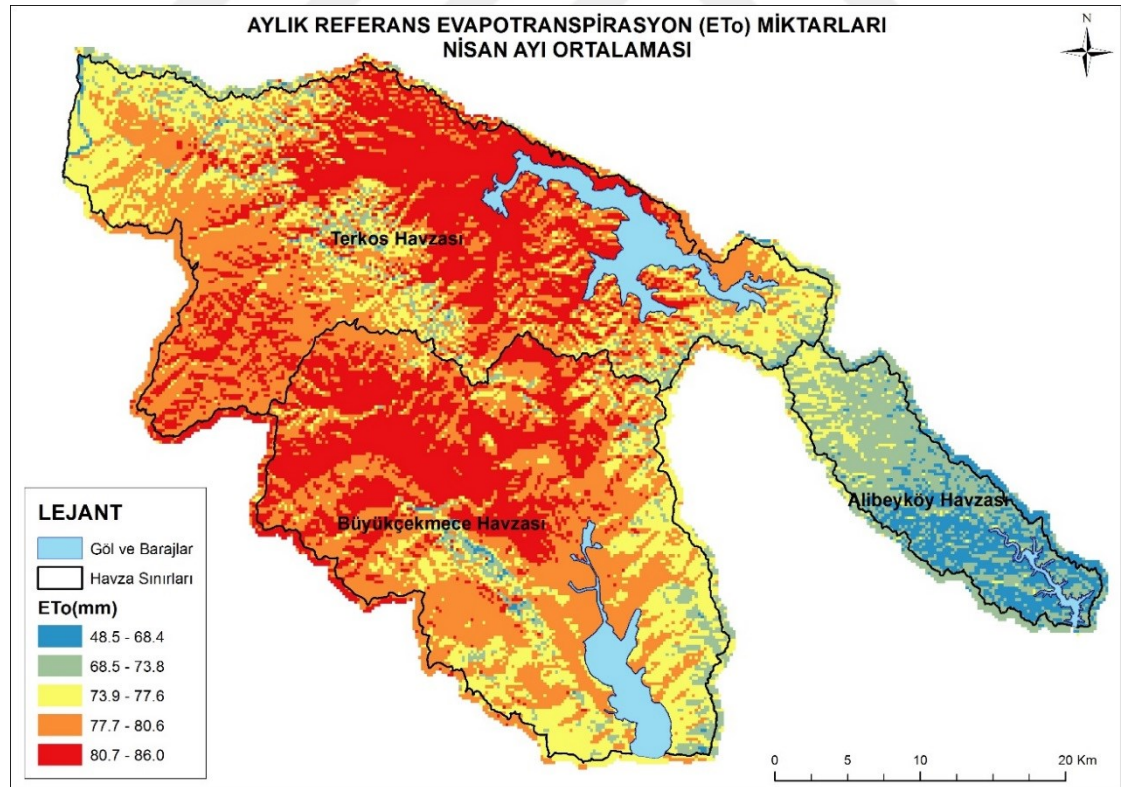
Harita 3.20 Ocak ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması



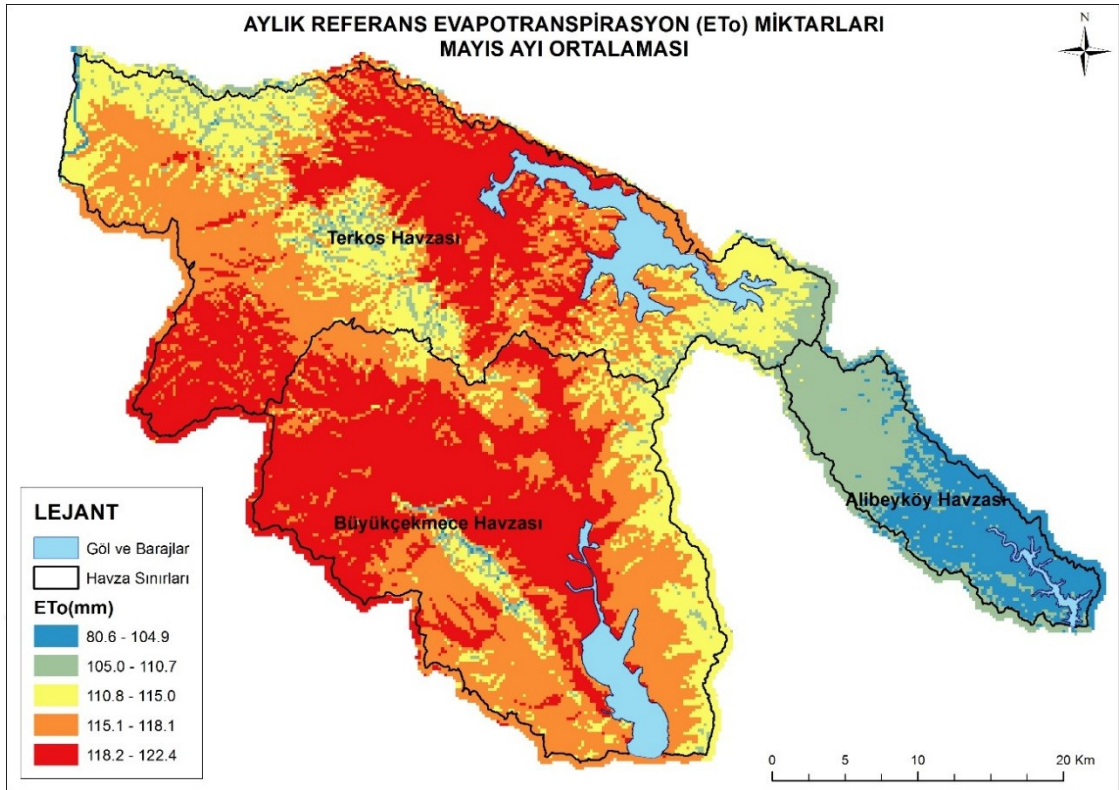
Harita 3.21 Şubat ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması



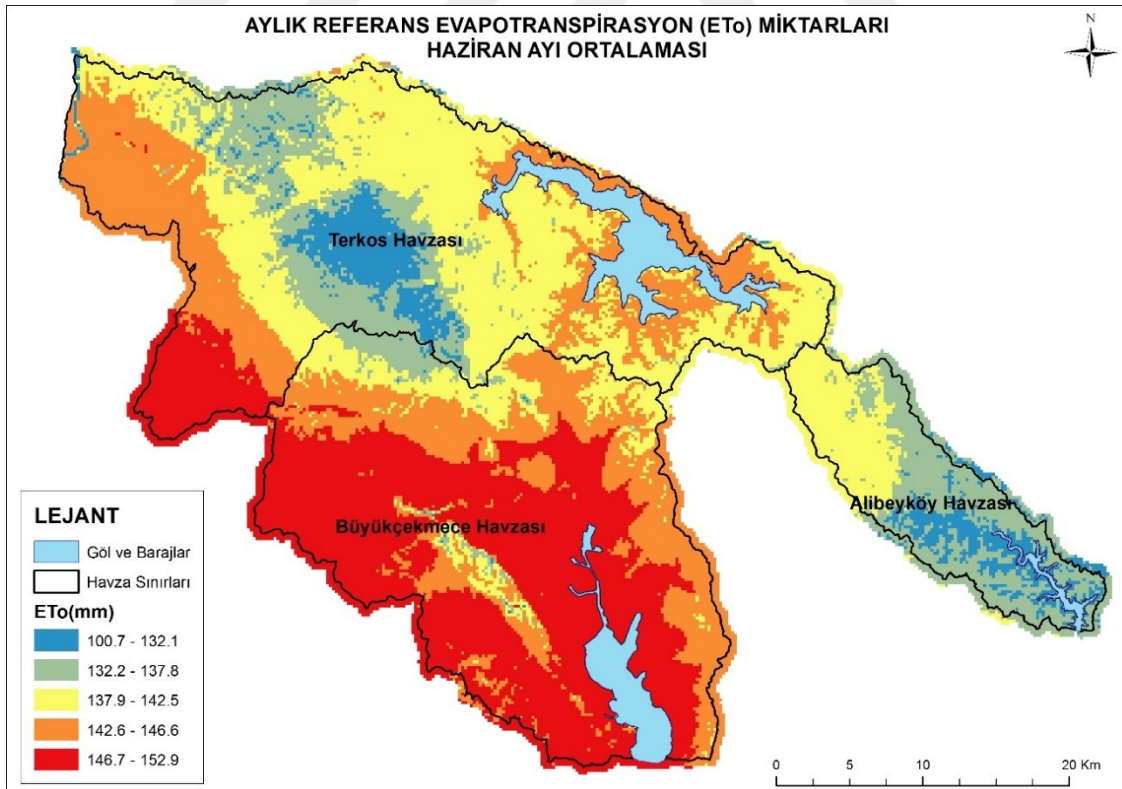
Harita 3.22 Mart ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması



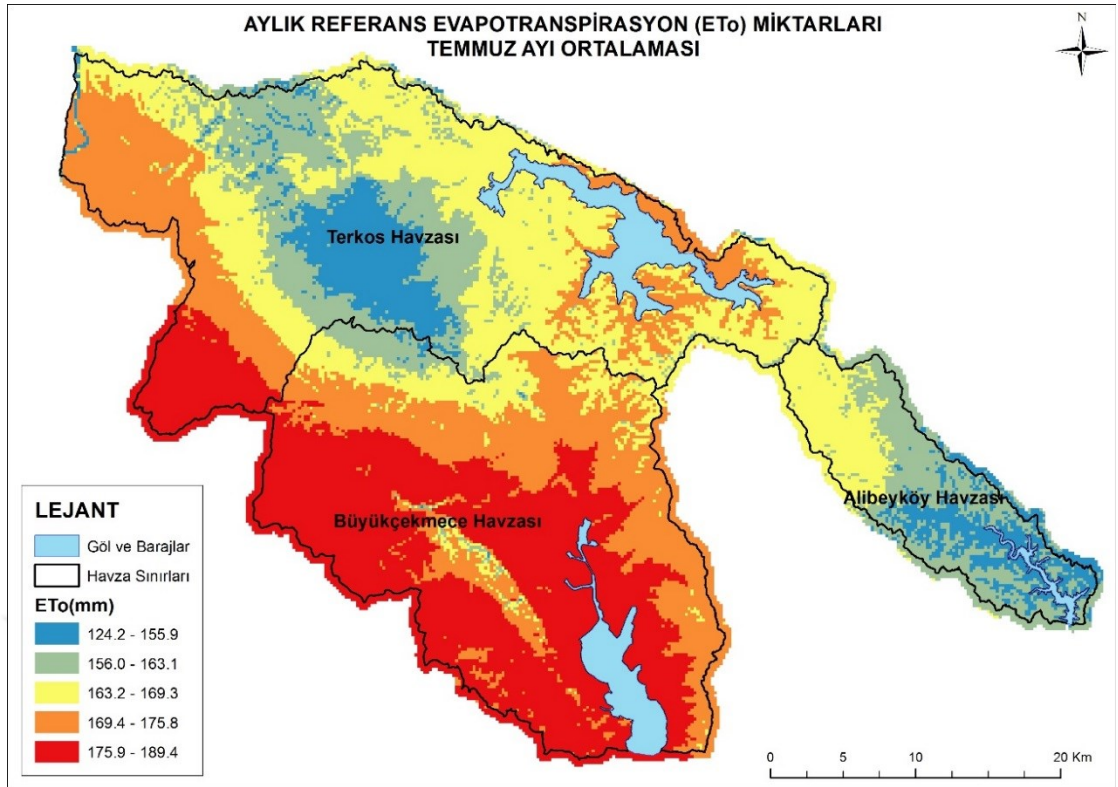
Harita 3.23 Nisan ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması



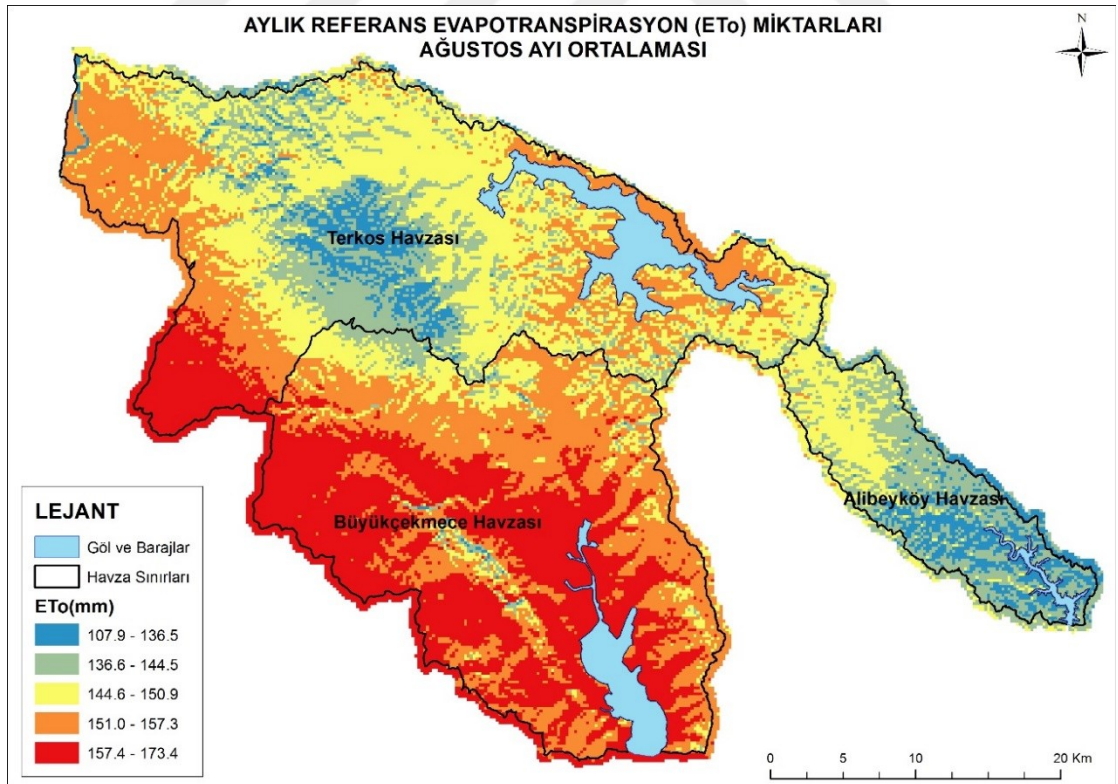
Harita 3.24 Mayıs ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması



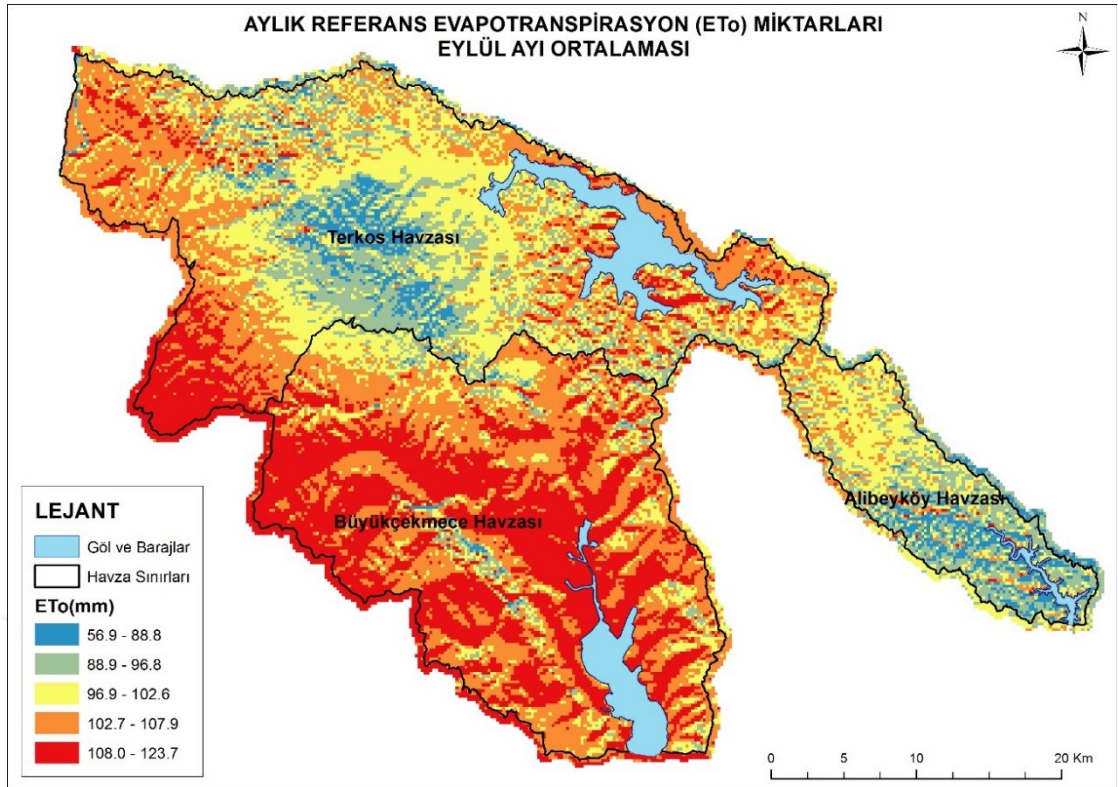
Harita 3.25 Haziran ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması



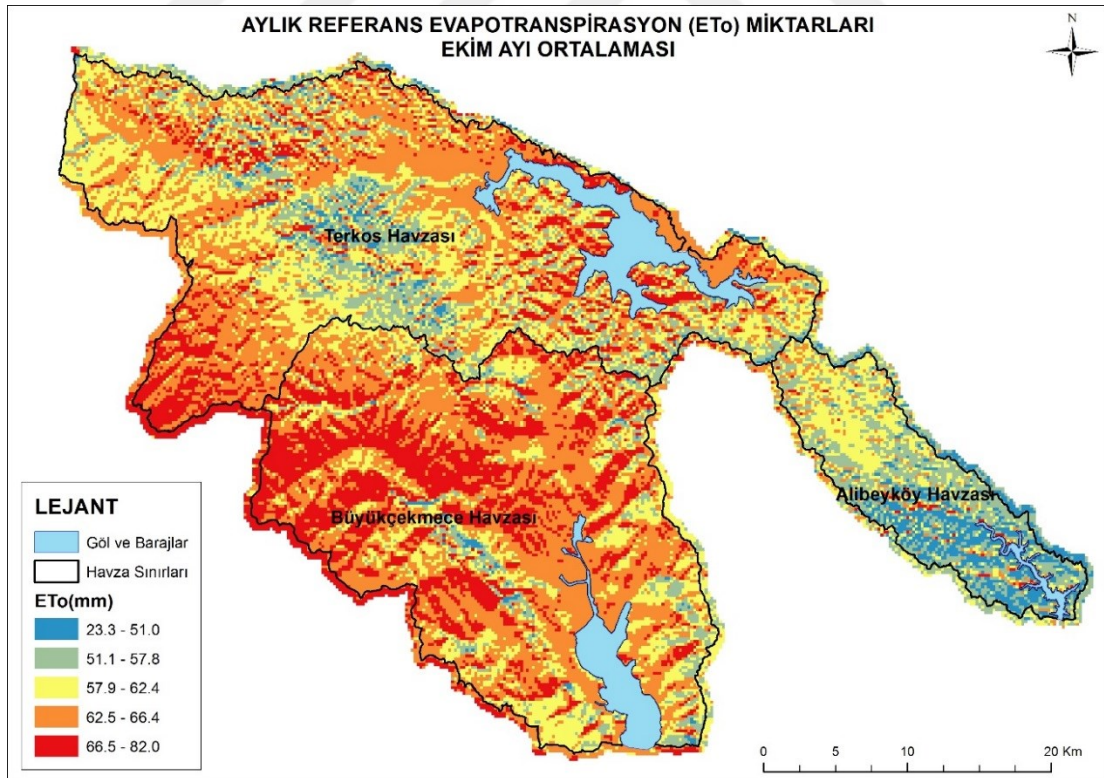
Harita 3.26 Temmuz ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması



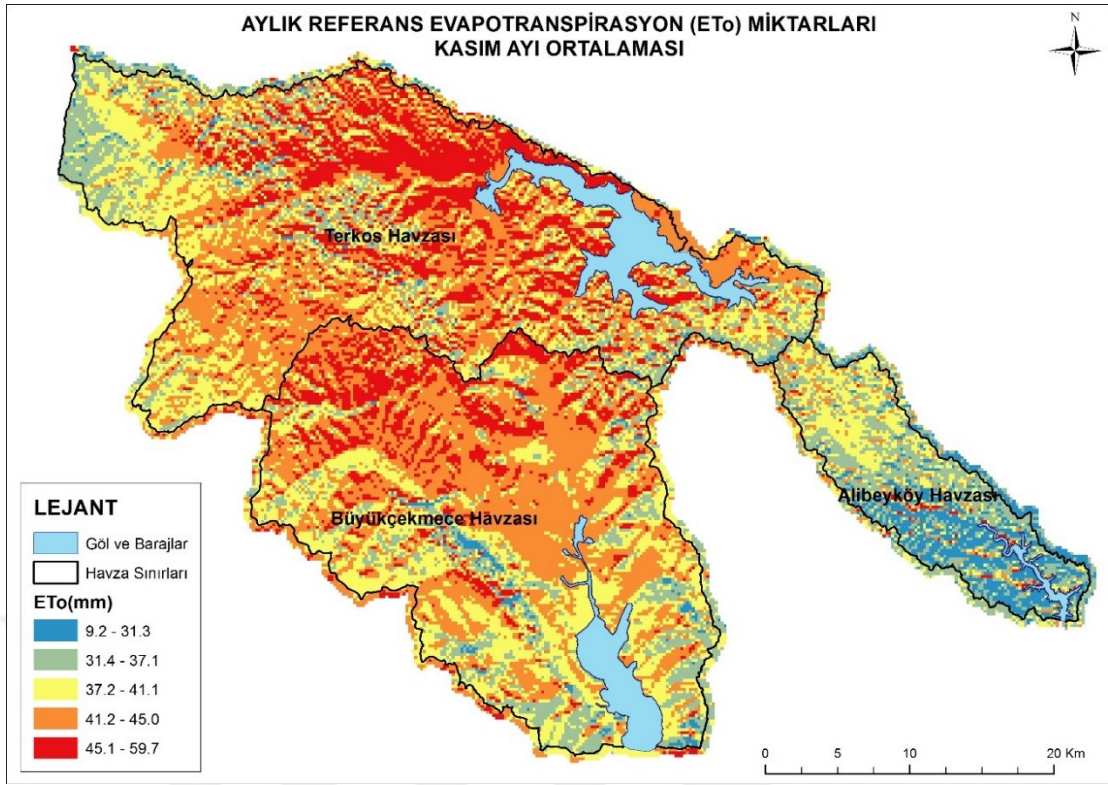
Harita 3.27 Ağustos ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması



Harita 3.28 Eylül ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması



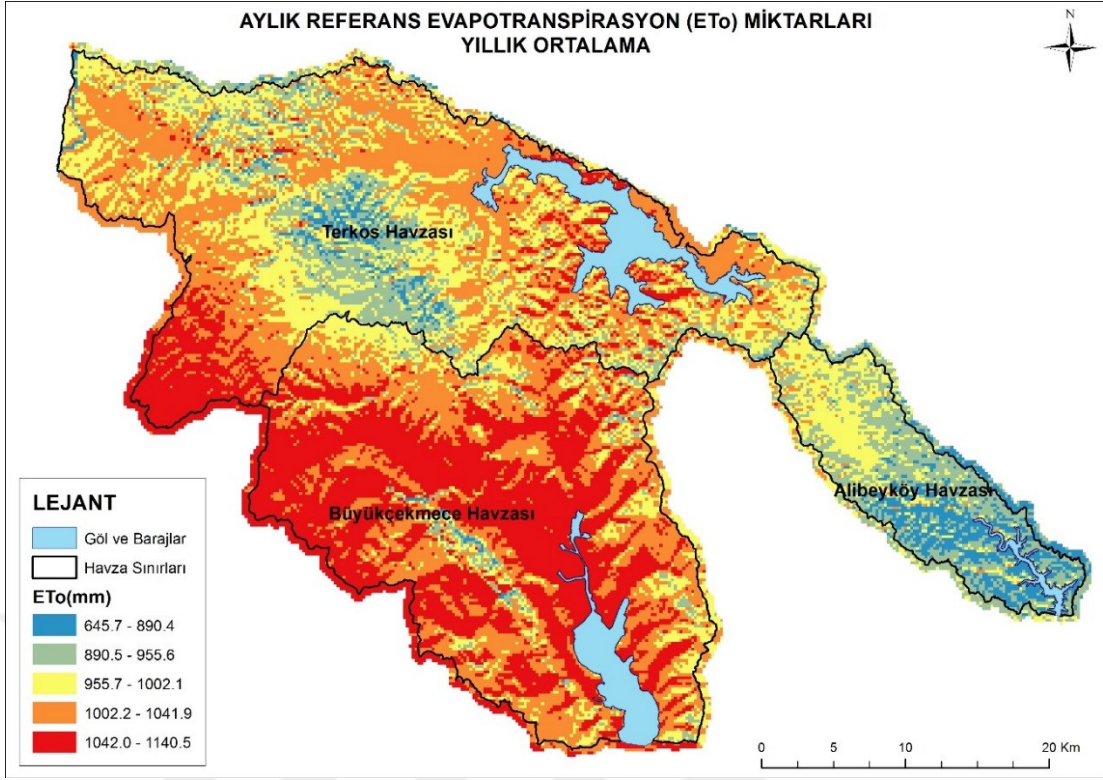
Harita 3.29 Ekim ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması



Harita 3.30 Kasım ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması

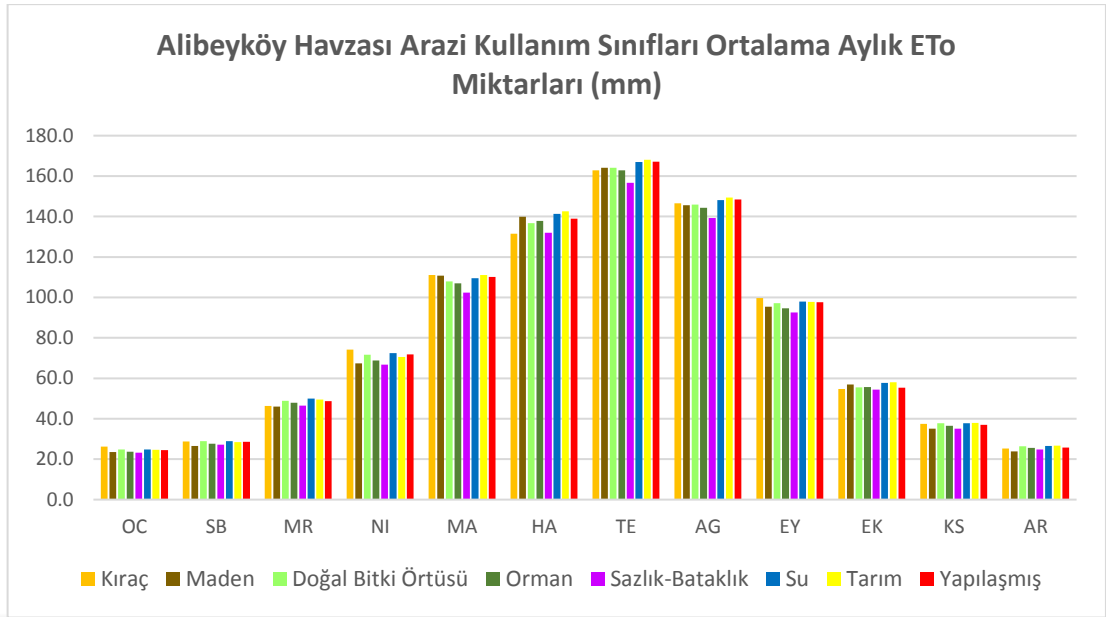


Harita 3.31 Aralık ayı aylık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması



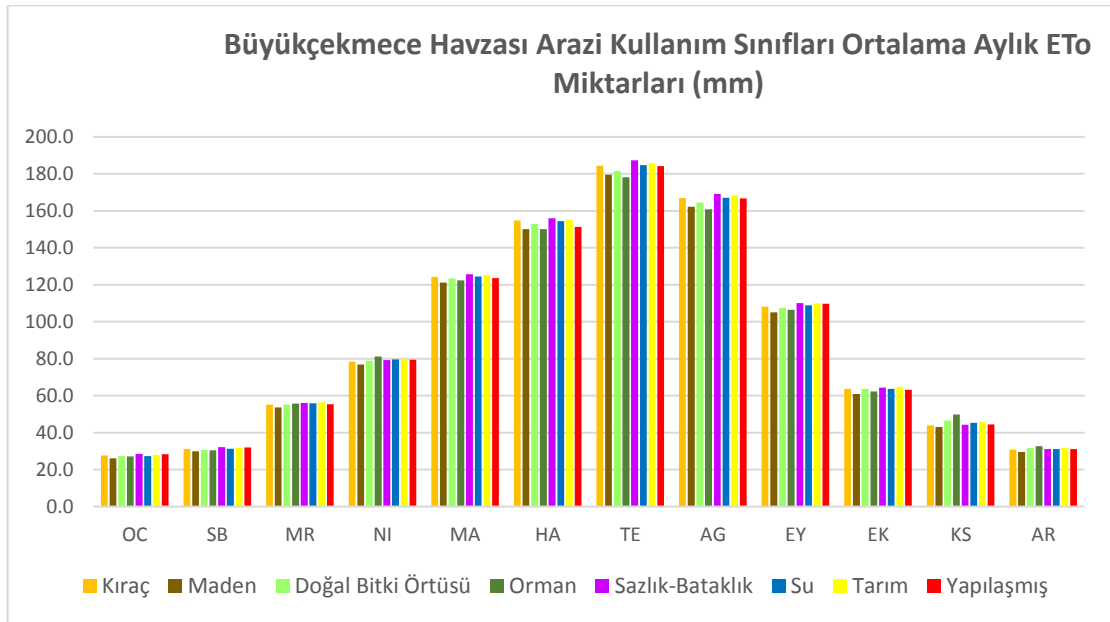
Harita 3.32 Yıllık referans evapotranspirasyon miktarları ortalaması

Havza alanlarındaki arazi kullanım sınıflarının aylık ortalama ETo miktarları hesaplanarak bunlara ait grafikler oluşturulmuştur. Şekil 3.9'da Alibeyköy havzasında arazi kullanım sınıflarına ait 1990-2015 yılları arası aylık ortalama ETo miktarları grafiği yer almaktadır. Grafikten en yüksek ETo kayıplarının ortalama 164 mm ile temmuz ayında gerçekleştiği görülmektedir. En düşük ETo kayıpları ise ortalama 25 mm ile aralık ve ocak aylarında meydana gelmektedir. Arazi kullanım sınıflarına ait ETo miktarları karşılaştırıldığında küçük farkların olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeni ETo değerlerinin kısa boylu çim bitkisi referans alınarak hesaplanmasıdır. Dolayısıyla havza alanlarındaki bu ETo hesapları havzanın tamamının kısa boylu çim bitkisi ile kaplı olması durumundaki ETo kayıplarını vermektedir. Arazi sınıflarının ETo miktarları bu nedenle birbirine çok yakın olup, küçük farklılıklar konum farklarından dolayı meydana gelmektedir.



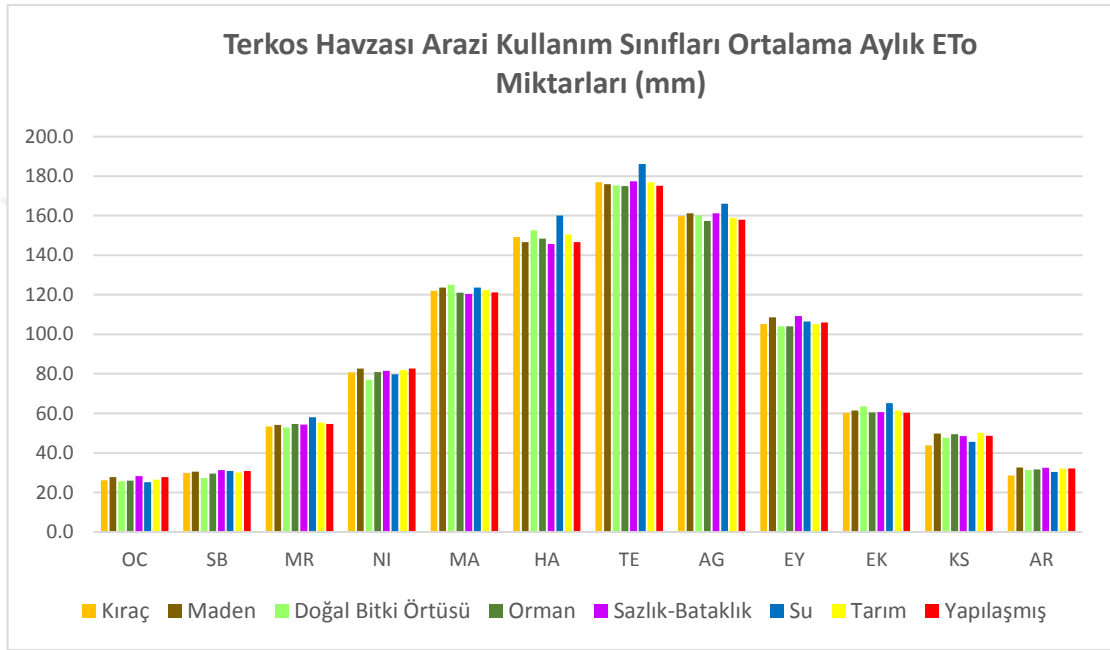
Şekil 3.9 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETo miktarları

Şekil 3.10'da Büyükçekmece havzasında arazi kullanım sınıflarına ait 1990-2015 yılları arası aylık ortalama ETo miktarları grafiği yer almaktadır. Grafikten en yüksek ETo kayıplarının ortalama 183 mm ile temmuz ayında gerçekleştiği görülmektedir. En düşük ETo kayıpları ise ortalama 28 mm ile ocak ayında meydana gelmektedir. Arazi kullanım sınıflarına ait ETo miktarları karşılaştırıldığında aralarında küçük farkların olduğu görülmektedir.



Şekil 3.10 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETo miktarları

Şekil 3.11’de ise Terkos havzasında arazi kullanım sınıflarına ait 1990-2015 yılları arası aylık ortalama ETo miktarları grafiği yer almaktadır. Grafikten en yüksek ETo kayıplarının ortalama 177 mm ile temmuz ayında gerçekleştiği görülmektedir. En düşük ETo kayıpları ise ortalama 27 mm ile ocak ayında meydana gelmektedir. Arazi kullanım sınıflarına ait ETo miktarları karşılaştırıldığında, diğer havzalarda olduğu gibi aralarında küçük farkların olduğu görülmektedir.



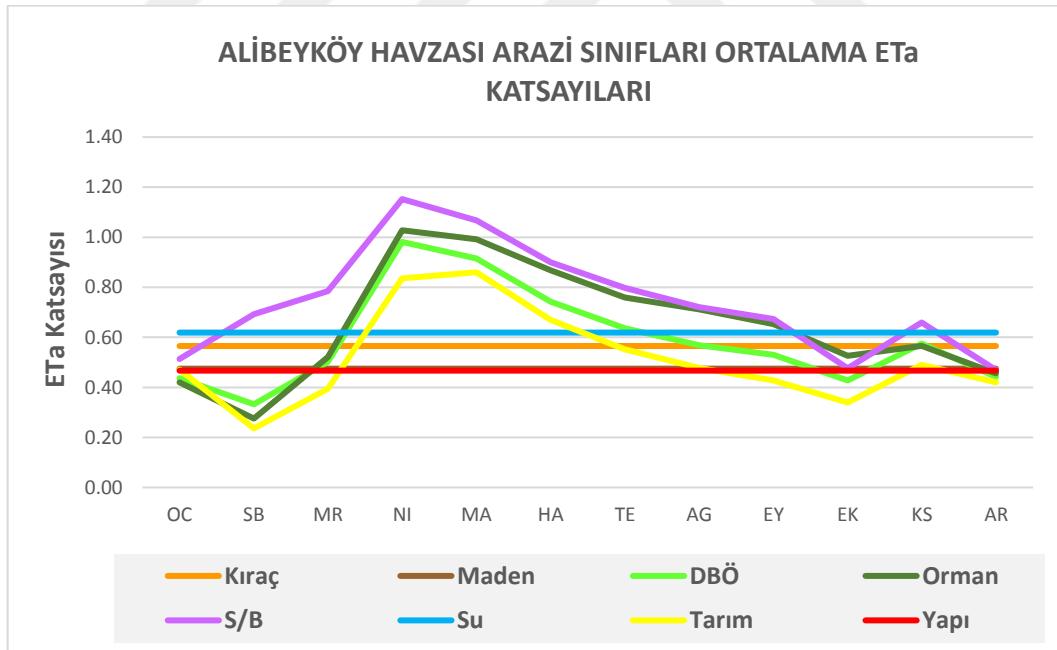
Şekil 3.11 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETo miktarları

3.4 Havza Alanları Gerçek Evapotranspirasyon Miktarları

Çalışmada kullanılan metodolojinin açıklandığı önceki bölümde arazi kullanım sınıflarına ait gerçek evapotranspirasyon (ETa) miktarlarının hesaplanabilmesi için ilk olarak arazi kullanım sınıflarına ait ETa katsayılarının hesaplandığı ve bunun için iterasyona dayalı sayısal analiz işlemlerinin yapıldığı belirtilmişti. Bu işlemler sonucunda her bir alt havza alanındaki farklı arazi kullanım sınıfları için ayrı ayrı ETa katsayıları belirlenmiştir. Alt havza alanları için hesaplanan bu katsayılar kullanılarak Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos havzaları için hesaplanan arazi kullanım sınıflarına ait ortalama ETa katsayıları ve miktarları aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

3.4.1 Alibeyköy Havzası Gerçek Evapotranspirasyon Miktarları

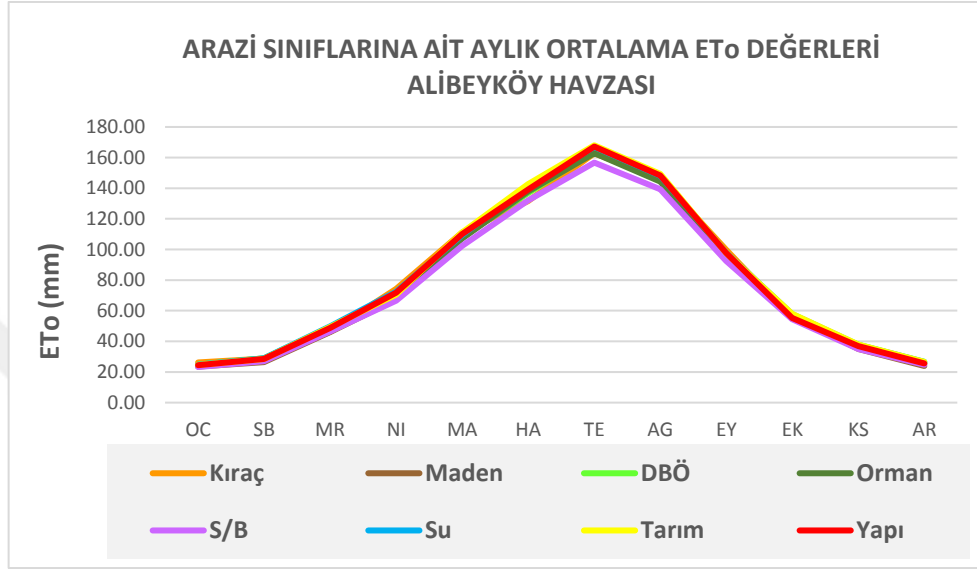
Alibeyköy havzası genelinde arazi kullanım sınıflarının ortalama ETa katsayıları Şekil 3.12’de yer almaktadır. Üzerinde bitki örtüsü olmayan kıraç, maden, su yüzeyi ve yapılaşmış alanların ETa katsayıları yıl boyunca sabit kalmaktadır. Sazlık/bataklık, orman, doğal bitki örtüsü ve tarım alanlarının ETa katsayıları ise aylara göre değişkenlik göstermektedir. Buna göre bu alanlarda yaz aylarında ETa katsayıları artarken, kış aylarında düşmektedir. Bu alanlardaki en yüksek ETa katsayılarının nisan ve mayıs alanlarına ait olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeninin; bu aylarda bir yandan sıcaklıklar artarken diğer yandan yağışların da devam etmesi olduğu düşünülmektedir. Bu ayları takip eden haziran ayından itibaren eylül ayına kadar ETa katsayıları düşüş göstermektedir. Bu durumun ise bu dönemde hava sıcaklıklarının daha da artmasına rağmen yağış miktarlarındaki azalmaya bağlı olarak zeminde meydana gelen su kısıtından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zeminde yeterli su olmadığından sıcaklık yüksek olsa bile ETa katsayıları düşmüştür.



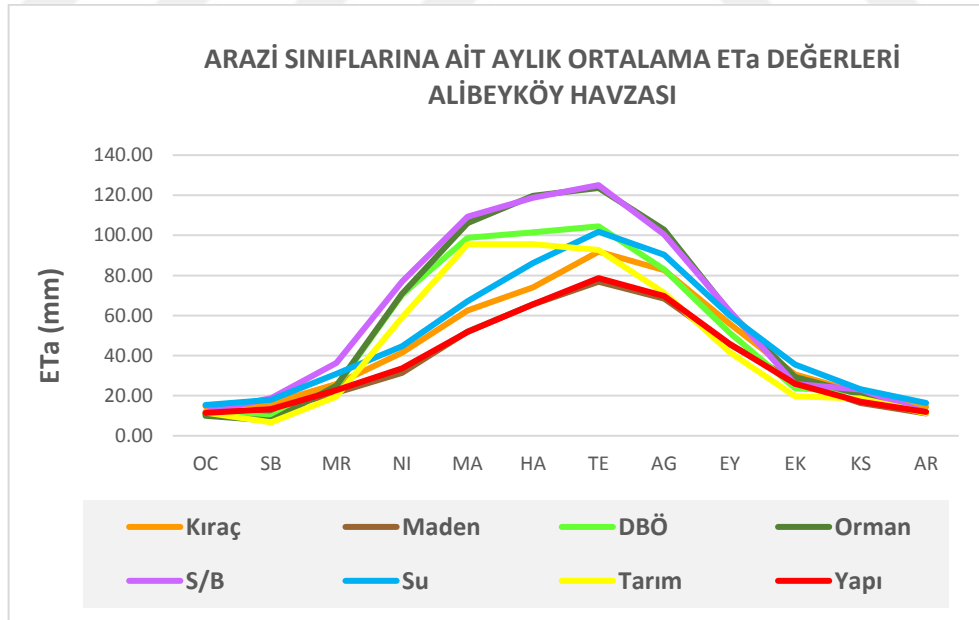
Şekil 3.12 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları ETa katsayıları

Aşağıda verilen Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’te ise Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıflarına ait sırasıyla aylık ortalama ETo ve ETa miktarlarının grafiksel olarak gösterimi yer almaktadır. ETa miktarı ETa katsayısı ile ETo miktarının çarpımından elde edilmektedir. Şekil 3.13’te görüldüğü üzere; arazi kullanım

sınıflarının aylık ortalama ETo miktarları birbirlerine çok yakın olmakla birlikte, Şekil 3.14'te görülen aylık ETa miktarlarında belirgin bir farklılaşma meydana gelmektedir. ETo ve ETa kayıpları yaz aylarında yükselirken kış aylarında düşmektedir. Bununla birlikte arazi kullanım sınıfları arasındaki aylık ETa farkları yaz aylarında daha da artarken kış aylarında azalmaktadır.



Şekil 3.13 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETo miktarları



Şekil 3.14 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETa miktarları

Tablo 3.6'da Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıflarına ait aylık ve yıllık ortalama ETa miktarları verilmiştir.

Tablo 3.6 Alibeyköy havzası aylık ve yıllık ortalama ETa miktarları

Aylar	Arazi Kullanım Sınıfları Aylık Ortalama ETa Miktarları (mm)							
	Kıraç	Maden	DBÖ	Orman	S/B	Su	Tarım	Yapı
Ocak	14.8	11.2	10.8	10.0	11.9	15.4	11.6	11.4
Şubat	16.2	12.5	9.6	7.6	18.8	18.0	6.7	13.3
Mart	25.8	21.5	24.6	25.0	36.4	31.0	19.5	22.8
Nisan	41.5	31.4	70.3	70.8	76.8	44.6	59.0	33.6
Mayıs	62.6	51.9	98.8	106.2	109.3	67.2	95.6	51.8
Haziran	74.0	65.5	101.5	119.7	118.8	86.2	95.5	65.5
Temmuz	91.9	76.9	104.5	123.6	125.0	101.8	92.7	78.7
Ağustos	82.7	68.4	83.0	102.8	100.4	90.2	71.4	69.8
Eylül	56.0	45.5	51.5	61.8	62.3	60.1	41.8	45.9
Ekim	30.6	27.3	23.7	29.3	25.9	35.6	19.7	26.0
Kasım	21.4	16.4	21.8	20.7	23.1	23.2	18.7	17.0
Aralık	14.5	11.2	11.7	11.7	11.6	16.4	11.2	11.9
Yıllık	531.9	439.6	611.8	689.0	720.3	589.5	543.4	447.7

Tablo 3.6 incelendiğinde yıllık ETa kayıplarının en fazla olduğu arazilerin sazlık/bataklık alanlar olduğu görülmektedir. Bu alanlardaki yıllık ortalama ETa kayıpları yaklaşık 720 mm olarak hesaplanmıştır.

Sazlık/bataklık alanlarını ise yıllık ortalama 689 mm ETa kaybı ile orman alanları takip etmektedir.

Üçüncü sırada yer alan mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarındaki yıllık ortalama ETa kayıpları 612 mm olarak, dördüncü sırada yer alan su yüzeylerindeki yıllık ortalama ETa kayıpları ise 589 mm olarak hesaplanmıştır.

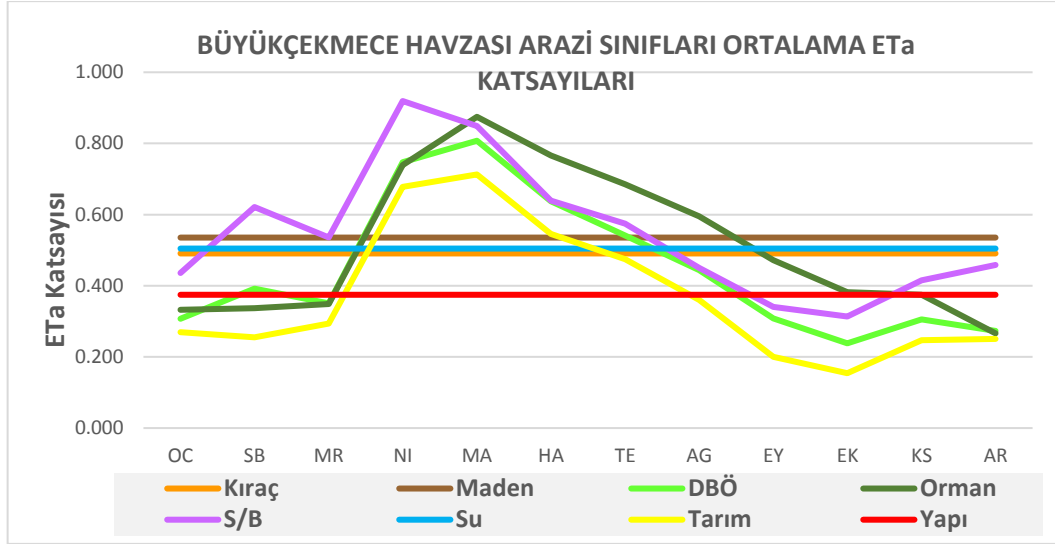
Tarım alanlarındaki yıllık ortalama ETa kayıpları 543 mm, kıraç alanlardaki yıllık ortalama ETa kayıpları ise 532 mm olarak hesaplanmıştır. Bu iki arazi sınıfının yıllık ortalama ETa kayıpları birbirine yakın çıkmakla beraber aylık bazda farklılaşmaktadır. Nisan-Temmuz ayları arasında tarım alanlarındaki ETa kayıpları kıraç alanlara göre daha fazla olmaktadır.

Yapılaşmış alanlar ve maden alanlarındaki yıllık ortalama ETa kayıpları ise sırasıyla 448 ve 440 mm olarak hesaplanmıştır.

3.4.2 Büyükçekmece Havzası Gerçek Evapotranspirasyon Miktarları

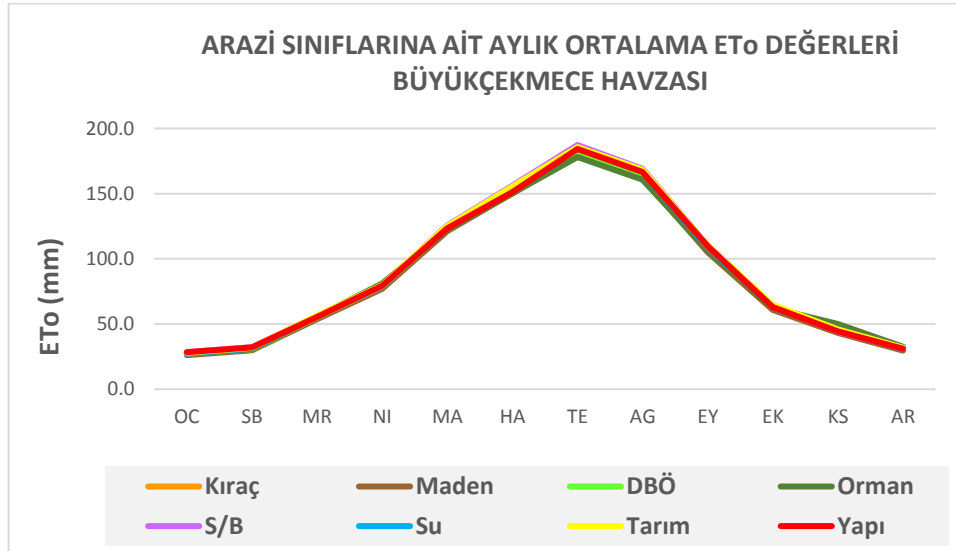
Büyükçekmece havzası genelinde arazi kullanım sınıflarının ortalama ETa katsayıları Şekil 3.15'te yer almaktadır. Üzerinde bitki örtüsü olmayan kıraç, maden, su yüzeyi ve yapılaşmış alanların ETa katsayıları yıl boyunca sabit kalmaktadır.

Öte yandan üzerinde bitki örtüsü olan sazlık/bataklık, orman, doğal bitki örtüsü (mera, çayır vb) ve tarım alanlarının ETa katsayıları ise aydan aya değişkenlik göstermektedir. Buna göre üzerinde bitki örtüsü bulunan bu alanlarda yaz aylarında ETa katsayıları artarken, kış aylarında düşmektedir. Bu alanlardaki en yüksek ETa katsayılarının ise Alibeyköy havzasında olduğu gibi nisan ve mayıs alanlarına ait olduğu görülmektedir. Burada da yine aynı durum söz konusu olup, nisan ve mayıs aylarında sıcaklıklar artmaya başladığında zeminde yeterli su olduğundan ETa katsayıları yüksek çıkmaktadır. Devam eden haziran, temmuz, ağustos aylarında ise sıcaklıklar daha da artmasına rağmen yeterli yağış düşmediğinden ETa katsayıları düşmektedir. Eylül ve ekim aylarında ise yağış noksanlığının yanı sıra artık zeminde ve toprağın derinliklerinde de yeterli su kalmadığından ETa katsayıları daha da düşmektedir.

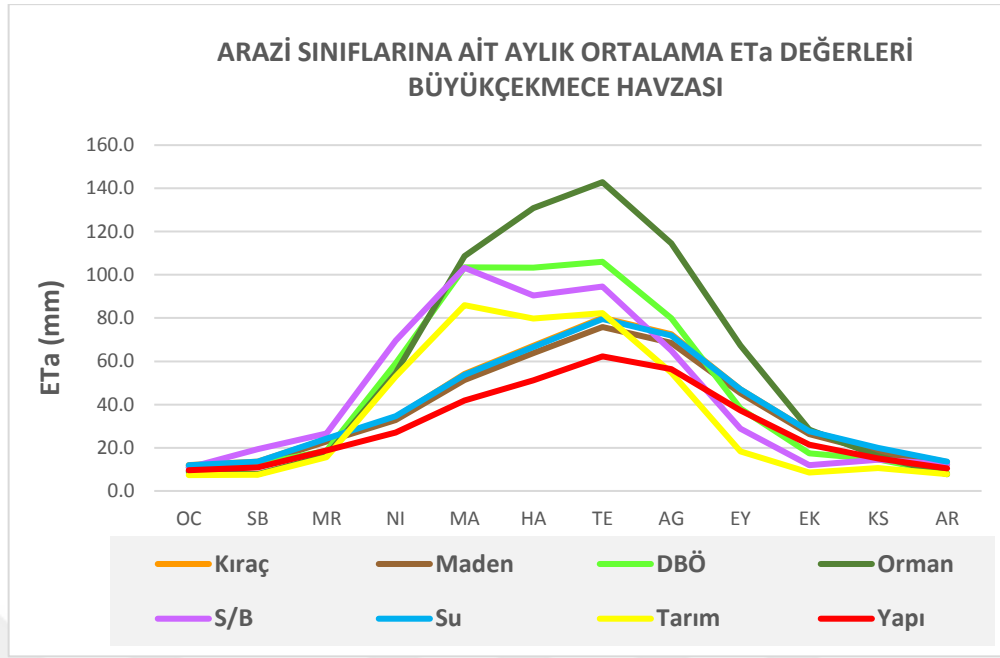


Şekil 3.15 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları ETa katsayıları

Aşağıda verilen Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de ise Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıflarına ait sırasıyla aylık ortalama ETo ve ETa miktarlarının grafiksel olarak gösterimi yer almaktadır. Şekillerden görüldüğü üzere; arazi kullanım sınıflarının aylık ortalama ETo miktarları birbirlerine çok yakın olmakla birlikte, aylık ETa miktarlarında belirgin bir farklılaşma meydana gelmektedir. ETo ve ETa kayıpları yaz aylarında yükselirken kış aylarında düşmektedir. Bununla birlikte arazi kullanım sınıfları arasındaki aylık ETa farkları yaz aylarında daha da artarken kış aylarında azalmaktadır.



Şekil 3.16 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETo miktarları



Şekil 3.17 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları aylık ETa miktarları

Tablo 3.7’de Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıflarına ait aylık ve yıllık ortalama ETa miktarları yer almaktadır. Tablo 3.7 incelendiğinde yıllık ETa kayıplarının en fazla olduğu arazilerin orman alanları olduğu görülmektedir. Bu alanlardaki yıllık ortalama ETa kayıpları yaklaşık 705 mm olarak hesaplanmıştır. Orman alanlarını yıllık ortalama 570 ve 547 mm ETa kayıpları ile sırasıyla mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanları ile sazlık/bataklık alanlar takip etmektedir. Tarım alanları, kıraç alanlar, maden alanları ve su yüzeylerinde meydana gelen yıllık ortalama ETa kayıpları birbirine yakın şekilde 430-465 mm aralığında çıkmıştır. Bu arazilerdeki yıllık ortalama ETa kayıpları birbirine yakın çıkmakla beraber, ETa kayıpları ay bazında ve de bulundukları coğrafi konuma bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tarım alanlarında Nisan-Temmuz ayları arasında daha yüksek ETa kayıpları görülürken, kıraç, maden ve su yüzeylerinde diğer aylarda tarım alanlarına göre daha yüksek ETa kayıpları görülmektedir. Bunun başlıca nedeninin ise tarım alanlarındaki ekim-dikim-hasat dönemlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılaşmış alanlardaki ETa kayıplarının ise yıllık ortalama 362 mm ile diğer arazi kullanım sınıflarına göre daha düşük olduğu görülmektedir.

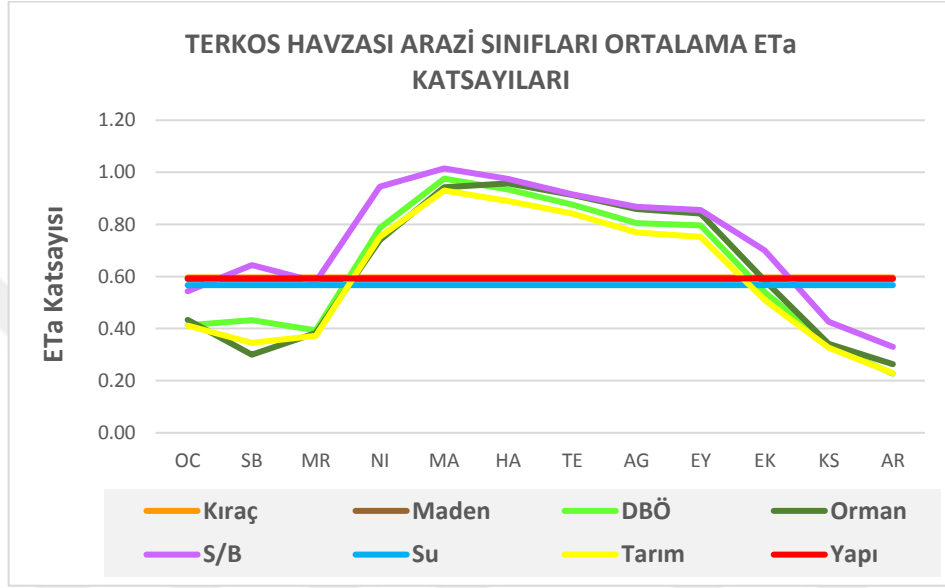
Tablo 3.7 Büyükçekmece havzası aylık ve yıllık ortalama ETa miktarları

Aylar	Ortalama ETa Miktarları (mm)							
	Kıraç	Maden	DBÖ	Orman	S/B	Su	Tarım	Yapı
Ocak	12.0	11.1	8.5	9.1	10.8	11.9	7.3	9.6
Şubat	13.5	12.6	12.3	7.8	19.3	13.5	7.5	10.8
Mart	24.0	22.9	18.7	16.4	26.6	24.3	15.6	18.8
Nisan	34.1	32.9	59.0	54.6	69.5	34.6	52.9	27.0
Mayıs	54.1	51.4	103.5	108.6	103.2	53.7	86.0	41.8
Haziran	67.2	63.7	103.3	130.9	90.4	66.7	79.8	51.2
Temmuz	80.1	75.8	106.0	142.9	94.5	79.6	82.3	62.3
Ağustos	72.4	68.5	79.9	114.6	65.0	71.9	54.8	56.3
Eylül	47.1	45.2	38.2	67.4	28.8	47.0	18.4	37.2
Ekim	27.7	26.3	17.4	28.4	12.0	27.6	8.5	21.4
Kasım	19.1	18.0	14.6	16.1	14.5	20.0	10.6	15.0
Aralık	13.4	12.3	8.3	7.7	12.3	13.6	7.8	10.5
Yıllık	464.7	440.8	569.8	704.5	546.9	464.4	431.4	362.0

3.4.3 Terkos Havzası Gerçek Evapotranspirasyon Miktarları

Terkos havzası genelinde arazi kullanım sınıflarının ortalama ETa katsayıları Şekil 3.18’de yer almaktadır. Şekilden görüldüğü üzere; kıraç, maden, su yüzeyi ve yapılaşmış alanların ETa katsayıları yıl boyunca sabit kalmaktadır. Sazlık/bataklık, orman, doğal bitki örtüsü ve tarım alanlarının ETa katsayıları ise aylara göre değişkenlik göstermektedir.

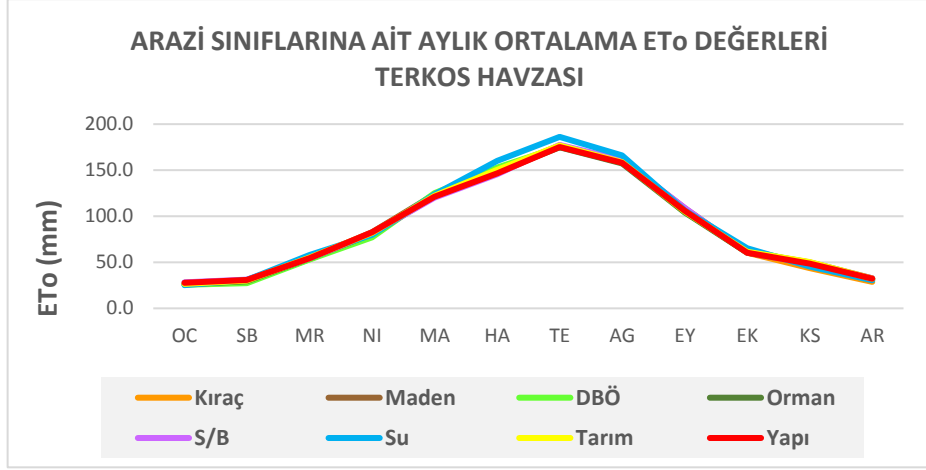
Üzerinde bitki örtüsü olan alanlarda yaz aylarında ETa katsayıları artarken, kış aylarında düşmektedir. Bunun başlıca nedeni bu alanlardaki vejetasyonun mevsimsel olarak değişkenlik göstermesidir. Bu alanlardaki en yüksek ETa katsayılarının mayıs ve haziran alanlarına ait olduğu görülmektedir. Devam eden aylarda ise yine ETa katsayıları düşmekte ancak bu düşüş diğer havzalara göre daha yavaş olmaktadır.



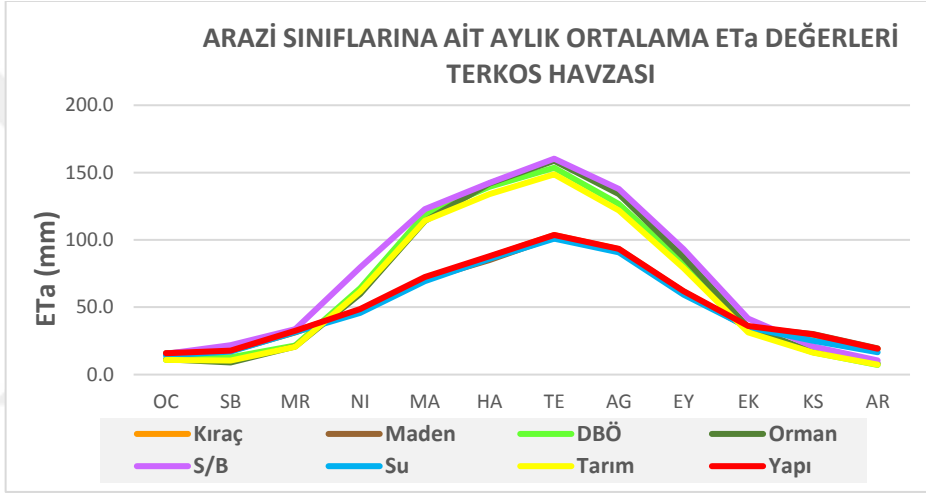
Şekil 3.18 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları ETa katsayıları

Aşağıda verilen Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de ise Terkos havzası arazi kullanım sınıflarına ait sırasıyla aylık ortalama ETo ve ETa miktarlarının grafiksel olarak gösterimi yer almaktadır.

Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de görüldüğü üzere; arazi kullanım sınıflarının aylık ortalama ETo miktarları birbirlerine çok yakın olmakla birlikte, aylık ETa miktarlarında belirgin bir farklılaşma meydana gelmektedir. ETo ve ETa kayıpları yaz aylarında yükselirken kış aylarında düşmektedir. Bununla birlikte arazi kullanım sınıfları arasındaki aylık ETa farkları yaz aylarında daha da artarken kış aylarında azalmaktadır.



Şekil 3.19 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları aylık ET₀ miktarları



Şekil 3.20 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları aylık ET_a miktarları

Tablo 3.8’de Terkos havzası arazi kullanım sınıflarına ait aylık ve yıllık ortalama ET_a miktarları yer almaktadır. Yıllık ET_a kayıplarının en fazla olduğu arazilerin sazlık/bataklık alanlar olduğu görülmektedir. Bu alanlardaki yıllık ortalama ET_a kayıpları yaklaşık 880 mm olarak hesaplanmıştır. Sazlık/bataklık alanlarını ise yıllık ortalama 797 mm ET_a kaybı ile orman alanları takip etmektedir. Üçüncü sırada yer alan mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarındaki yıllık ortalama ET_a kayıpları 787 mm olarak, dördüncü sırada yer alan tarım alanlarındaki yıllık ortalama ET_a kayıpları 757 mm olarak hesaplanmıştır. Kıraç alanlar, maden alanları ve yapılaşmış alanlardaki yıllık ortalama ET_a kayıpları ise birbirine yakın şekilde 609-619 mm aralığında çıkmıştır. Su yüzeylerindeki yıllık ortalama ET_a kayıpları ise 592 mm olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.8 Terkos havzası aylık ve yıllık ortalama ETa miktarları

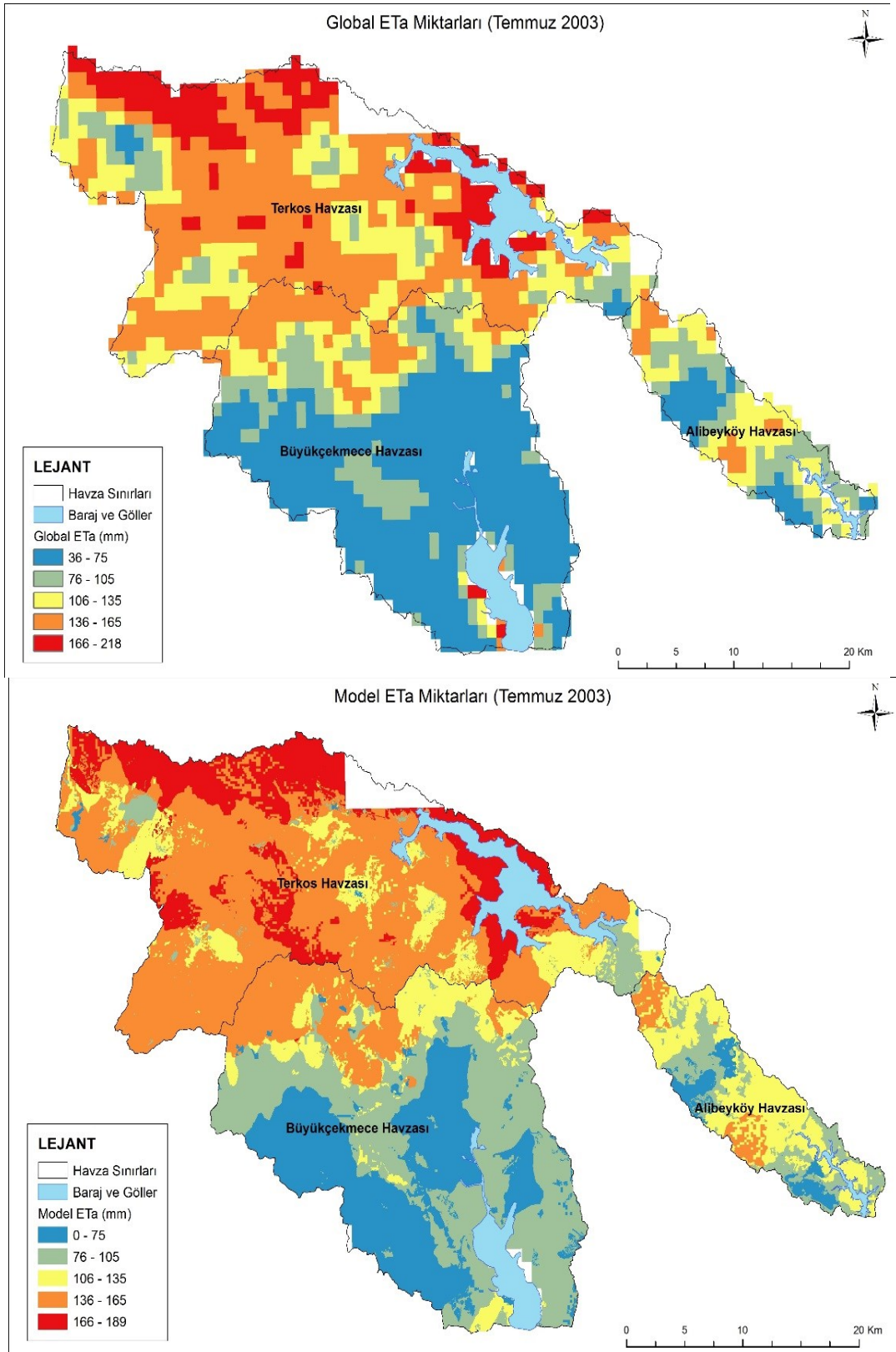
Aylar	Ortalama ETa Miktarları (mm)							
	Kıraç	Maden	DBÖ	Orman	S/B	Su	Tarım	Yapı
Ocak	15.8	15.9	10.8	11.3	15.3	14.3	10.9	15.8
Şubat	17.9	17.5	12.8	8.9	21.7	17.0	10.4	17.7
Mart	32.4	31.5	21.5	20.9	33.8	31.5	20.6	32.5
Nisan	48.0	47.7	64.1	59.9	79.6	45.8	61.9	48.8
Mayıs	71.4	70.7	118.9	113.9	122.9	69.3	114.3	72.4
Haziran	87.5	85.1	139.4	141.8	142.2	86.1	134.0	88.0
Temmuz	103.6	101.9	153.6	158.8	160.3	100.9	148.7	103.7
Ağustos	93.2	92.4	126.6	134.0	137.9	90.6	121.9	93.4
Eylül	61.6	61.6	83.1	87.2	93.2	59.5	79.0	62.1
Ekim	35.7	34.8	32.9	35.2	41.6	35.2	31.3	36.0
Kasım	29.5	30.2	16.7	16.9	20.8	25.1	16.4	29.9
Aralık	19.0	19.5	7.2	8.4	10.5	16.5	7.4	19.2
Yıllık	615.7	608.9	787.6	797.1	880.1	591.8	756.8	619.4

3.4.4 Gerçek Evapotranspirasyon Haritaları

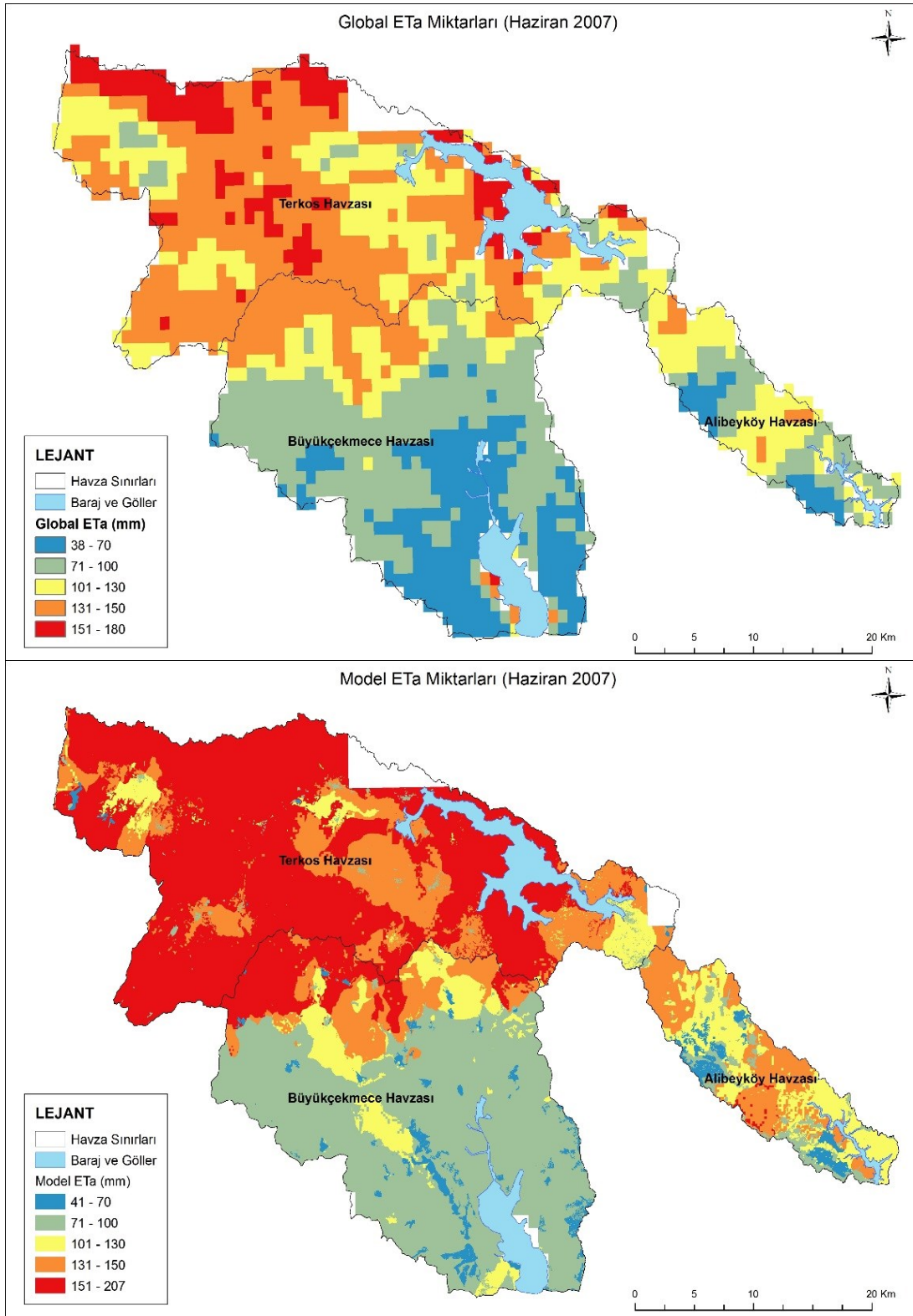
Yukarıda belirtildiği şekilde alt havza alanları arazi kullanım sınıfları için ETa katsayıları belirlendikten sonra, bu ETa katsayılarının arazi kullanım sınıfları aylık ETo değerleri ile çarpımından arazi kullanım sınıflarının aylık ETa miktarları hesaplanmıştır. Bu şekilde çalışma periyodu içerisindeki her ay için ETa miktarları elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan materyal ve yöntemin açıklandığı bölümde ETa katsayılarının hesaplanmasında global evapotranspirasyon (GETa)

haritalarından yararlanıldığı belirtilmişti. GETa haritalarının da 2003 yılından itibaren yayınlandığı, dolayısıyla tez çalışması kapsamında 2003-2015 yılları arasındaki GETa haritalarının kullanıldığı belirtilmişti. Bu açıklamalara dayanarak; aşağıda 6 farklı aya ait GETa haritası ile bu ayların karşılığı olarak tez çalışması kapsamında oluşturulan ETa haritalarının görsel karşılaştırmaları yapılmıştır. Görsel karşılaştırmalar için seçilen aylar, tez çalışmasında kullanılan Landsat uydu görüntülerinin çekim tarihleri esas alınarak belirlenmiştir. Görsel karşılaştırma için hazırlanan haritalar aşağıda sıralanmaktadır (Harita 3.33 – Harita 3.38).

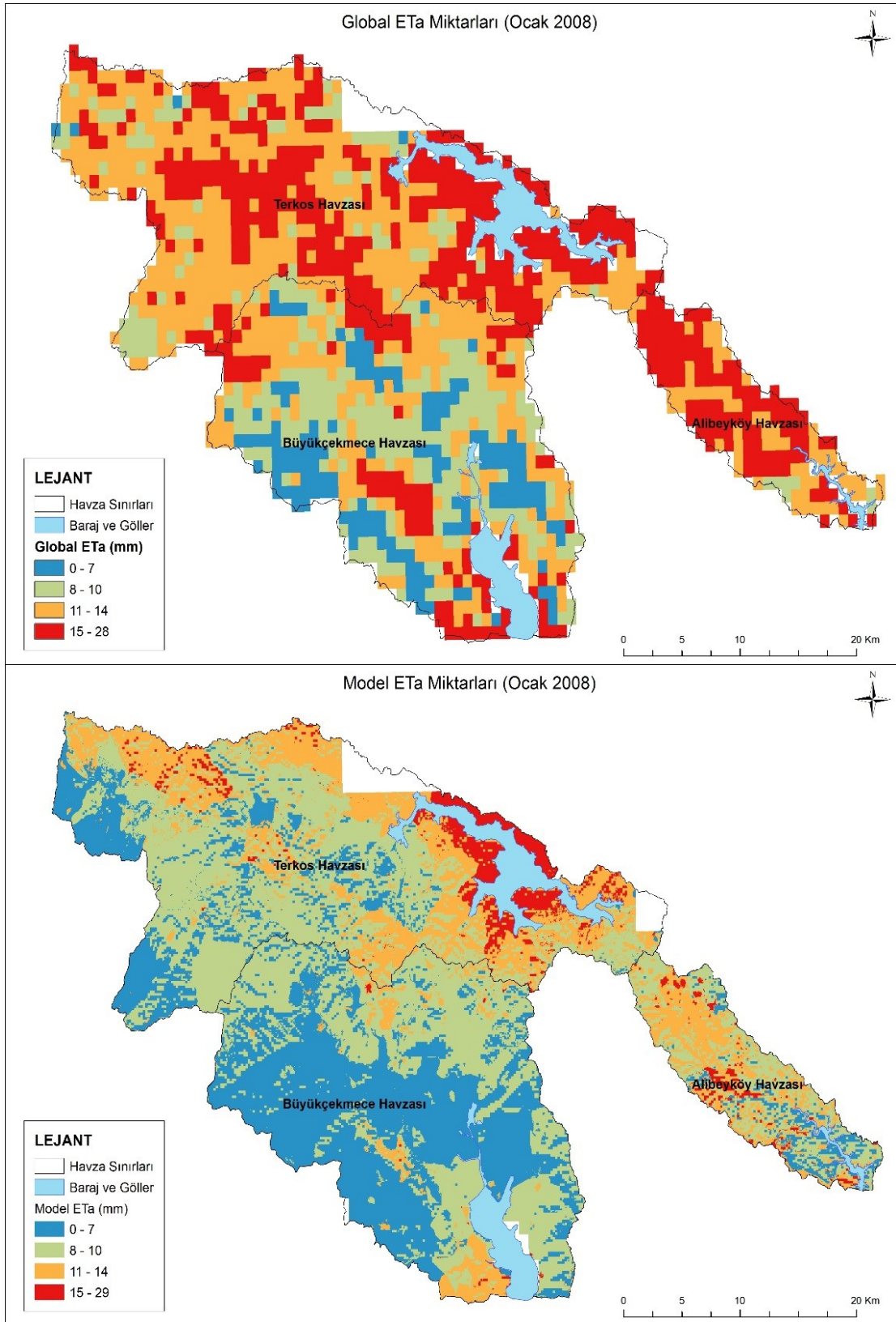
GETa haritaları ile çalışma kapsamında oluşturulan ETa haritaları karşılaştırıldığında bazı farklılıklar olmakla birlikte genel olarak uyumlu oldukları görülmektedir. Esasen arazi kullanım sınıflarına ait ETa katsayıları ve miktarlarının belirlenmesinde kullanılan iterasyona dayalı sayısal çözümleme yönteminde her bir aya ait GETa haritaları ile birebir uyumlu bir modelleme yapılmaya çalışılmamıştır. ETa katsayılarının belirlenmesi kapsamında yapılan sayısal çözümlemede arazi sınıflarının aylık ortalama ETo miktarları ile alt havza alanlarının GETa haritalarına dayanarak hesaplanan aylık ortalama ETa miktarları kullanılmıştır. Böylelikle arazi kullanım sınıflarına ait ETa katsayıları uzun yıllara dayalı aylık ortalama ETo ve ETa miktarlarına göre belirlenmiş olmaktadır. Bu şekilde aylık ortalamaların kullanılmasıyla ETa katsayılarının bazı aylardaki olası ekstrem durumlardan mümkün olduğunca etkilenmeden daha tutarlı bir hesaplama yaklaşımıyla belirlendiği düşünülmektedir.



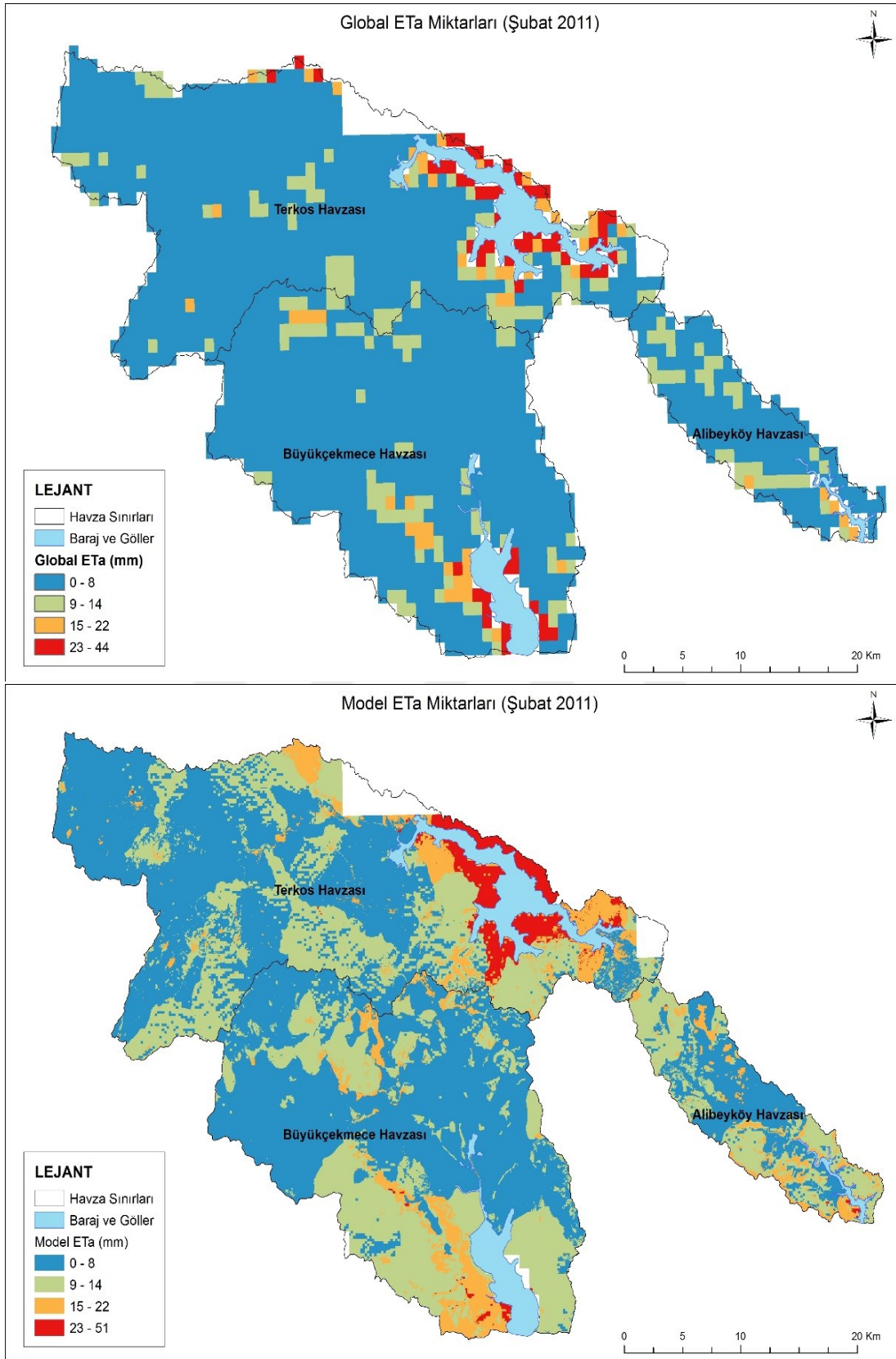
Harita 3.33 Temmuz 2003 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası



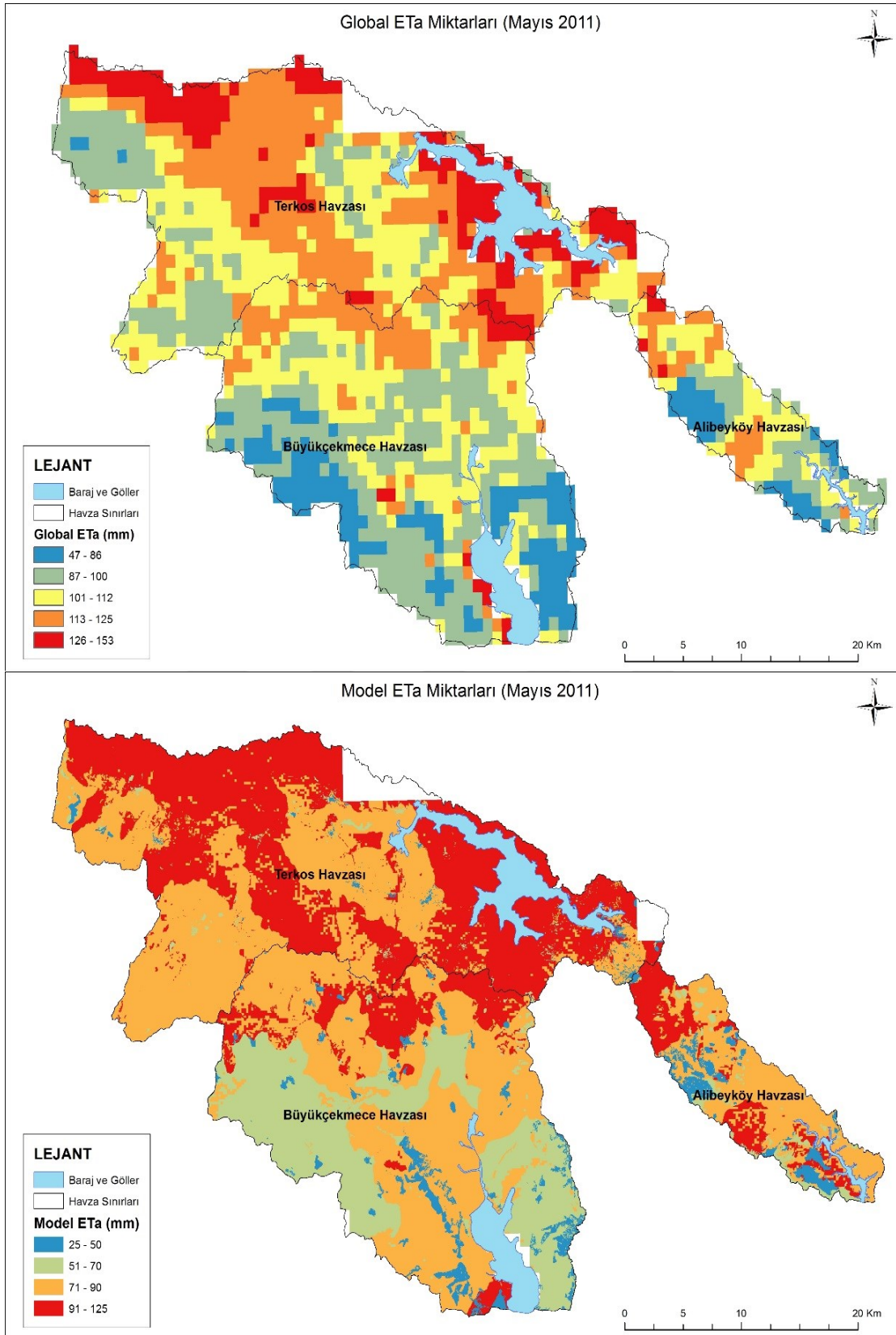
Harita 3.34 Haziran 2007 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası



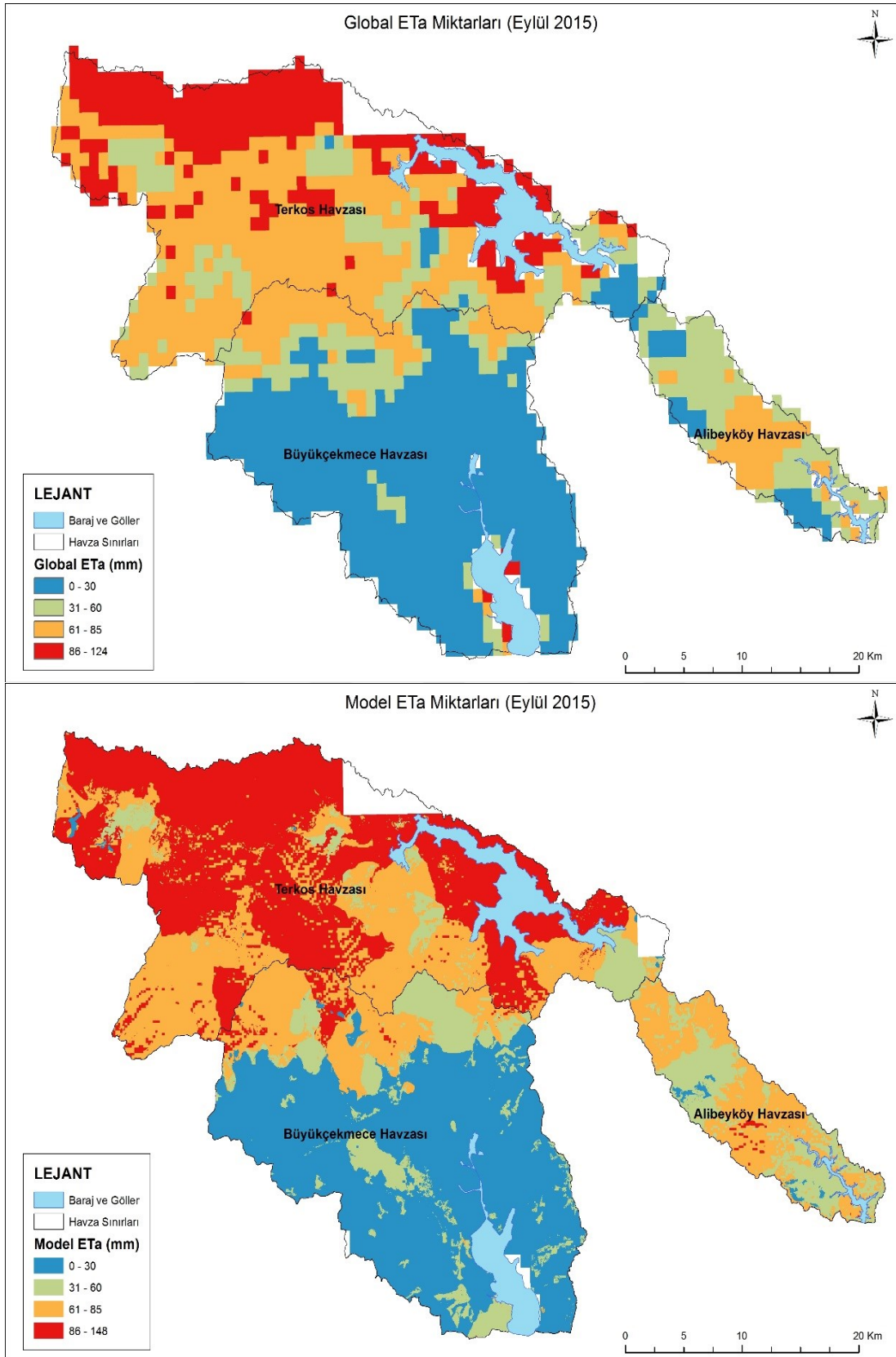
Harita 3.35 Ocak 2008 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası



Harita 3.36 Şubat 2011 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası



Harita 3.37 Mayıs 2011 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası



Harita 3.38 Eylül 2015 GETa ve tez kapsamında oluşturulan ETa haritası

Modellemeye dayalı aylık ETa haritalarındaki değerler ETa katsayıları ile aylık ETo miktarlarının çarpımından elde edilmekte, böylelikle modelden elde edilen aylık ETa miktarları esasen referans değer olan aylık ETo miktarlarından etkilenmektedir. Penman-Monteith yöntemi kullanılarak tez çalışması kapsamında hesaplanan aylık ETo miktarları ve haritaları ise çalışma alanı içerisinden ve yakın çevresinden toplanan meteoroloji ölçüm verilerine dayanarak elde edilmiştir. Diğer bir deyişle ETo haritaları bgesel ölçekte oluşturulmuş daha yüksek hassasiyetli haritalar iken, GETa haritaları küresel ölçekte oluşturulmuş daha düşük hassasiyetli haritalardır. Dolayısıyla aylık GETa haritaları ile modellemeye dayalı oluşturulan aylık ETa haritalarının birebir uyumlu olması beklenmemektedir.

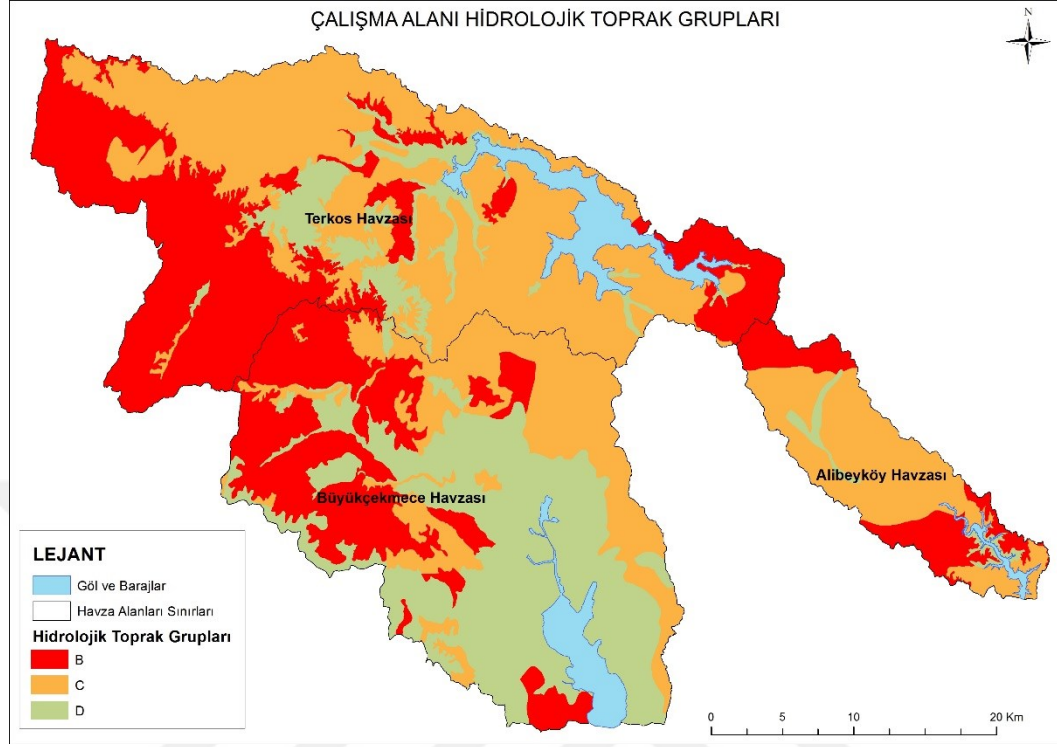
3.5 Havza Alanları Başlangıç Su Tutulması Miktarları

Çalışmada kullanılan materyal ve yöntemin açıklandığı önceki bölümde; yüzey akış eğri numaralarının belirlenmesinde SCS-CN yönteminin kullanıldığı belirtilmişti. Bu bölümde; kullanılan bu yönteme göre belirlenen hidrolojik toprak grupları, arazi kullanım sınıflarının yüzey akış eğri numaraları (CN) ve başlangıç su tutulması miktarları yer almaktadır.

3.5.1 Hidrolojik Toprak Grupları

Çalışma alanı içerisinde büyük toprak grupları ve toprak özellikleri kombinasyonu (BTG-TOK) verilerine dayanarak oluşturulan hidrolojik toprak grupları haritası Harita 3.39'da verilmiştir. şekil incelendiğinde çalışma alanında drenaj kapasitesi yüksek olan A grubu toprak olmadığı görülmektedir. Terkos havzasının güneybatı kesimlerindeki arazilerin drenaj kapasitesi orta olan B grubu siltli topraklardan meydana geldiğı, havzanın diğer kesimlerinde ağırlıklı olarak C grubu drenaj kapasitesi düşük kumlu-killi toprakların yer aldığı, havzanın en doğuda kalan u kesimlerinde yine B grubu siltli toprakların yoğunlaştığı görülmektedir. Drenaj kapasitesi çok düşük D grubu killi topraklar ise havzanın merkez kesimlerinde belli bir bölgede görülmektedir. Tüm bunlara bakarak havzanın genel drenaj kapasitesinin düşük-orta arasında olduğı kabul edilebilir. Bu da sızma kapasitesinin de düşük-orta arasında olduğı anlamına gelmektedir. Özellikle gl

etrafında çoğunlukla sızma kapasitesi düşük olan C grubu kumlu-killi toprakların hâkim olduğu söylenebilir.



Harita 3.39 Hidrolojik toprak grupları

Büyükçekmece havzasına bakıldığında gölün etrafının büyük oranda D grubu drenaj kapasitesi çok düşük killi topraklarla çevrili olduğu görülmektedir. Bu da göl etrafındaki toprakların sızma kapasitesinin çok düşük olduğu anlamına gelmektedir. Terkos havzasındaki B grubu topraklar Büyükçekmece havzasına doğru uzayarak havzanın batı kesimlerini kaplamaktadır. Bu alanlar drenaj kapasitesi orta düzeyde olan siltli topraklardan meydana gelmektedir. Havzanın Terkos havzasına komşu olan kuzey kesimlerinde ise C grubu drenaj kapasitesi düşük kumlu-killi toprakların yoğun olduğu görülmektedir. Genel olarak havzanın drenaj kapasitesinin düşük olduğu söylenebilir. Bu da sızma potansiyelinin de düşük olduğu anlamına gelmektedir.

Alibeyköy havzasına bakıldığında ise orta kesimlerin çoğunlukla sızma kapasitesi düşük olan C grubu kumlu-killi topraklardan oluştuğu görülmektedir. Havzanın Terkos havzasına komşu olan kuzey kesimleri ise drenaj kapasitesi orta olan B grubu siltli topraklardan meydana gelmektedir. Yine baraj gölünün etrafında B grubu toprakların yoğunlaştığı görülmektedir. Drenaj kapasitesi çok düşük olan D

grubu killi toprakların Alibeyköy havzasının ana drenaj ağı üzerindeki dar bir alanda yoğunlaştığı görülmektedir. Havza topraklarının genel itibariyle düşük drenaj kapasitesine, diğer bir deyişle düşük sızma potansiyeline sahip olduğu, ancak baraj gölü etrafında sızma kapasitesinin düşük-orta olarak nitelendirilebileceği görülmektedir.

3.5.2 Yüzey Akış Eğri Numaraları

Çalışma kapsamında belirlenen arazi kullanım sınıfları olan kıraç alanlar, maden alanları, doğal bitki örtüsü alanları, orman alanları, sazlık/bataklık alanlar, su yüzeyleri, tarım alanları ve yapılaşmış alanlar için; hidrolojik toprak grupları ve NDVI değerlerine göre zayıf-orta-iyi şeklinde belirlenen arazi şartları verileri kullanılarak SCS-CN yöntemine göre yüzey akış eğri numaraları (CN numaraları) belirlenmiştir.

Havza alanları genelinde arazi kullanım sınıfları için belirlenen CN numaraları Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.9 Arazi kullanım sınıflarına ait CN numaraları

Arazi Kullanım Sınıfı	Alibeyköy	Büyükçekmece	Terkos
Kıraç	90	92	87
Maden	90	92	86
Doğal Bitki Örtüsü	80	80	78
Orman	71	68	68
Sazlık/Bataklık	100	100	100
Su Yüzeyi	100	100	100
Tarım	78	78	74
Yapı	89	81	77

Tablo 3.9’da görüldüğü üzere; havzalardaki en düşük CN numaraları orman alanlarına aittir. CN numaralarının düşük olması yağış esnasında yüzeysel akışa geçen su miktarının daha aza olması anlamına gelmektedir. Orman alanlarını tarım alanları takip etmektedir. En yüksek CN numaraları ise su yüzeyleri ve sulak alanlara aittir. Bu alanları ise kıraç alanlar ve maden alanları takip etmektedir. CN numaralarının büyük olması yağış sularının doğrudan akışa geçme potansiyelinin de yüksek olması anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle CN numaraları büyüdükçe zemindeki başlangıç su tutma potansiyeli düşmektedir.

Havza alanları genelinde arazi kullanım sınıflarına ait CN numaraları yukarıdaki gibidir. Ancak arazi sınıflarının CN numaraları alt havza ölçeğinde değişkenlik göstermektedir. Buna göre alt havza alanları arazi kullanım sınıflarına ait CN numaraları eklerde verilmiştir.

3.5.3 Başlangıç Su Tutulması Miktarları

Çalışma kapsamında belirlenen arazi kullanım sınıfları olan kıraç alanlar, maden alanları, doğal bitki örtüsü alanları, orman alanları, sazlık/bataklık alanlar, su yüzeyleri, tarım alanları ve yapılaşmış alanlar için yukarıda belirtilen CN eğri numaralarına dayalı olarak başlangıç su tutulması miktarları hesaplanmıştır. Havza alanları genelinde arazi kullanım sınıfları için hesaplanan başlangıç su tutulması miktarları Tablo 3.10’da verilmiş olup tablodan görüleceği üzere başlangıç su tutulması miktarlarının en yüksek olduğu alanlar orman alanları olarak bulunmuştur. Kıraç ve maden alanları ise başlangıç su tutulması miktarları en düşük olan arazi kullanım sınıfları olarak sıralanmaktadır. Yapılaşmış alanlar ise havzadan havzaya farklılık göstermektedir. Alibeyköy havzasındaki yoğun yapılaşmaya bağlı olarak yerleşim alanlarındaki başlangıç su tutulması miktarları diğer havzalardaki yerleşim alanlarına göre daha düşüktür. Terkos havzası ise yapılaşmanın diğer havzalara göre en seyrek olduğu havzadır. Buna bağlı olarak bu havzadaki yapılaşmış alanların başlangıç su tutulması miktarları diğer havzalara göre daha yüksektir. Büyükçekmece havzası ise bu iki havza arasında yer almaktadır. Bu havzanın yapılaşma yoğunluğu diğer iki havzanın arasında kaldığından başlangıç su tutulması miktarları da diğer iki havzanın arasında bir değer almıştır.

Tablo 3.10 Arazi kullanım sınıflarına ait başlangıç su tutulması miktarları

Arazi Kullanım Sınıfı	Alibeyköy	Büyükçekmece	Terkos
Kıraç	6.0	4.1	7.5
Maden	5.9	4.5	8.0
Doğal Bitki Örtüsü	13.1	12.4	14.0
Orman	21.9	24.6	23.1
Sazlık/Bataklık	0.0	0.0	0.0
Su Yüzeyi	0.0	0.0	0.0
Tarım	14.5	14.5	16.5
Yapı	6.8	11.6	15.6

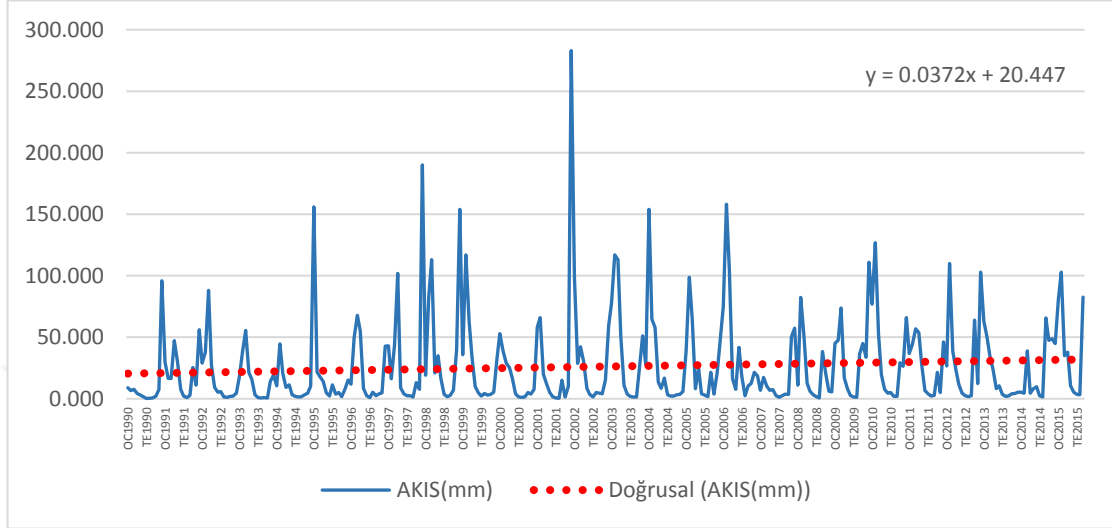
Havza alanları genelinde arazi kullanım sınıflarına ait başlangıç su tutulması miktarları yukarıdaki gibidir. Ancak arazi sınıflarının başlangıç su tutulması miktarları alt havza ölçeğinde değişkenlik göstermektedir. Buna göre alt havza alanları arazi kullanım sınıflarına ait başlangıç su tutulması miktarları eklerde verilmiştir.

3.6 Yüzeysel Akış Ölçümlerinin Analizi

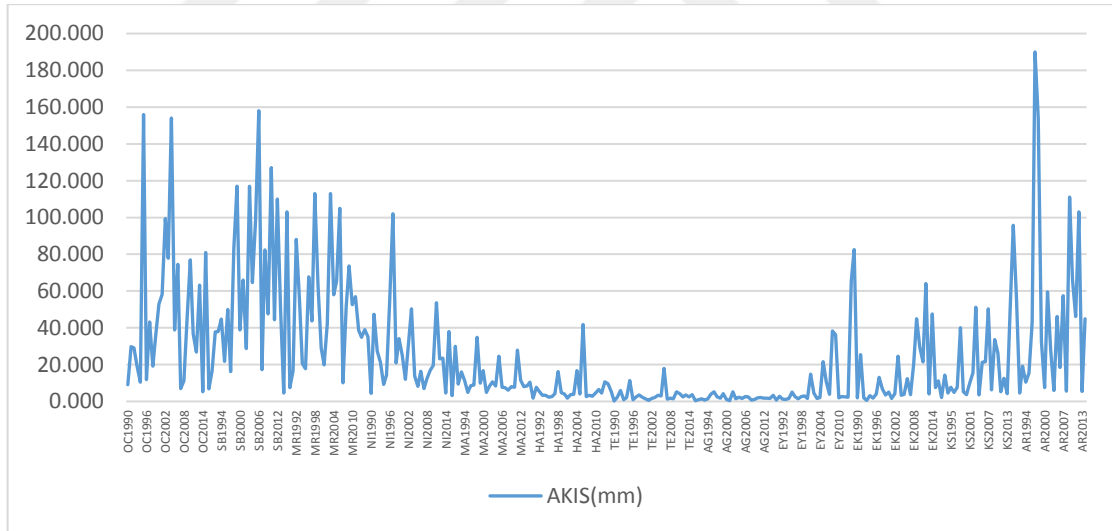
Çalışma alanı içerisinde DSİ tarafından işletilen dört adet akım gözlem istasyonu (AGİ) bulunmaktadır. AGİ'lerin 1990-2015 yılları arasındaki aylık toplam akış kayıtlarının zaman serileri oluşturularak akış grafikleri hazırlanmıştır. Bu grafikler kullanılarak AGİ yüzeysel akış ölçümlerinin analizleri yapılmıştır.

Şekil 3.21'de Terkos havzası içerisinde yer alan D02A028 nolu Istrancadere-Karamandere akım gözlem istasyonunda ölçülen Ocak 1990- Eylül 2015 yılları arasındaki aylık toplam yüzeysel akış miktarları yer almaktadır. Şekil 3.21 incelendiğinde 1990-2015 arası dönemde yüzeysel akış miktarında düşük oranda da olsa bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Şekil 3.22'de ise akış ölçümlerinin aylara göre gruplandırılmış zaman serisi grafiği görülmektedir. Grafikten; ay

bazında gruplandırılmış akış ölçümlerinde görülen salınım farklarının kış aylarında daha yüksek iken yaz aylarında bu salınımların azaldığı görülmekte, ancak tarihsel süreç içerisinde her bir ayın kendi içerisindeki salınımlarında önemli bir farklılık görülmemektedir.



Şekil 3.21 Istrancadere-Karamandere akım gözlem istasyonu ölçümleri



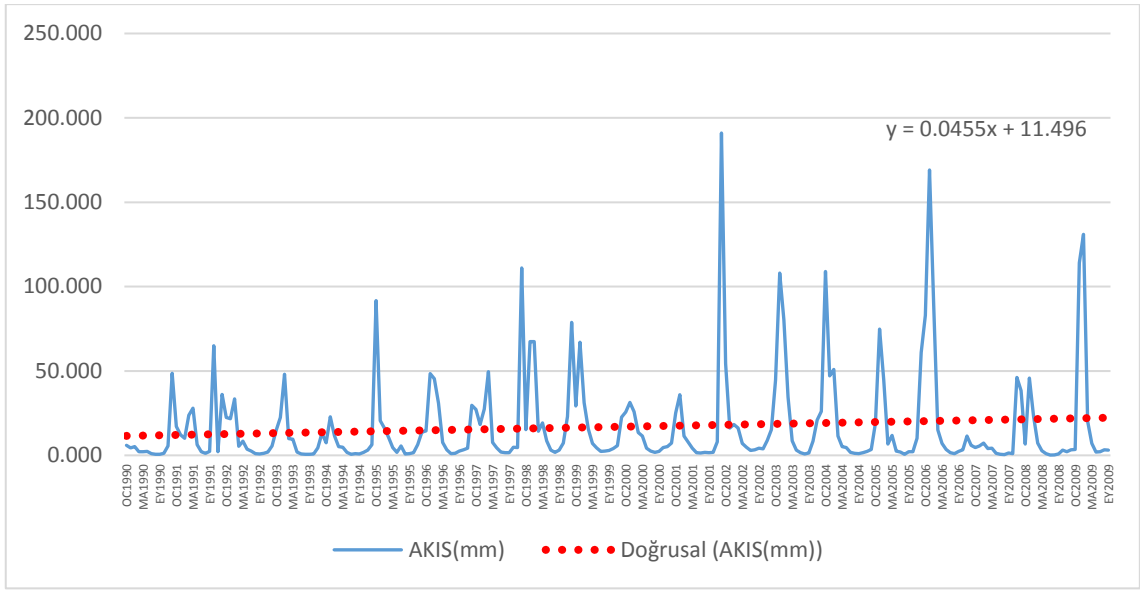
Şekil 3.22 Istrancadere-Karamandere aylık gruplandırılmış akış ölçümleri

Aşağıda yer alan Tablo 3.11'de AGİ'ye ait aylık akış miktarları ortalamaları yer verilmiştir. Aylık ortalamalara bakıldığında en yüksek akışların ortalama 61 mm ile şubat ayında en düşük akışların ise ortalama 2 mm ile ağustos ayında gerçekleştiği görülmektedir.

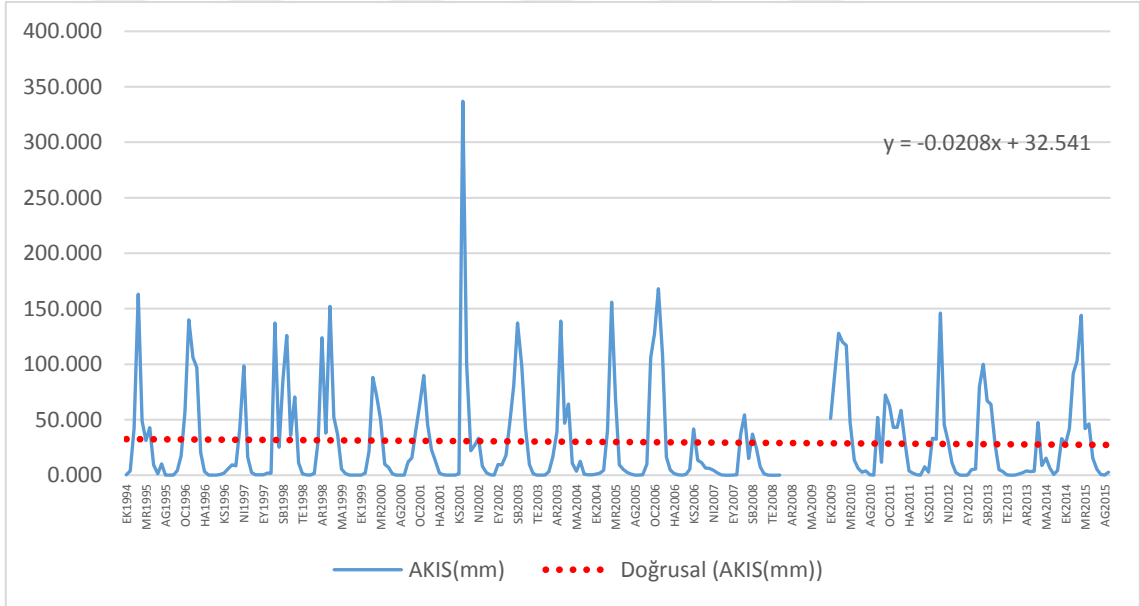
Tablo 3.11 Istrancadere-Karamandere akım ölçüm ortalamaları

Ay	Ortalama Akış (mm)
Ocak	48.9
Şubat	61.2
Mart	50.7
Nisan	26.6
Mayıs	12.1
Haziran	6.8
Temmuz	3.4
Ağustos	2.1
Eylül	12.1
Ekim	14.1
Kasım	16.8
Aralık	51.1
Yıllık	305.7

Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te sırasıyla Büyükçekmece havzası içerisinde yer alan D02A015 nolu Karasudere-İnceğiz akım gözlem istasyonu ile D02A016 nolu Sarısudere-İzzettin akım gözlem istasyonlarında ölçülen Ocak 1990- Eylül 2015 yılları arasındaki aylık toplam yüzeysel akış miktarları yer almaktadır. Büyükçekmece havzasında 1990-2015 arasındaki dönemde Karasudere-İnceğiz akım gözlem istasyonu yüzeysel akış miktarında düşük oranda bir artış eğilimi olduğu görülürken, Sarısudere-İzzettin akım gözlem istasyonu yüzeysel akış miktarında düşük oranda bir azalma eğilimi olduğu görülmektedir.

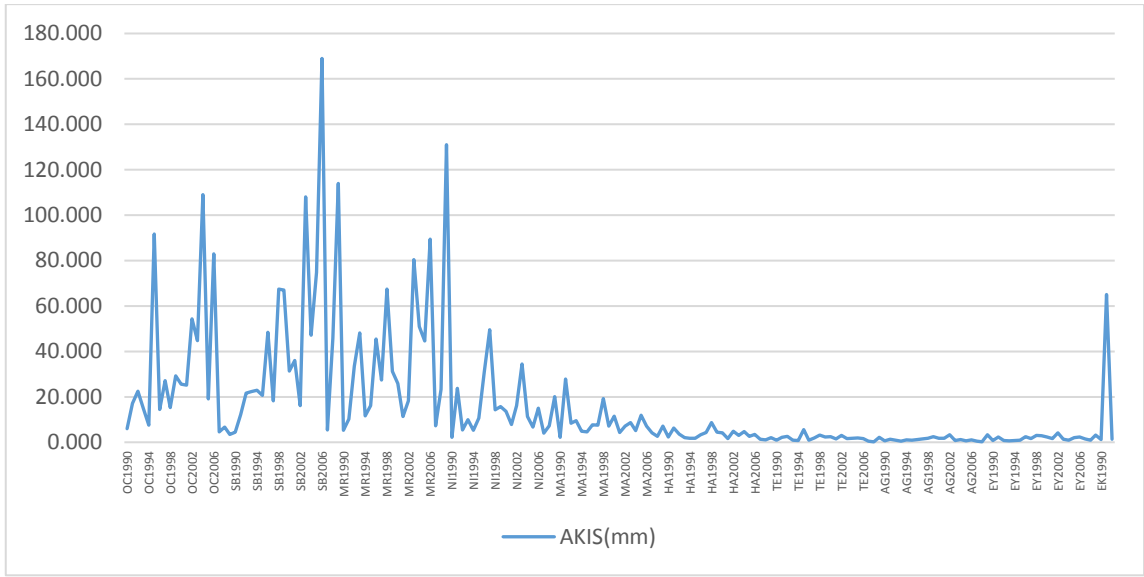


Şekil 3.23 Karasudere-İnceğiz akım gözlem istasyonu ölçümleri

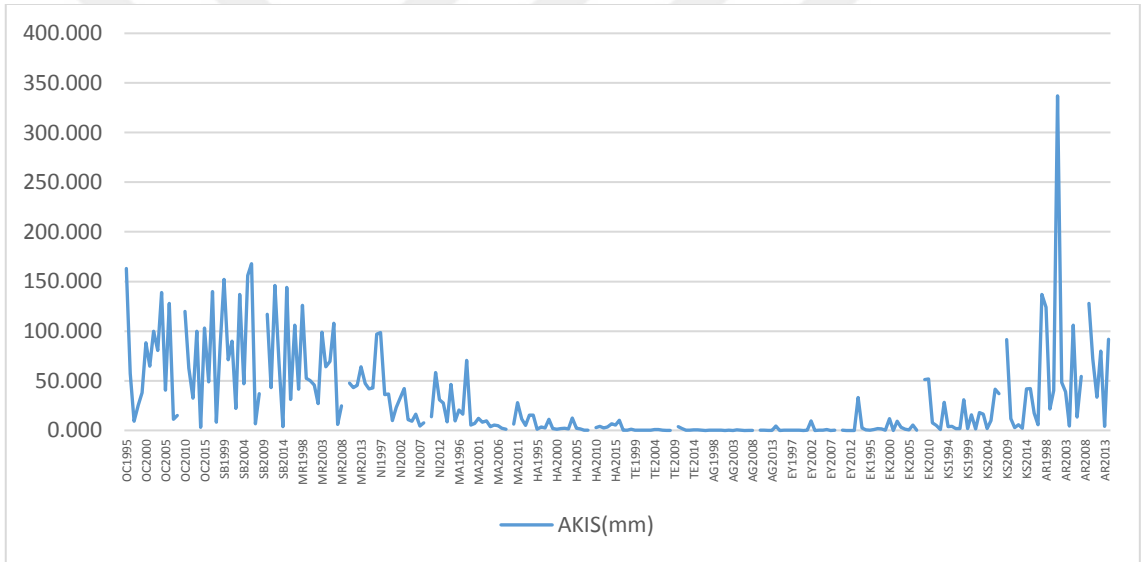


Şekil 3.24 Sarısudere-İzzettin akım gözlem istasyonu ölçümleri

Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'da ise akış ölçümlerinin aylara göre gruplandırılmış zaman serisi grafikleri görülmektedir. Grafiklerden; akış ölçümlerinde görülen salınım farklarının kış aylarında daha yüksek iken yaz aylarında bu salınımların azaldığı görülmekte ancak tarihsel süreç içerisinde her bir ayın kendi içerisindeki salınımlarında önemli bir farklılık görülmemektedir.



Şekil 3.25 Karasudere-İncegiz aylık gruplandırılmış akış ölçümleri



Şekil 3.26 Sarısudere-İzzettin aylık gruplandırılmış akış ölçümleri

Tablo 3.12’de AGİ’lere ait aylık akış miktarları ortalamaları yer almaktadır. Karasudere-İncegiz’de ölçülen aylık akış ortalamalarına bakıldığında en yüksek akışların ortalama 48 mm ile şubat ayında gerçekleştiği görülmektedir. En düşük akımlar ise ortalama 1,3 mm ile ağustos ayında meydana gelmiştir.

Sarısudere-İzzettin’de en yüksek akışlar ortalama 84,5 mm ile şubat ayında meydana gelirken en düşük akışlar ortalama 0,4 mm ile ağustos ayında meydana gelmiştir.

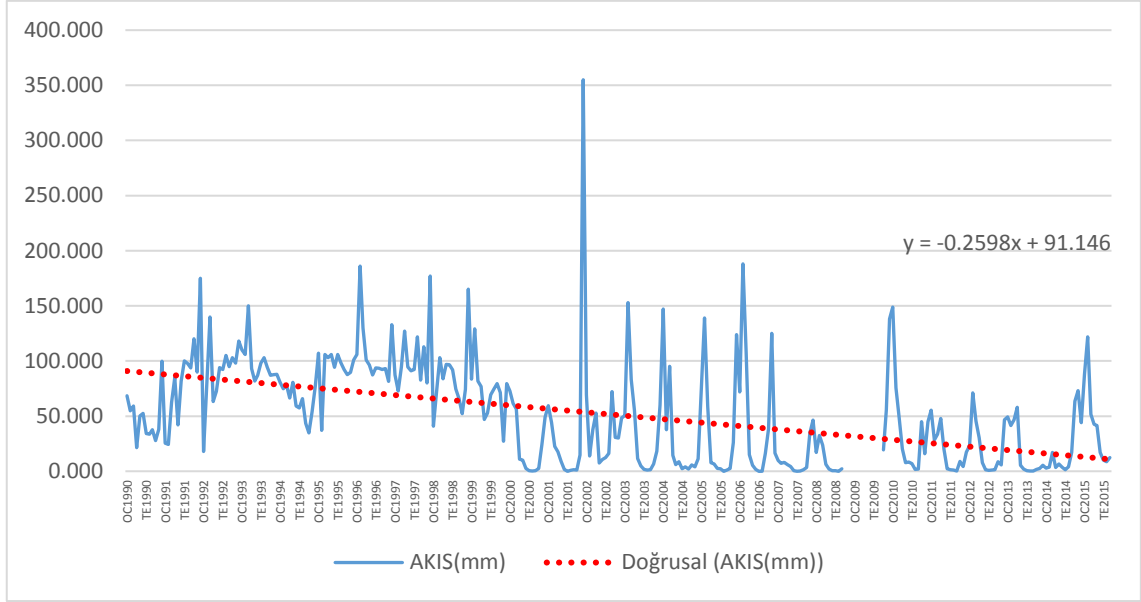
Tablo 3.12 Karasudere-İnceğiz Sarısudere-İzzettin akım ölçüm ortalamaları

Ay	Ortalama Akış (mm)	
	Karasudere-İnceğiz	Sarısudere-İzzettin
Ocak	31.1	69.1
Şubat	47.6	84.5
Mart	38.9	57.0
Nisan	15.2	32.6
Mayıs	8.4	12.9
Haziran	3.4	3.4
Temmuz	1.9	1.1
Ağustos	1.3	0.4
Eylül	1.8	2.4
Ekim	6.4	9.1
Kasım	9.3	17.1
Aralık	37.8	70.0
Yıllık	203.1	359.5

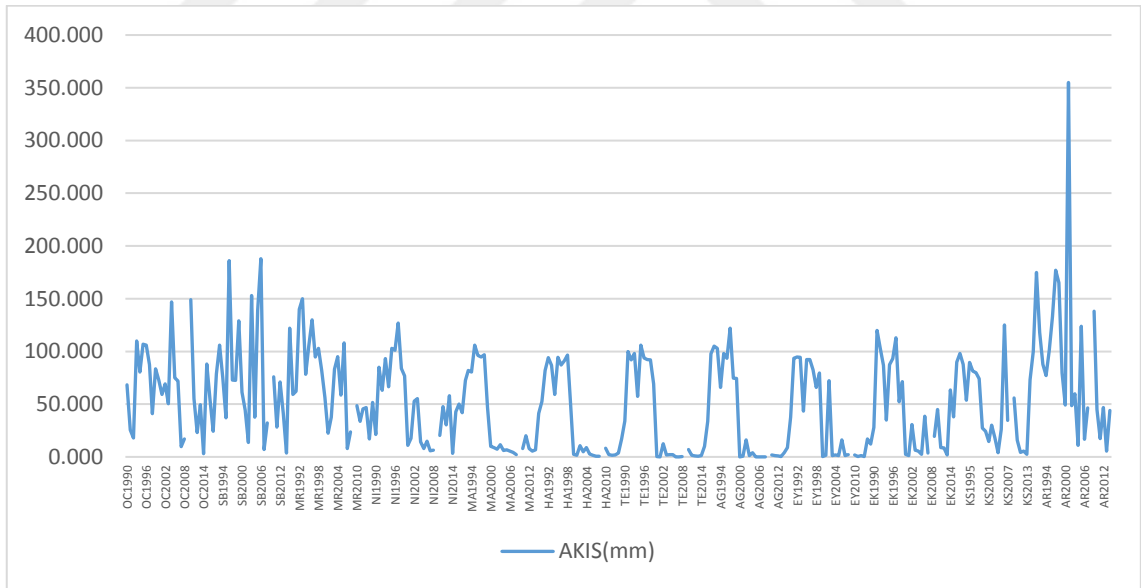
Şekil 3.27’de Alibeyköy havzası içerisinde yer alan D02A047 nolu Malovadere-Pirinççiköy akım gözlem istasyonunda ölçülen Ocak 1990- Eylül 2015 yılları arasındaki aylık toplam yüzeysel akış miktarları yer almaktadır. Alibeyköy havzası 1990-2015 yılları arası aylık yüzeysel akış miktarlarına bakıldığında belirgin bir azalma eğiliminin olduğu görülmektedir.

Şekil 3.28’de ise akış ölçümlerinin aylara göre gruplandırılmış zaman serisi grafiği görülmektedir. Grafikten; akış ölçümlerinde görülen salınım farklarının tarihsel süreç içerisinde değişmiş olduğu görülmektedir. Başlangıçta kış aylarında daha

yüksek yaz aylarında daha düşük olan bu salınımlarda 2000’li yıllardan itibaren bir değişim olduğu ve yaz aylarındaki salınımların arttığı ve zaman zaman neredeyse kış aylarındaki ölçümlere ulaştığı görülmektedir.



Şekil 3.27 Malovadere-Pirinççiköy akım gözlem istasyonu ölçümleri



Şekil 3.28 Malovadere-Pirinççiköy aylık gruplandırılmış akış ölçümleri

Tablo 3.13’te ise AGİ’ye ait aylık akış miktarları ortalamaları yer almaktadır. Aylık akış ortalamasının en yüksek olduğu ay 92,5 mm ile aralık ayı, en düşük olduğu ay ise 34,6 mm ile haziran ayı olarak bulunmuştur.

Tablo 3.13 Malovadere-Pirinçciköy akım ölçüm ortalamaları

Ay	Ortalama Akış (mm)
Ocak	66.7
Şubat	74.2
Mart	69.7
Nisan	48.4
Mayıs	36.8
Haziran	34.6
Temmuz	35.0
Ağustos	36.3
Eylül	36.3
Ekim	42.8
Kasım	48.1
Aralık	92.5
Yıllık	621.4

3.7 Modellerden Elde Edilen Sonuçlar

3.7.1 Havza Yağış Modelleri

Havza alanlarındaki orman alanı varlığı ile aylık yağış miktarı arasında SPSS yazılımı kullanılarak yapılan lineer regresyon analizine dayalı modelleme sonuçları aşağıda verilmiştir.

3.7.1.1 Alibeyköy Havzası Yağış Modeli

Alibeyköy havzasında uzun yıllara dayalı eklenik orman alanları verilerinin bağımsız değişken olarak, uzun yıllara dayalı eklenik aylık yağış verilerinin de

bağımlı değişken olarak kullanıldığı regresyon analizi sonuçları aşağıda verilmiştir.

Model Özeti:

- Korelasyon katsayısı (R): 0.998
- Determinasyon katsayısı (R²): 0.996
- Model F-testi değeri: 22432,005
- Model F-testi anlamlılık katsayısı: 0,000
- Regresyon sabiti: -34178362,475
- Bağımsız değişken katsayısı: 134866,874

Regresyon analizi sonuçlarına bakıldığında; R² determinasyon katsayısının 0,996 gibi oldukça yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir. Regresyon modelinde aylık orman alanı miktarlarının eklenik verileri bağımsız değişken olarak, aylık toplam yağış verilerinin eklenik verileri ise bağımlı değişken olarak regresyon analizine girmiştir. Regresyon sabiti -34178362,475 olarak bulunmuş, bağımsız değişkenin regresyon katsayısı ise 134866,874 olarak bulunmuştur. Modelin F testi anlamlılık katsayısı 0,05'ten küçük bulunmuş, böylelikle modelin anlamlı olduğu anlaşılmıştır. Regresyon analizi sonuçlarına göre Alibeyköy havzası için yağış modeli denklemi (3.1) eşitliğinde verilmiştir.

$$y = -34178362,475 + 134866,874 * X \quad (3.1)$$

Eşitlikte; y: regresyon modeline göre hesaplanan eklenik yağış miktarı (m³/ay), X: eklenik orman alanı miktarı (km²) olarak tanımlanmaktadır.

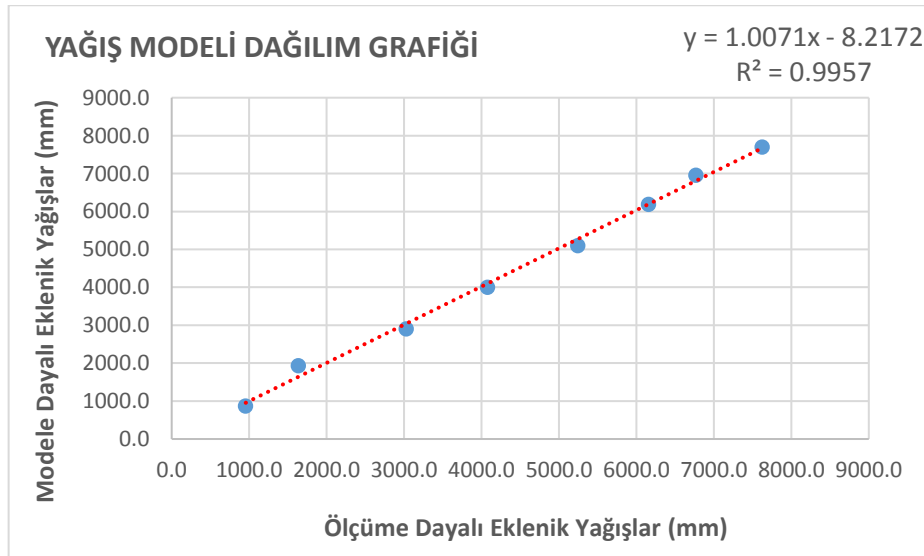
Modellemede kullanılan hesaplama dönemleri baz alınarak, modele dayalı eklenik yağış miktarları ile ölçüme dayalı eklenik yağış miktarları arasında dağılım grafikleri oluşturulmuştur.

Tablo 3.14'de hesaplama dönemleri baz alınarak hesaplanan modele dayalı eklenik yağışlar ile ölçüme dayalı eklenik yağışlar ve bunların arasındaki farklar verilmiştir. Farkların ilk dönemlerde nispeten yüksek olmasına karşın sekiz dönem sonunda %1 mertebelerine düştüğü görülmektedir. Farklardaki bu düşüş trendi modelin tahmin gücünün uzun vadede daha da yükseldiğinin bir göstergesidir.

Şekil 3.29'da ise Alibeyköy havzasına ait yağış modeli dağılım grafiği yer almaktadır. Grafiğe bakıldığında R^2 katsayısının 0,996 gibi yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir.

Tablo 3.14 Alibeyköy havzası yağış modeli sonuçları

Hesaplama Dönemi	Ölçüme Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Modele Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Fark
1	955.8	872.1	-8.8%
2	1634.3	1938.8	18.6%
3	3029.6	2903.7	-4.2%
4	4079.0	4005.0	-1.8%
5	5243.8	5099.2	-2.8%
6	6156.4	6193.2	0.6%
7	6767.2	6960.7	2.9%
8	7622.2	7701.7	1.0%



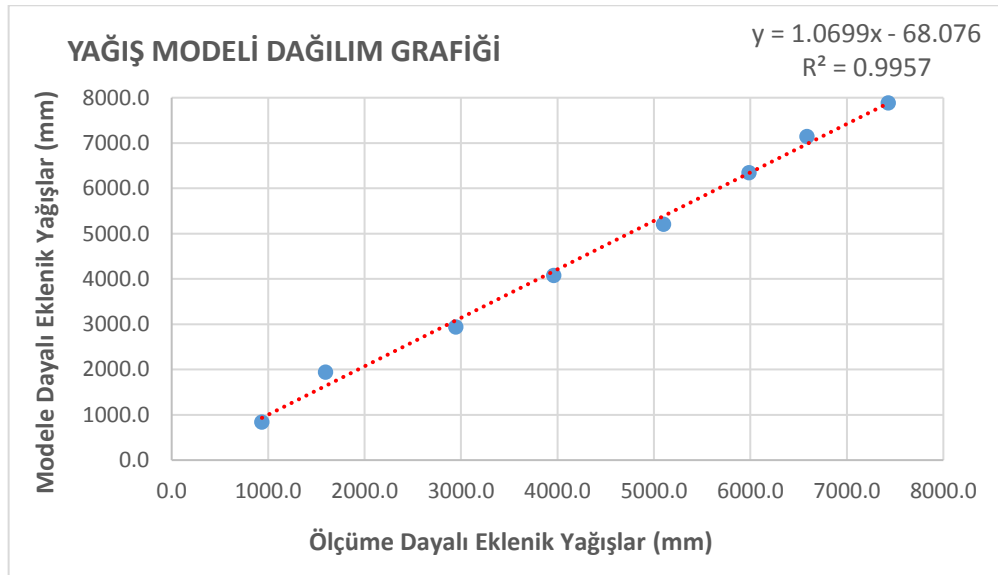
Şekil 3.29 Alibeyköy havzası yağış modeli dağılım grafiği

Alibeyköy Havzası Yağış Modelinin Test Edilmesi:

Alibeyköy havzası su toplama alanı kapsamında oluşturulan yağış modeli havza içerisinde yer alan DSİ akım gözlem istasyonu (DSİ-AGİ) su toplama alanı için çalıştırılarak test edilmiştir. Bu test kapsamında; Alibeyköy havzası bütününe göre oluşturulan yağış modelinden elde edilen regresyon sabiti ve regresyon katsayısı kullanılarak, DSİ-AGİ istasyonu su toplama alanı içerisindeki orman alanı varlığına göre eklenik yağış miktarları hesaplanmıştır. Modelden elde edilen bu aylık eklenik yağışlar ile DSİ-AGİ su toplama alanı için yağış haritaları kullanılarak hesaplanan aylık eklenik yağışların dağılım grafikleri oluşturularak yağış modelinin başarısı ölçülmüştür.

Şekil 3.30'da yer alan bu dağılım grafiğine göre; model hesaplama dönemlerine ait ölçüm değerleri ile tahmin değerleri arasında yüksek oranda bir uyum olduğu ve modelin R^2 katsayısının 0,996 gibi yüksek bir düzeyde çıktığı görülmektedir.

Tablo 3.15'de ise hesaplama dönemlerine ait ölçüm ve tahmin değerleri arasındaki farklar yer almaktadır. Farkların ilk dönemlerde nispeten yüksek olmasına karşın sekiz dönem sonunda %6 mertebelerine düştüğü görülmektedir. Farklardaki bu düşüş trendi, modelin tahmin gücünün uzun vadede daha da yükseldiğinin bir göstergesidir.



Şekil 3.30 Alibeyköy havzası yağış modeli testi dağılım grafiği

Tablo 3.15 Alibeyköy havzası yağış modeli test sonuçları

Hesaplama Dönemi	Ölçüme Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Modele Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Fark
1	935.4	841.1	-10.1%
2	1596.3	1946.5	21.9%
3	2944.0	2941.3	-0.1%
4	3960.7	4079.1	3.0%
5	5099.9	5209.6	2.2%
6	5984.5	6347.0	6.1%
7	6585.1	7148.8	8.6%
8	7429.4	7889.9	6.2%

3.7.1.2 Büyükçekmece Havzası Yağış Modeli

Büyükçekmece havzasında uzun yıllara dayalı eklenik orman alanları verilerinin bağımsız değişken olarak, uzun yıllara dayalı eklenik aylık yağış verilerinin de bağımlı değişken olarak kullanıldığı regresyon analizi sonuçları aşağıda verilmiştir.

Model Özeti:

- Korelasyon katsayısı (R): 0,998
- Determinasyon katsayısı (R^2): 0,996
- Model F-testi değeri: 24758,866
- Model F-testi anlamlılık katsayısı: 0,000
- Regresyon sabiti: -53574356,569
- Bağımsız değişken katsayısı: 392504,021

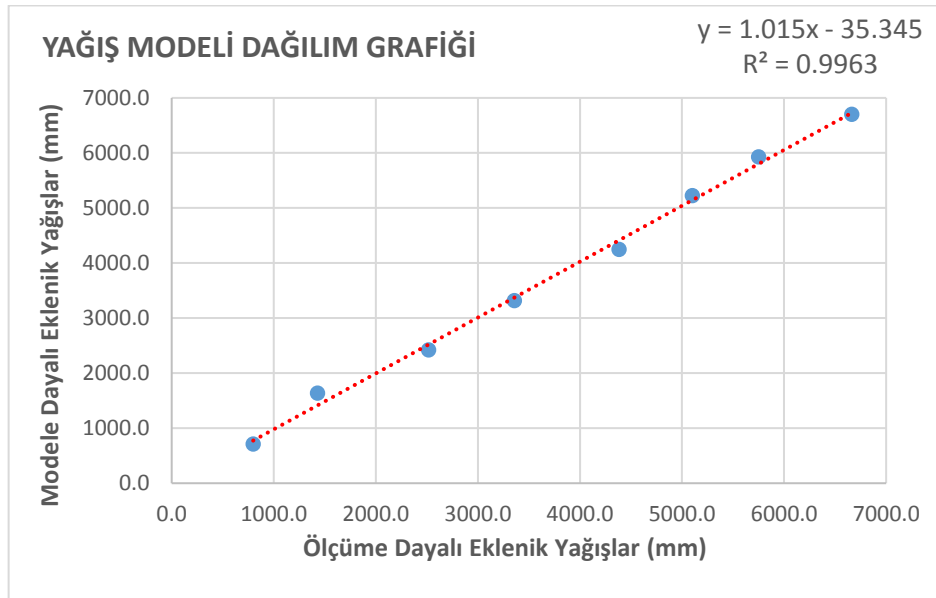
Regresyon analizi sonuçlarına bakıldığında; R^2 determinasyon katsayısının 0,996 gibi oldukça yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir. Regresyon modelinde aylık

orman alanı miktarlarının eklenik verileri bağımsız değişken olarak, aylık toplam yağış verilerinin eklenik verileri ise bağımlı değişken olarak regresyon analizine girmiştir. Regresyon sabiti -53574356,569 olarak bulunmuş, bağımsız değişkenin regresyon katsayısı ise 392504,021 olarak bulunmuştur. Modelin F testi anlamlılık katsayısı 0,05'ten küçük bulunmuş, böylelikle modelin anlamlı olduğu anlaşılmıştır. Buna göre Büyükçekmece havzası için yağış modeli denklemi (3.2) eşitliğinde verilmiştir.

$$y = -53574356,569 + 392504,021 * X \quad (3.2)$$

Eşitlikte; y: regresyon modeline göre hesaplanan eklenik yağış miktarı (m³/ay), X: eklenik orman alanı miktarı (km²) olarak tanımlanmaktadır.

Modellemede kullanılan hesaplama dönemleri baz alınarak modele dayalı toplam yağış miktarları ile ölçüme dayalı toplam yağış miktarları arasındaki dağılım grafikleri oluşturulmuş ve bu dağılım grafiklerine göre R² katsayıları hesaplanmıştır. Büyükçekmece havzası için hazırlanan yağış modellemesi dağılım grafiği Şekil 3.31'de verilmiştir. Grafiğe bakıldığında R² katsayısının 0,996 gibi yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir. Tablo 3.16'da hesaplama dönemlerine ait ölçüm ve tahmin değerleri arasındaki farklar yer almaktadır.



Şekil 3.31 Büyükçekmece havzası yağış modeli dağılım grafiği

Tablo 3.16 Büyükçekmece havzası yağış modeli sonuçları

Hesaplama Dönemi	Ölçüme Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Modele Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Fark
1	798.2	708.4	-11.2%
2	1431.0	1635.1	14.3%
3	2516.3	2417.1	-3.9%
4	3359.3	3318.2	-1.2%
5	4385.0	4248.4	-3.1%
6	5102.8	5223.8	2.4%
7	5751.8	5927.1	3.0%
8	6664.4	6698.8	0.5%

Ölçüm ve tahmin değerleri arasındaki farkların ilk dönemlerde nispeten yüksek olmasına karşın sekiz dönem sonunda %1 mertebelerine düştüğü görülmektedir. Farklardaki bu düşüş trendi modelin tahmin gücünün uzun vadede daha da yükseldiğinin bir göstergesidir.

Büyükçekmece Havzası Yağış Modelinin Test Edilmesi:

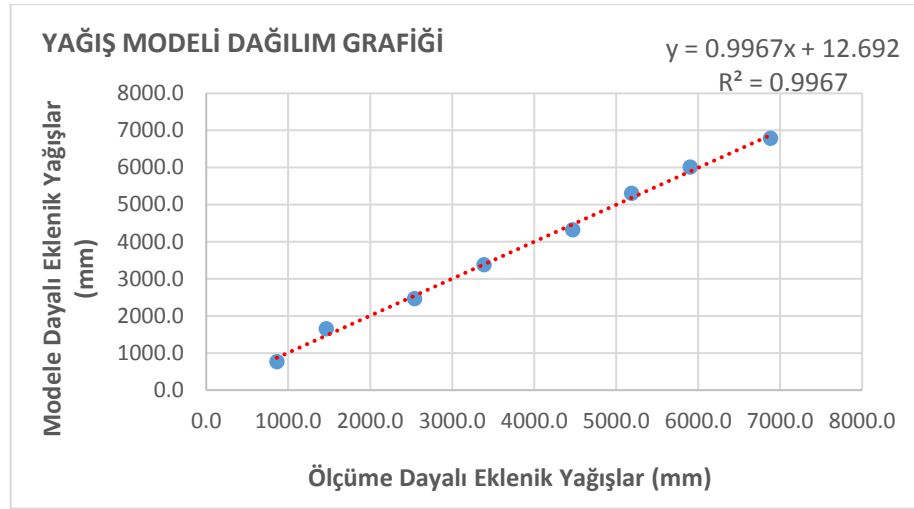
Büyükçekmece havzası kapsamında oluşturulan yağış modeli havza içerisinde yer alan iki adet DSİ akım gözlem istasyonu (DSİ-AGİ) su toplama alanı için aynı anda çalıştırılarak test edilmiştir. Bu test kapsamında; Büyükçekmece havzası bütününe göre oluşturulan yağış modelinden elde edilen regresyon sabiti ve regresyon katsayısı birlikte çalıştırılan iki farklı AGİ için uyumlaştırma yapılmak suretiyle kullanılarak, DSİ-AGİ istasyonu su toplama alanları içerisindeki orman alanı varlığına göre eklenik yağış verileri hesaplanmıştır. Modelden elde edilen bu aylık eklenik yağışlar ile DSİ-AGİ su toplama alanları için yağış haritaları kullanılarak hesaplanan aylık eklenik yağışların dağılım grafikleri oluşturularak yağış modelinin başarısı ölçülmüştür.

Tablo 3.17’de hesaplama dönemlerine ait ölçüm ve tahmin değerleri arasındaki farklar yer almaktadır. Farkların ilk dönemlerde nispeten yüksek olmasına karşın sekiz dönem sonunda %1 mertebelerine düştüğü görülmektedir. Farklardaki bu düşüş trendi modelin tahmin gücünün uzun vadede daha da yükseldiğinin bir göstergesidir.

Şekil 3.32’de yer alan eklenik yağış verilerinin dağılım grafiğine bakıldığında model hesaplama dönemlerine ait ölçüm değerleri ile tahmin değerleri arasında yüksek oranda bir uyum olduğu ve modelin R^2 katsayısının 0,997 gibi yüksek bir düzeyde çıktığı görülmektedir.

Tablo 3.17 Büyükçekmece havzası yağış modeli test sonuçları

Hesaplama Dönemi	Ölçüme Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Modele Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Fark
1	860.5	767.6	-10.8%
2	1462.9	1657.2	13.3%
3	2539.3	2468.0	-2.8%
4	3388.3	3381.7	-0.2%
5	4468.0	4323.6	-3.2%
6	5188.4	5301.1	2.2%
7	5900.6	6008.4	1.8%
8	6883.3	6785.2	-1.4%



Şekil 3.32 Büyükçekmece havzası yağış modeli testi dağılım grafiği

3.7.1.3 Terkos Havzası Yağış Modeli

Terkos havzasında uzun yıllara dayalı eklenik orman alanları verilerinin bağımsız değişken olarak, uzun yıllara dayalı eklenik aylık yağış verilerinin de bağımlı değişken olarak kullanıldığı regresyon analizinde analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Model Özeti:

- Korelasyon katsayısı (R): 0.999
- Determinasyon katsayısı (R^2): 0.997
- Model F-testi değeri: 34031,153
- Model F-testi anlamlılık katsayısı: 0,000
- Regresyon sabiti: -80228180,700
- Bağımsız değişken katsayısı: 90814,556

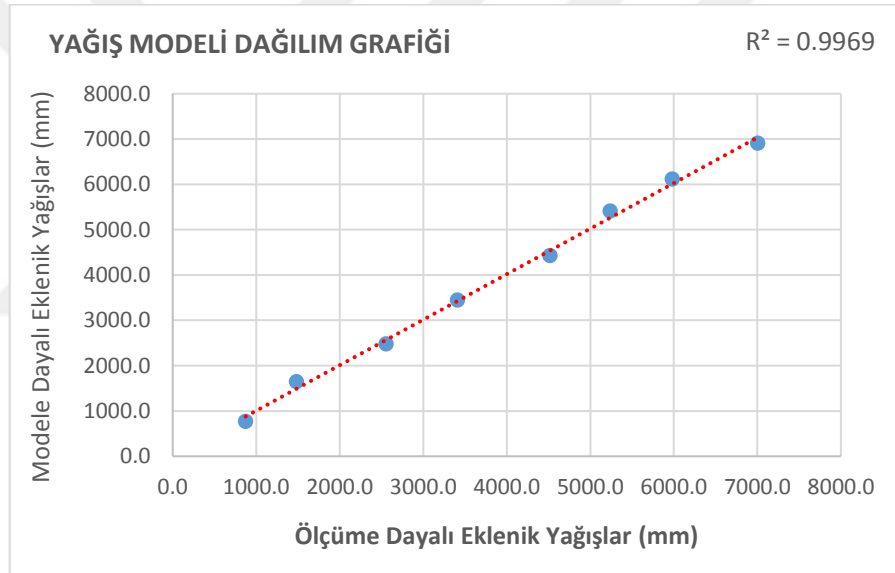
Regresyon analizi sonuçlarına bakıldığında; R^2 determinasyon katsayısının 0,997 gibi oldukça yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir. Regresyon modelinde aylık orman alanı miktarlarının eklenik verileri bağımsız değişken olarak, aylık toplam yağış verilerinin eklenik verileri ise bağımlı değişken olarak regresyon analizine girmiştir. Regresyon sabiti -80228180,7 olarak bulunmuş, bağımsız değişkenin regresyon katsayısı ise 90814,556 olarak bulunmuştur. Modelin F testi anlamlılık katsayısı 0,05'ten küçük bulunmuş, böylelikle modelin anlamlı olduğu

anlaşılmıştır. Buna göre Terkos havzası için yağış modeli denklemi (3.3) eşitliğinde verilmiştir.

$$y = -80228180,7 + 90814,556 * X \quad (3.3)$$

Eşitlikte; y: regresyon modeline göre hesaplanan eklenik yağış miktarı (m³/ay), X: eklenik orman alanı miktarı (km²) olarak tanımlanmaktadır.

Modellemede kullanılan hesaplama dönemlerine göre; modele dayalı toplam yağış miktarları ile ölçüme dayalı toplam yağış miktarları arasındaki dağılım grafikleri oluşturulmuş ve R² katsayıları hesaplanmıştır. Şekil 3.33'te yer alan Terkos havzası yağış modeli dağılım grafiğine bakıldığında R² katsayısının 0,997 gibi yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir.



Şekil 3.33 Terkos havzası yağış modeli dağılım grafiği

Tablo 3.18'de ise hesaplama dönemlerine ait ölçüm ve tahmin değerleri arasındaki farklar yer almaktadır. Farkların ilk dönemlerde nispeten yüksek olmasına karşın sekiz dönem sonunda %1 mertebelerine düştüğü görülmektedir. Farklardaki bu düşüş trendi modelin tahmin gücünün uzun vadede daha da yükseldiğinin bir göstergesidir.

Tablo 3.18 Terkos havzası yağış modeli sonuçları

Hesaplama Dönemi	Ölçüme Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Modele Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Fark
1	872.9	771.6	-11.6%
2	1481.8	1647.3	11.2%
3	2557.6	2483.0	-2.9%
4	3411.9	3450.2	1.1%
5	4519.6	4428.5	-2.0%
6	5240.3	5409.9	3.2%
7	5984.2	6118.1	2.2%
8	7005.5	6909.9	-1.4%

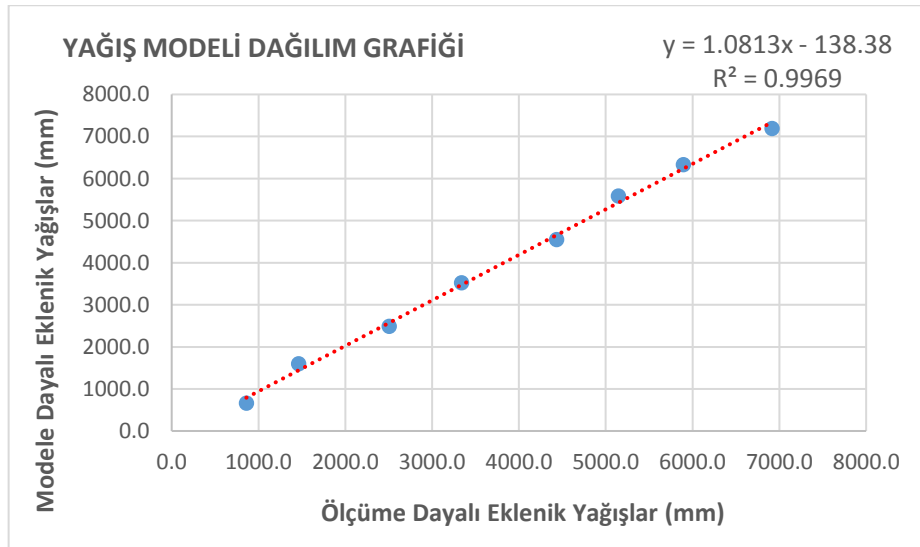
Terkos Havzası Yağış Modelinin Test Edilmesi:

Terkos havzası su toplama alanı kapsamında oluşturulan yağış modeli havza içerisinde yer alan DSİ akım gözlem istasyonu (DSİ-AGİ) su toplama alanı için çalıştırılarak test edilmiştir. Bu test kapsamında; Terkos havzası bütününe göre oluşturulan yağış modelinden elde edilen regresyon sabiti ve regresyon katsayısı kullanılarak, DSİ-AGİ istasyonu su toplama alanı içerisindeki orman alanı varlığına göre eklenik yağış verileri hesaplanmıştır. Modelden elde edilen bu aylık eklenik yağışlar ile DSİ-AGİ su toplama alanı için yağış haritaları kullanılarak hesaplanan aylık eklenik yağışların dağılım grafikleri oluşturularak yağış modelinin başarısı ölçülmüştür. Tablo 3.19’da hesaplama dönemlerine ait ölçüm ve tahmin değerleri arasındaki farklar yer almaktadır. Farkların ilk dönemlerde nispeten yüksek olmasına karşın sekiz dönem sonunda %4 mertebelerine düştüğü görülmektedir. Farklardaki bu düşüş trendi modelin tahmin gücünün uzun vadede daha da yükseldiğinin bir göstergesidir.

Tablo 3.19 Terkos havzası yağış modeli testi sonuçları

Hesaplama Dönemi	Ölçüme Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Modele Dayalı Eklenik Yağışlar (mm)	Fark
1	860.0	662.0	-23.0%
2	1461.4	1598.3	9.4%
3	2506.7	2487.5	-0.8%
4	3340.9	3521.9	5.4%
5	4436.2	4556.2	2.7%
6	5144.9	5587.2	8.6%
7	5894.7	6333.8	7.4%
8	6915.3	7191.2	4.0%

Şekil 3.34'te yer alan bu dağılım grafiğine göre; model hesaplama dönemlerine ait ölçüm değerleri ile tahmin değerleri arasında yüksek oranda bir uyum olduğu ve modelin R^2 katsayısının 0,997 gibi yüksek bir düzeyde çıktığı görülmektedir.



Şekil 3.34 Terkos havzası yağış modeli testi dağılım grafiği

3.7.2 Havza Akış Modelleri

Havza alanları kapsamında aylık yağış, aylık ETa ve aylık Ia miktarları ile aylık akış miktarı arasında çoklu lineer regresyon analizine dayalı modelleme sonuçları aşağıda verilmiştir.

3.7.2.1 Alibeyköy Havzası Akış Modeli

Alibeyköy havzası DSİ-AGİ akım gözlem istasyonu su toplama alanının kapsadığı alanlardaki aylık eklenik yağış miktarları, aylık eklenik ETa miktarları, aylık eklenik Ia miktarları ve aylık eklenik akış miktarları kullanılarak çoklu regresyon analizine dayalı olarak akış modellemesi yapılmıştır. Regresyon analizi öncesinde aylık eklenik yağışlardan aylık eklenik ETa miktarları çıkarılarak bu iki değişken tek bir değişken haline getirilmiştir. Bu yeni değişkenin Ia miktarları ile birlikte regresyon analizine sokulması neticesinde, iki adet bağımsız değişkenin olduğu bir çoklu regresyon modeli oluşturulmuştur. Alibeyköy havzası akış modellemesi için yapılan çoklu regresyon analizinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Model Özeti:

- Çoklu korelasyon katsayısı (R): 0,994
- Determinasyon katsayısı (R^2): 0,988
- Düzeltilmiş determinasyon katsayısı (R_{adj}^2) 0,987
- Model F-testi değeri: 4061,979
- Model F-testi anlamlılık katsayısı: 0,000
- Regresyon sabiti: -1822131,085
- Birinci bağımsız değişken katsayısı: 2661,557
- İkinci bağımsız değişken katsayısı: 9756,552
- Birinci bağımsız değişken t-testi değeri: 7,479
- İkinci bağımsız değişken t-testi değeri: 15,994
- Birinci bağımsız değişken t-testi anlamlılık katsayısı: 0,000
- İkinci bağımsız değişken t-testi anlamlılık katsayısı: 0,000

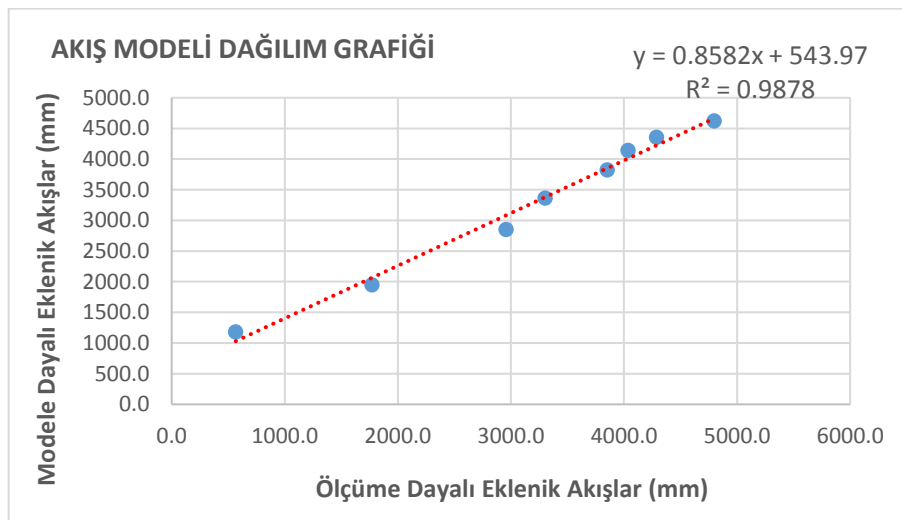
Regresyon analizi sonuçlarına bakıldığında; R^2 determinasyon katsayısının 0,987 gibi oldukça yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir. Regresyon modelinde aylık eklenik yağış miktarlarından aylık eklenik ETa miktarları çıkarılarak elde edilen eklenik değerlerin karesi birinci bağımsız değişken olarak, aylık eklenik Ia

miktarları ikinci bağımsız değişken olarak, aylık eklenik akış miktarları ise bağımlı değişken olarak regresyon analizine girmiştir. Regresyon sabiti -1822131,085 olarak bulunmuş, birinci bağımsız değişkenin regresyon katsayısı 2661,557 olarak, ikinci bağımsız değişkenin regresyon katsayısı ise 9756,552 olarak bulunmuştur. Modelin F-testi anlamlılık katsayısı 0,05'ten küçük bulunmuş, böylelikle modelin anlamlı olduğu anlaşılmıştır. Aynı şekilde bağımsız değişkenler için yapılan t-testi anlamlılık katsayıları da 0.05'ten küçük bulunarak her iki bağımsız değişkenin de anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Buna göre Alibeyköy havzası için akış modeli denklemi (3.4) eşitliğinde verilmiştir.

$$y = -1822131,085 + 2661,557 * X_1 + 9566,552 * X_2 \quad (3.4)$$

Eşitlikte; y: regresyon modeline göre hesaplanan eklenik akış miktarı (mm), X_1 : aylık eklenik yağış miktarlarından aylık eklenik ETa miktarları çıkarılarak elde edilen eklenik değerlerin karesi (mm), X_2 : aylık eklenik Ia miktarları (mm) olarak tanımlanmaktadır.

Modellemede kullanılan hesaplama dönemleri baz alınarak modele dayalı eklenik akış miktarları ile ölçüme dayalı eklenik akış miktarları arasında dağılım grafikleri oluşturularak R^2 katsayıları hesaplanmıştır. Alibeyköy havzası için hazırlanan akış modeli dağılım grafiği Şekil 3.35'te verilmiştir. Grafiğe bakıldığında R^2 katsayısının 0,988 gibi yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir.



Şekil 3.35 Alibeyköy havzası akış modeli dağılım grafiği

Tablo 3.20’de hesaplama dönemleri baz alınarak hesaplanan modele dayalı eklenik yağışlar ile ölçüme dayalı eklenik yağışlar ve bunların arasındaki farklar verilmiştir. Farkların ilk dönemlerde nispeten yüksek çıkmasına karşın sekiz dönem sonunda %4 mertebelerine düştüğü görülmektedir. Farklardaki bu düşüş trendi modelin tahmin gücünün uzun vadede daha da arttığının bir göstergesidir.

Tablo 3.20 Alibeyköy havzası akış modeli sonuçları

Hesaplama Dönemi	Ölçüme Dayalı Eklenik Akışlar (mm)	Modele Dayalı Eklenik Akışlar (mm)	Fark
1	566.2	1180.0	108.4%
2	1769.7	1949.5	10.2%
3	2957.3	2853.2	-3.5%
4	3301.9	3365.2	1.9%
5	3852.4	3824.4	-0.7%
6	4036.3	4141.7	2.6%
7	4287.0	4358.7	1.7%
8	4797.7	4621.9	-3.7%

3.7.2.2 Büyükçekmece Havzası Akış Modeli

Büyükçekmece havzası DSİ-AGİ akım gözlem istasyonları su toplama alanının kapsadığı alanlardaki aylık eklenik yağış miktarları, aylık eklenik ETa miktarları, aylık eklenik Ia miktarları ve aylık eklenik akış miktarları kullanılarak çoklu regresyon analizine dayalı olarak akış modellemesi yapılmıştır. Regresyon analizi öncesinde aylık eklenik yağışlardan aylık eklenik ETa miktarları çıkarılarak bu iki değişken tek bir değişken haline getirilmiştir. Bu yeni değişkenin Ia miktarları ile birlikte regresyon analizine sokulması neticesinde, iki adet bağımsız değişkenin olduğu bir çoklu regresyon modeli oluşturulmuştur. Büyükçekmece havzası akış modellemesi için yapılan çoklu regresyon analizinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Model Özeti:

- Çoklu korelasyon katsayısı (R): 0,980
- Determinasyon katsayısı (R^2): 0,960
- Düzeltilmiş determinasyon katsayısı (R_{adj}^2) 0,960
- Model F-testi değeri: 1185,857
- Model F-testi anlamlılık katsayısı: 0,000
- Regresyon sabiti: -229,185
- Birinci bağımsız değişken katsayısı: 0,318
- İkinci bağımsız değişken katsayısı: 0,696
- Birinci bağımsız değişken t-testi değeri: 4,576
- İkinci bağımsız değişken t-testi değeri: 6,561
- Birinci bağımsız değişken t-testi anlamlılık katsayısı: 0,000
- İkinci bağımsız değişken t-testi anlamlılık katsayısı: 0,000

Regresyon analizi sonuçlarına bakıldığında; R^2 determinasyon katsayısının 0,960 gibi oldukça yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir. Regresyon modelinde aylık eklenik yağış miktarlarından aylık eklenik ETa miktarlarının çıkarılmasıyla elde edilen eklenik veriler birinci bağımsız değişken olarak, aylık eklenik Ia miktarları ikinci bağımsız değişken olarak, aylık eklenik akış miktarları ise bağımlı değişken olarak regresyon analizine girmiştir. Regresyon sabiti -229,185 olarak bulunmuş, birinci bağımsız değişkenin regresyon katsayısı 0,318 olarak, ikinci bağımsız değişkenin regresyon katsayısı ise 0, 696 olarak bulunmuştur. Modelin F testi anlamlılık katsayısı 0,05'ten küçük bulunmuş, böylelikle modelin anlamlı olduğu anlaşılmıştır. Aynı şekilde bağımsız değişkenler için yapılan t testi anlamlılık katsayıları da 0.05'ten küçük bulunarak bağımsız değişkenin de anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Buna göre Büyükçekmece havzası için akış modeli denklemi (3.5) eşitliğinde verilmiştir.

$$y = -229,185 + 0,318 * X_1 + 0,696 * X_2 \quad (3.5)$$

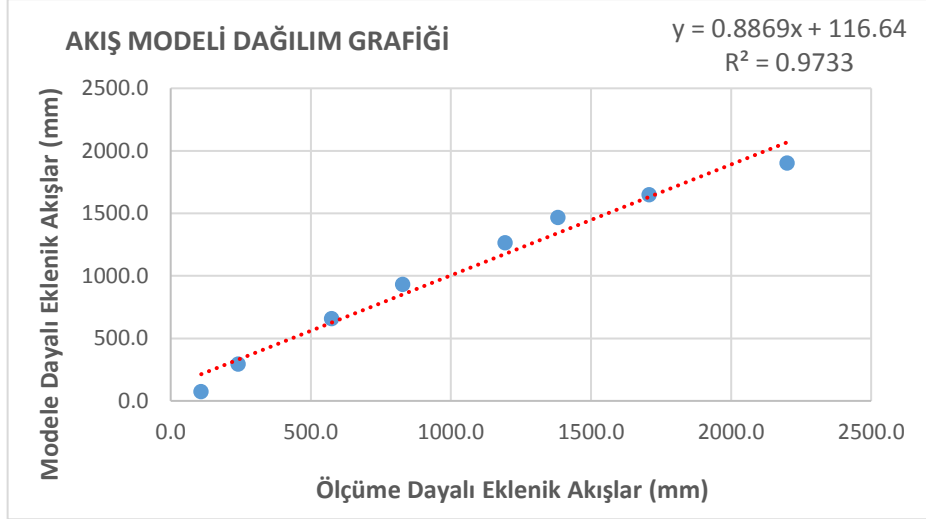
Eşitlikte; y: regresyon modeline göre hesaplanan eklenik akış miktarı (mm), X_1 : aylık eklenik yağış miktarlarından aylık eklenik ETa miktarları çıkarılarak elde edilen eklenik değerler (mm), X_2 : aylık eklenik Ia miktarları (mm) olarak tanımlanmaktadır.

Modellemede kullanılan hesaplama dönemleri baz alınarak modele dayalı eklenik akış miktarları ile ölçüme dayalı eklenik akış miktarları arasında dağılım grafikleri oluşturularak R^2 katsayıları hesaplanmıştır. Tablo 3.21’de hesaplama dönemleri baz alınarak hesaplanan modele dayalı eklenik yağışlar ile ölçüme dayalı eklenik yağışlar ve bunların arasındaki farklar verilmiştir. Farkların ilk dönemlerde nispeten yüksek olmasına karşın sekiz dönem sonunda %14 mertebelerine düştüğü görülmektedir. Ara dönemlerde ise daha da düşük farkların olduğu görülmektedir. Dönemsel dalgalanmalar olsa da farklardaki bu genel düşüş trendi modelin tahmin gücünün uzun vadede daha da yükseldiğinin bir göstergesidir.

Tablo 3.21 Büyükçekmece havzası akış modeli sonuçları

Hesaplama Dönemi	Ölçüme Dayalı Eklenik Akışlar (mm)	Modele Dayalı Eklenik Akışlar (mm)	Fark
1	109.0	74.1	-32.0%
2	241.2	294.9	22.2%
3	574.4	657.8	14.5%
4	828.1	931.4	12.5%
5	1194.3	1264.4	5.9%
6	1382.4	1467.5	6.2%
7	1707.6	1647.6	-3.5%
8	2200.5	1901.3	-13.6%

Büyükçekmece havzası için hazırlanan akış modeli dağılım grafiği Şekil 3.36’da verilmiştir. Grafiğe bakıldığında R^2 katsayısının 0,973 gibi yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir.



Şekil 3.36 Büyükçekmece havzası akış modeli dağılım grafiği

3.7.2.3 Terkos Havzası Akış Modeli

Terkos havzası DSİ-AGİ akım gözlem istasyonu su toplama alanının kapsadığı alanlardaki aylık eklenik yağış miktarları, aylık eklenik ETA miktarları, aylık eklenik Ia miktarları ve aylık eklenik akış miktarları kullanılarak çoklu regresyon analizine dayalı olarak akış modellemesi yapılmıştır. Regresyon analizi öncesinde aylık eklenik yağışlardan aylık eklenik ETA miktarları çıkarılarak bu iki değişken tek bir değişken haline getirilmiştir. Bu yeni değişkenin Ia miktarları ile birlikte regresyon analizine sokulması neticesinde, iki adet bağımsız değişkenin olduğu bir çoklu regresyon modeli oluşturulmuştur. Terkos havzası akış modellemesi için yapılan çoklu regresyon analizinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Model Özeti:

- Çoklu korelasyon katsayısı (R): 0,994
- Determinasyon katsayısı (R^2): 0,989
- Düzeltilmiş determinasyon katsayısı (R_{adj}^2): 0,988
- Model F-testi değeri: 4282,224
- Model F-testi anlamlılık katsayısı: 0,000
- Regresyon sabiti: -224,899
- Birinci bağımsız değişken katsayısı: 0,280
- İkinci bağımsız değişken katsayısı: 0,976
- Birinci bağımsız değişken t-testi değeri: 7,115
- İkinci bağımsız değişken t-testi değeri: 40,732

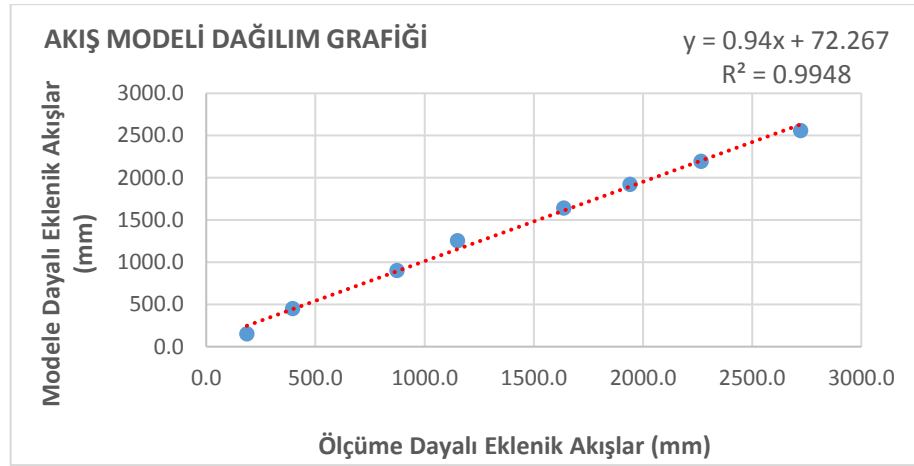
- Birinci bağımsız değişken t-testi anlamlılık katsayısı: 0,000
- İkinci bağımsız değişken t-testi anlamlılık katsayısı: 0,000

Regresyon analizi sonuçlarına bakıldığında; R^2 determinasyon katsayısının 0,988 gibi oldukça yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir. Regresyon modelinde aylık eklenik yağış miktarlarından aylık eklenik ETa miktarları çıkarılarak elde edilen eklenik veriler birinci bağımsız değişken olarak, aylık eklenik Ia miktarları ikinci bağımsız değişken olarak, aylık eklenik toplam akış miktarları ise bağımlı değişken olarak regresyon analizine girmiştir. Regresyon sabiti -224,899 olarak bulunmuş, birinci bağımsız değişkenin regresyon katsayısı 0,280 olarak, ikinci bağımsız değişkenin regresyon katsayısı ise 0,976 olarak bulunmuştur. Modelin F testi anlamlılık katsayısı 0,05'ten küçük bulunmuş, böylelikle modelin anlamlı olduğu anlaşılmıştır. Aynı şekilde bağımsız değişkenler için yapılan t testi anlamlılık katsayıları da 0.05'ten küçük bulunarak bağımsız değişkenin de anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Buna göre Terkos havzası için akış modeli denklemi (3.6) eşitliğinde verilmiştir.

$$y = -224,899 + 0,280 * X_1 + 0,976 * X_2 \quad (3.6)$$

Eşitlikte; y: regresyon modeline göre hesaplanan eklenik akış miktarı (mm), X_1 : aylık eklenik yağış miktarlarından aylık eklenik ETa miktarları çıkarılarak elde edilen eklenik değerler (mm), X_2 : aylık eklenik Ia miktarları (mm) olarak tanımlanmaktadır.

Modellemede kullanılan hesaplama dönemleri baz alınarak modele dayalı eklenik akış miktarları ile ölçüme dayalı eklenik akış miktarları arasında dağılım grafikleri oluşturularak R^2 katsayıları hesaplanmıştır. Terkos havzası için hazırlanan akış modeli dağılım grafiği Şekil 3.37'de verilmiştir. Grafiğe bakıldığında R^2 katsayısının 0,995 gibi yüksek bir seviyede çıktığı görülmektedir. Tablo 3.22'de ise hesaplama dönemleri baz alınarak hesaplanan modele dayalı eklenik yağışlar ile ölçüme dayalı eklenik yağışlar ve bunların arasındaki farklar verilmiştir. Farkların ilk dönemlerde yüksek çıkmasına karşın sekiz dönem sonunda %6 mertebelerine düştüğü görülmektedir. Farklardaki bu düşüş trendi modelin tahmin gücünün uzun vadede daha da arttığının bir göstergesidir.



Şekil 3.37 Terkos havzası akış modeli dağılım grafiği

Tablo 3.22 Terkos havzası akış modeli sonuçları

Hesaplama Dönemi	Ölçüme Dayalı Eklenik Akışlar (mm)	Modele Dayalı Eklenik Akışlar (mm)	Fark
1	186.0	151.0	-18.8%
2	394.6	450.7	14.2%
3	872.7	902.7	3.4%
4	1150.8	1253.9	9.0%
5	1636.9	1642.4	0.3%
6	1940.2	1921.6	-1.0%
7	2265.2	2193.5	-3.2%
8	2721.4	2559.6	-5.9%

3.8 Modellerle Dayalı Risk Analizleri ve Değerlendirmeler

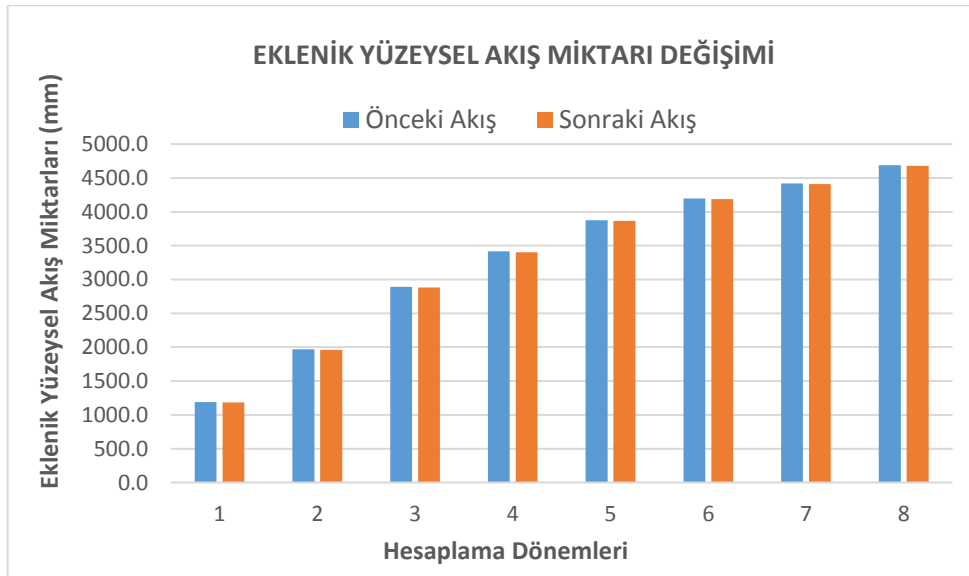
3.8.1 Alibeyköy Havzası Risk Analizleri ve Değerlendirmeler

Alibeyköy havzasında orman alanlarının yapılaşmaya, madencilik faaliyetlerine ve tarıma açılması, tarım alanlarının yapılaşmaya açılması ve mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarının yapılaşmaya açılması şeklinde kurgulanan 5 farklı

senaryoya göre havzada uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarı tahminlerine dayanan risk analizleri ve değerlendirmeler yapılmıştır. Senaryolardan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır.

Senaryo 1 - Tarım Alanlarının Yapılaşmaya Açılması: Bu senaryoda Alibeyköy havzası tarım alanlarının %20'sinin yapılaşmaya açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğini simülasyonu yapılmıştır. Simülasyona göre tarım alanlarının %20'sinin yapılaşmaya açılması halinde yapılaşmada %41 oranında artış meydana gelmektedir. Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri Şekil 3.38'de ve Tablo 3.23'de verilmiştir.

Şekil 3.38 ve Tablo 3.23'de yer alan önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir. Senaryo 1'e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında önemli bir değişim olmayacağı ve sekiz hesaplama dönemi sonunda yüzeysel akış miktarının hemen hemen aynı düzeyde kalacağı tahmin edilmektedir.

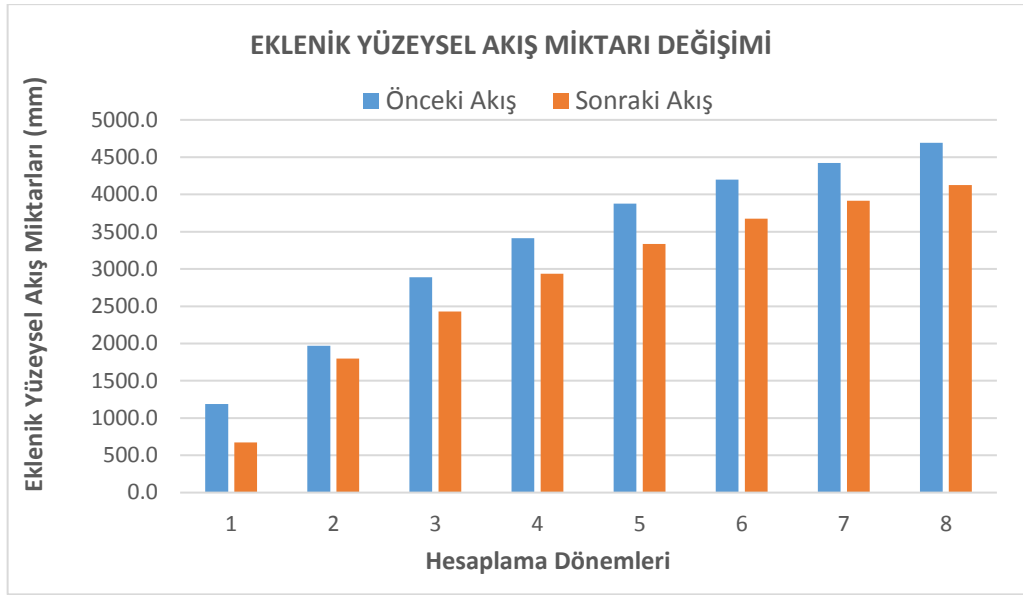


Şekil 3.38 Alibeyköy havzası senaryo-1'e göre yüzeysel akış miktarları

Tablo 3.23 Alibeyköy havzası senaryo-1'e göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	1188.6	1181.4	-0.6%
2	1967.8	1958.9	-0.5%
3	2889.6	2880.8	-0.3%
4	3414.2	3403.7	-0.3%
5	3877.1	3865.6	-0.3%
6	4198.7	4186.5	-0.3%
7	4420.3	4407.7	-0.3%
8	4690.7	4677.9	-0.3%

Senaryo 2 – Orman Alanlarının Yapılaşmaya Açılması: Bu senaryoda Alibeyköy havzası orman alanlarının %20'sinin yapılaşmaya açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğinin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyona göre orman alanlarının %20'sinin yapılaşmaya açılması halinde yapılaşmada %198 oranında artış meydana gelmektedir. Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Şekil 3.39 ve Tablo 3.24'te verilmiştir. Şekil 3.39 ve Tablo 3.24'te görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir. Senaryo 2'ye göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında uzun vadede bir azalma görülmekte ve bu azalmanın sekiz hesaplama dönemi sonunda yaklaşık %12 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Azalma oranlarının trendine bakıldığında ise başlangıçta değişken olan oranların zamanla daha kararlı bir hale geçtiği söylenebilir.



Şekil 3.39 Alibeyköy havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları

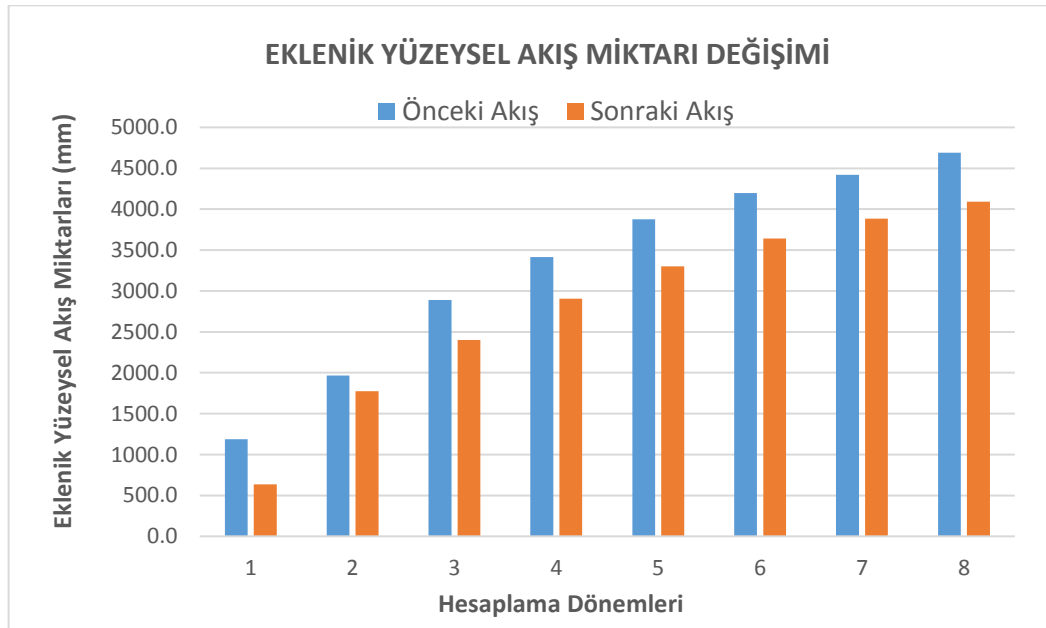
Tablo 3.24 Alibeyköy havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	1188.6	672.7	-43.4%
2	1967.8	1798.5	-8.6%
3	2889.6	2427.6	-16.0%
4	3414.2	2935.2	-14.0%
5	3877.1	3333.9	-14.0%
6	4198.7	3675.0	-12.5%
7	4420.3	3915.4	-11.4%
8	4690.7	4124.4	-12.1%

Senaryo 3 – Orman Alanlarının Maden Faaliyetlerine Açılması: Bu senaryoda Alibeyköy havzası orman alanlarının %20'sinin maden faaliyetlerine açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğinin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyona göre orman alanlarının %20'sinin maden faaliyetlerine açılması halinde maden alanlarında %139 oranında artış meydana gelmektedir.

Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Şekil 3.40 ve Tablo 3.25'te verilmiştir. Şekil 3.40 ve Tablo 3.25'te görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir.

Senaryo 3'e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında uzun vadede bir azalma görülmekte ve bu azalmanın sekiz hesaplama dönemi sonunda yaklaşık %15 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Azalma oranlarının trendine bakıldığında ise başlangıçta değişken olan oranların zamanla daha kararlı bir hale geçtiği söylenebilir.

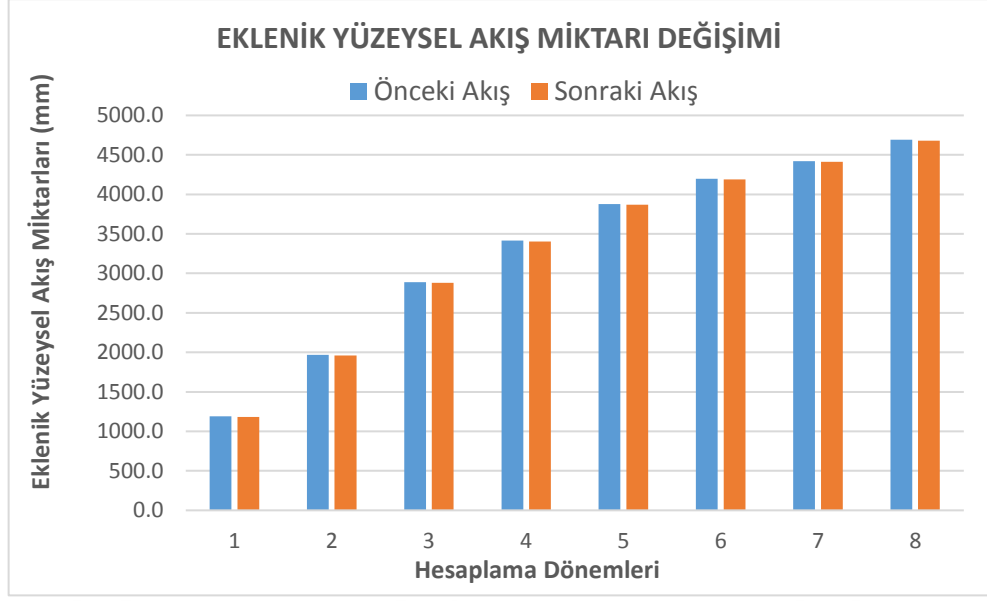


Şekil 3.40 Alibeyköy havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları

Tablo 3.25 Alibeyköy havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	1188.6	637.2	-46.4%
2	1967.8	1773.6	-9.9%
3	2889.6	2402.1	-16.9%
4	3414.2	2907.0	-14.9%
5	3877.1	3302.6	-14.8%
6	4198.7	3641.6	-13.3%
7	4420.3	3883.3	-12.1%
8	4690.7	4092.8	-12.7%

Senaryo 4 – Doğal Bitki Örtüsü Alanlarının Yapılaşmaya Açılması: Bu senaryoda Alibeyköy havzasında yer alan mera, çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarının %40'ının yapılaşmaya açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğinin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyona göre doğal bitki örtüsü alanlarının %40'ının yapılaşmaya açılması halinde yapılaşmış alanlarında %86 oranında artış meydana gelmektedir. Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Şekil 3.41 ve Tablo 3.26'da verilmiştir. Şekil 3.41 ve Tablo 3.26'da görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir. Senaryo 4'e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarlarında önemli bir değişim olmayacağı ve sekiz hesaplama dönemi sonunda yüzeysel akış miktarının hemen hemen aynı düzeyde kalacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 3.41 Alibeyköy havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları

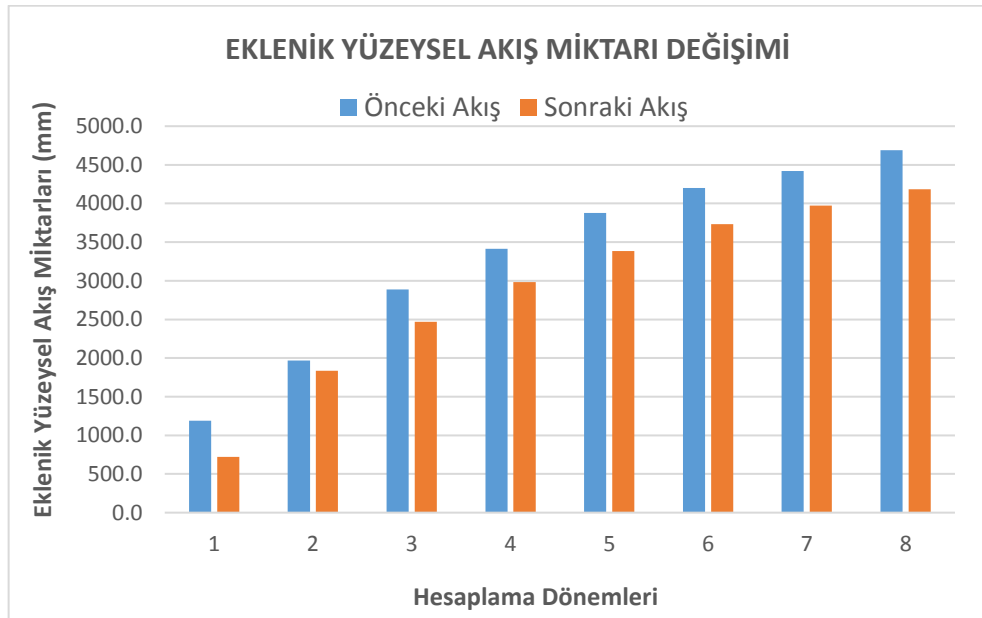
Tablo 3.26 Alibeyköy havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	1188.6	1183.2	-0.5%
2	1967.8	1959.1	-0.4%
3	2889.6	2880.6	-0.3%
4	3414.2	3404.0	-0.3%
5	3877.1	3867.9	-0.2%
6	4198.7	4191.2	-0.2%
7	4420.3	4411.6	-0.2%
8	4690.7	4679.7	-0.2%

Senaryo 5 – Orman Alanlarının Tarıma Açılması: Bu senaryoda Alibeyköy havzası orman alanlarının %20'sinin tarıma açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğini simülasyonu yapılmıştır. Simülasyona göre orman alanlarının %20'sinin tarıma açılması halinde tarım alanlarında %96 oranında artış meydana gelmektedir.

Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Şekil 3.42 ve Tablo 3.27'de verilmiştir. Şekil 3.42 ve Tablo 3.27'de görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir.

Senaryo 5'e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında uzun vadede azalma görülmekte ve bu azalmanın sekiz hesaplama dönemi sonunda yaklaşık %11 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Azalma oranlarının trendine bakıldığında ise başlangıçta değişken olan oranların zamanla daha kararlı bir hale geçtiği söylenebilir.



Şekil 3.42 Alibeyköy havzası senaryo-5'e göre yüzeysel akış miktarları

Tablo 3.27 Alibeyköy havzası senaryo-5'e göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	1188.6	721.1	-39.3%
2	1967.8	1836.2	-6.7%
3	2889.6	2468.3	-14.6%
4	3414.2	2981.2	-12.7%
5	3877.1	3385.4	-12.7%
6	4198.7	3731.1	-11.1%
7	4420.3	3974.5	-10.1%
8	4690.7	4185.7	-10.8%

3.8.2 Büyükçekmece Havzası Risk Analizleri ve Değerlendirmeler

Büyükçekmece havzasında orman alanlarının yapılaşmaya, maden çıkarım faaliyetlerine ve tarıma açılması, tarım alanlarının yapılaşmaya açılması ve mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarının yapılaşmaya açılması şeklinde kurgulanan 5 farklı senaryoya göre havzada uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarı tahminlerine dayanan risk analizleri ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Büyükçekmece havzası için kurgulanan arazi kullanım senaryolarından elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır.

Senaryo 1 - Tarım Alanlarının Yapılaşmaya Açılması: Bu senaryoda Büyükçekmece havzası tarım alanlarının %20'sinin yapılaşmaya açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğinin simülasyonu yapılmıştır.

Simülasyona göre tarım alanlarının %20'sinin yapılaşmaya açılması halinde yapılaşmış alanlarında %474 oranında artış meydana gelmektedir.

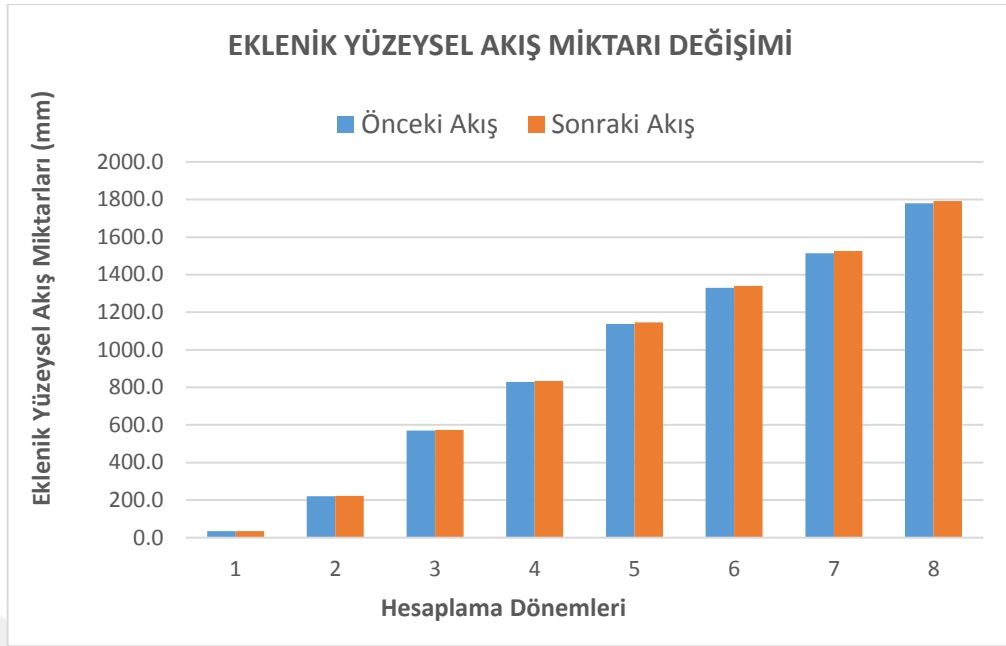
Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri Tablo 3.28’de ve şekil 3.43’te verilmiştir.

Tablo 3.28 ve şekil 3.43’te görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir.

Senaryo 1’e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında önemli bir değişim olmayacağı ve sekiz hesaplama dönemi sonunda yüzeysel akış miktarının hemen hemen aynı düzeyde kalacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 3.28 Büyükçekmece havzası senaryo-1’e göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	nceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	34.4	32.1	-6.7%
2	220.5	215.3	-2.3%
3	570.2	563.0	-1.3%
4	829.0	818.9	-1.2%
5	1138.2	1124.3	-1.2%
6	1329.8	1314.8	-1.1%
7	1514.7	1499.4	-1.0%
8	1779.5	1763.8	-0.9%

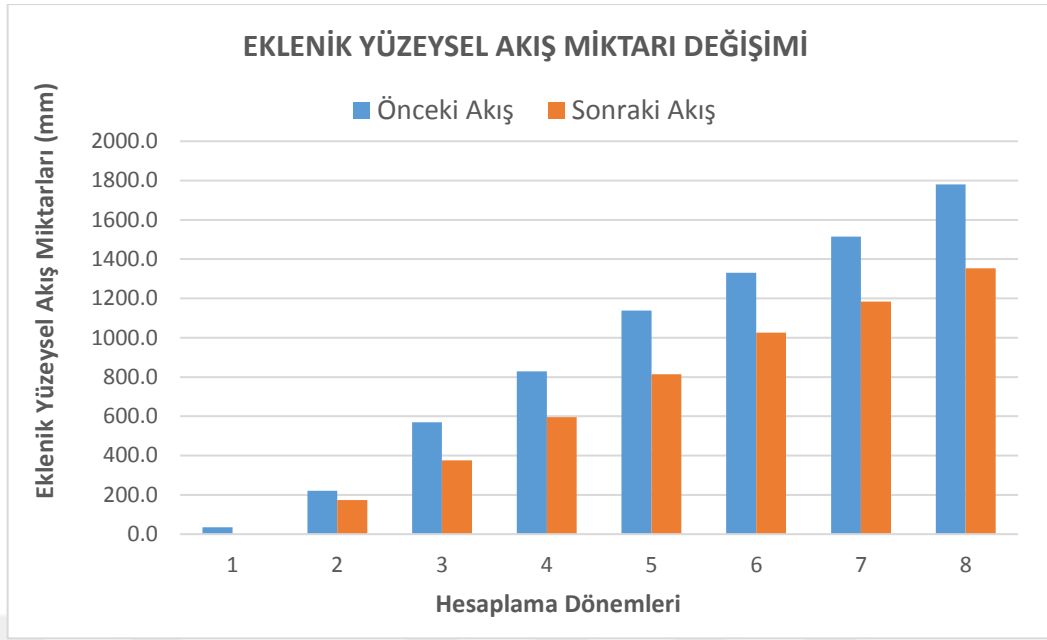


Şekil 3.43 Büyükçekmece havzası senaryo-1'e göre yüzeysel akış miktarları

Senaryo 2 – Orman Alanlarının Yapılaşmaya Açılması: Bu senaryoda Büyükçekmece havzası orman alanlarının %20'sinin yapılaşmaya açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğinin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyona göre orman alanlarının %20'sinin yapılaşmaya açılması halinde yapılaşmış alanlarda %114 oranında artış meydana gelmektedir.

Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Şekil 3.44'te ve Tablo 3.29'da verilmiştir. Şekil 3.44 ve Tablo 3.29'da görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir.

Senaryo 2'ye göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında uzun vadede bir azalma görülmekte ve bu azalmanın sekiz hesaplama dönemi sonunda yaklaşık %24 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Azalma oranlarının trendine bakıldığında ise başlangıçta değişken olan oranların zamanla daha kararlı bir hale geçtiği söylenebilir.



Şekil 3.44 Büyükçekmece havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları

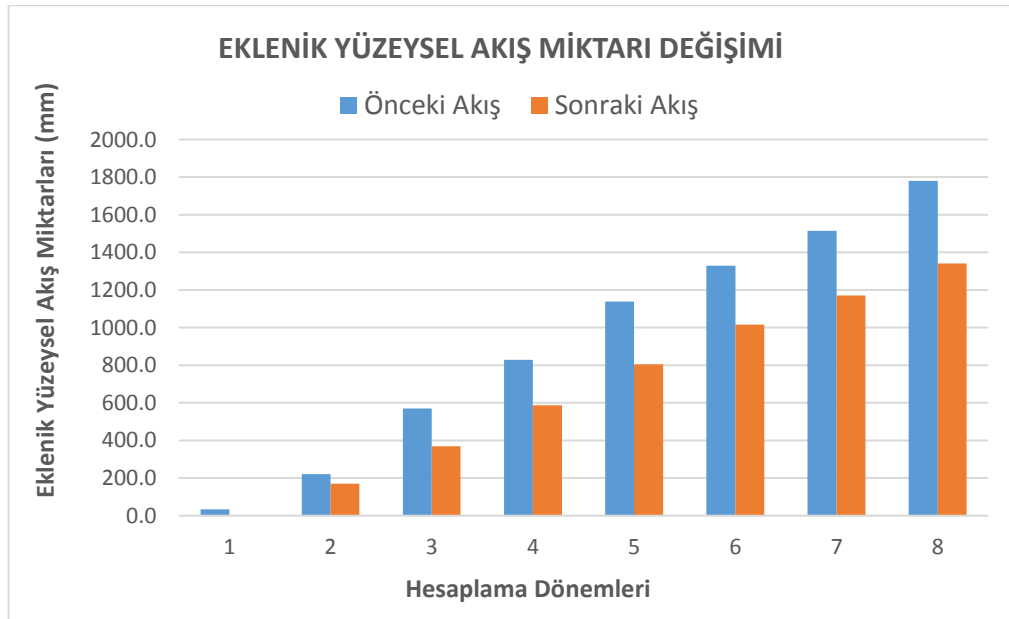
Tablo 3.29 Büyükçekmece havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	34.4	0.00	-100.0%
2	220.5	173.1	-21.5%
3	570.2	375.5	-34.2%
4	829.0	594.8	-28.3%
5	1138.2	814.6	-28.4%
6	1329.8	1026.1	-22.8%
7	1514.7	1183.4	-21.9%
8	1779.5	1353.8	-23.9%

Senaryo 3 – Orman Alanlarının Maden Faaliyetlerine Açılması: Bu senaryoda Büyükçekmece havzası orman alanlarının %20'sinin maden faaliyetlerine açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğinin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyona göre orman alanlarının %20'sinin maden faaliyetlerine açılması halinde maden alanlarında %557 oranında artış meydana gelmektedir.

Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Şekil 3.45'te ve Tablo 3.30'da verilmiştir. Şekil 3.45 ve Tablo 3.30'da görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir.

Senaryo 3'e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında uzun vadede azalma görülmekte ve bu azalmanın sekiz hesaplama dönemi sonunda yaklaşık %25 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Azalma oranlarının trendine bakıldığında ise başlangıçta değişken olan oranların zamanla daha kararlı bir hale geçtiği söylenebilir.

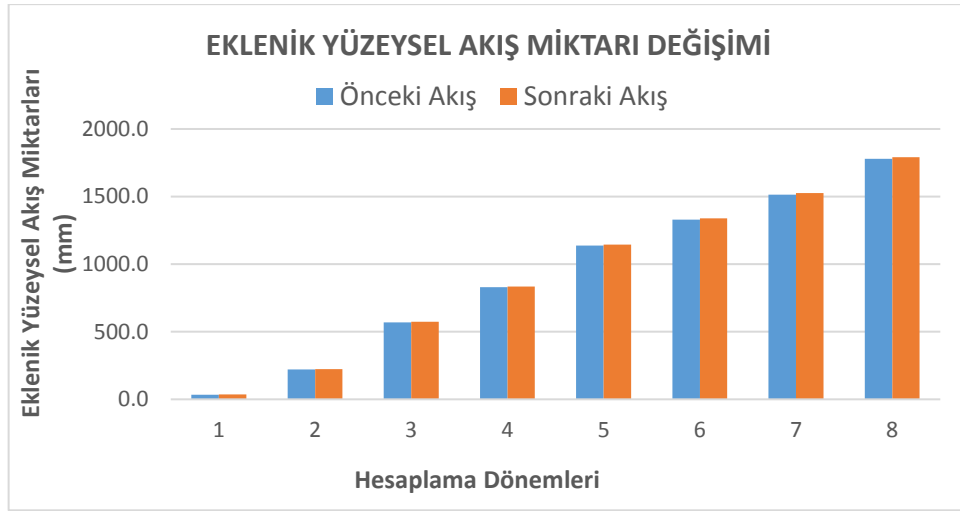


Şekil 3.45 Büyükçekmece havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları

Tablo 3.30 Büyükçekmece havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	34.4	0.0	-100.0%
2	220.5	169.4	-23.1%
3	570.2	370.0	-35.1%
4	829.0	587.4	-29.1%
5	1138.2	805.2	-29.3%
6	1329.8	1015.4	-23.6%
7	1514.7	1171.7	-22.6%
8	1779.5	1341.1	-24.6%

Senaryo 4 – Doğal Bitki Örtüsü Alanlarının Yapılaşmaya Açılması: Bu senaryoda Büyükçekmece havzasında yer alan mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarının %40'ının yapılaşmaya açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğinin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyona göre doğal bitki örtüsü alanlarının %40'ının yapılaşmaya açılması halinde yapılaşmış alanlarda %101 oranında artış meydana gelmektedir. Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Şekil 3.46'da ve Tablo 3.31'de verilmiştir. Şekil 3.46 ve Tablo 3.31'de görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir. Senaryo 4'e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında uzun vadede önemli bir değişim olmayacağı ve sekiz hesaplama dönemi sonunda yüzeysel akış miktarının hemen hemen aynı düzeyde olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 3.46 Büyükçekmece havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları

Tablo 3.31 Büyükçekmece havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	34.4	35.5	3.1%
2	220.5	222.8	1.1%
3	570.2	573.9	0.6%
4	829.0	834.2	0.6%
5	1138.2	1145.9	0.7%
6	1329.8	1339.7	0.7%
7	1514.7	1525.7	0.7%
8	1779.5	1791.8	0.7%

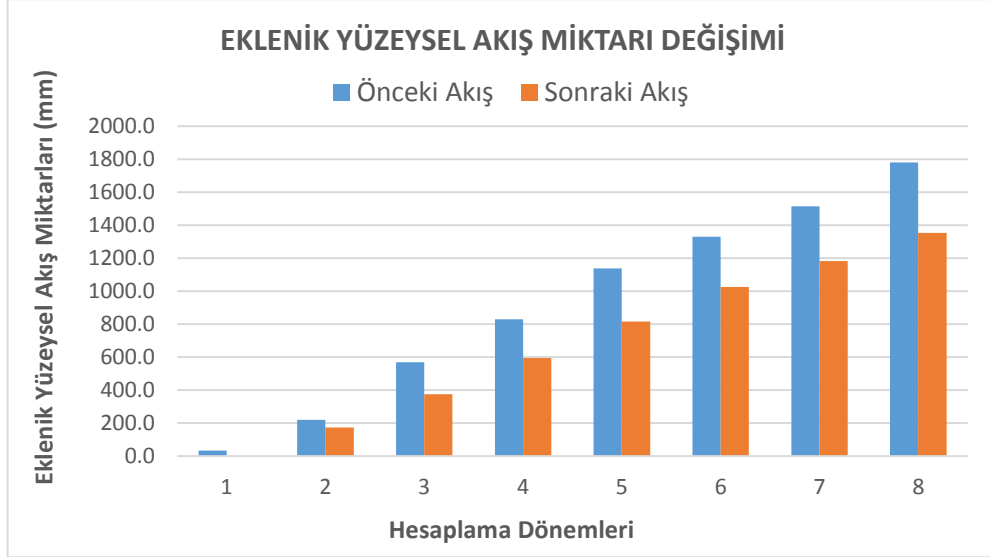
Senaryo 5 – Orman Alanlarının Tarıma Açılması: Bu senaryoda Büyükçekmece havzası orman alanlarının %20'sinin tarıma açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğinin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyona göre orman alanlarının %20'sinin tarıma açılması halinde tarım alanlarında %5 oranında artış meydana gelmektedir.

Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Tablo 3.32’de ve Şekil 3.47’de verilmiştir. Tablo 3.32 ve Şekil 3.47’de görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir.

Senaryo 5’e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında uzun vadede azalma görülmekte ve bu azalmanın sekiz hesaplama dönemi sonunda yaklaşık %24 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Azalma oranlarının trendine bakıldığında ise başlangıçta değişken olan oranların zamanla daha kararlı bir hale geçtiği söylenebilir.

Tablo 3.32 Büyükçekmece havzası senaryo-5’e göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	34.4	0.0	-100.0%
2	220.5	173.3	-21.4%
3	570.2	375.6	-34.1%
4	829.0	595.1	-28.2%
5	1138.2	815.0	-28.4%
6	1329.8	1026.0	-22.8%
7	1514.7	1183.0	-21.9%
8	1779.5	1352.8	-24.0%



Şekil 3.47 Büyükçekmece havzası senaryo-5'e göre yüzeysel akış miktarları

3.8.3 Terkos Havzası Risk Analizleri ve Değerlendirmeler

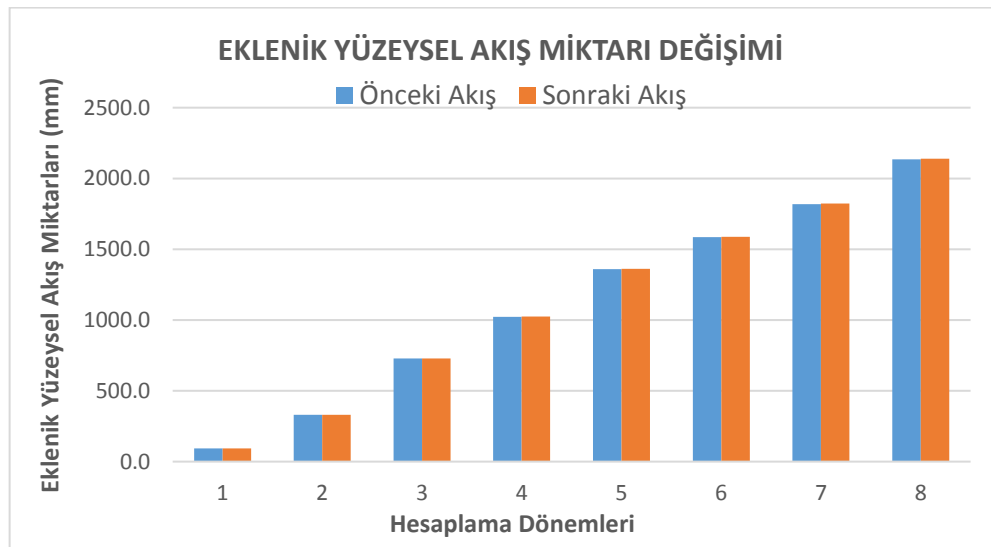
Terkos havzasında orman alanlarının yapılaşmaya, maden çıkarım faaliyetlerine ve tarıma açılması, tarım alanlarının yapılaşmaya açılması ve mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarının yapılaşmaya açılması şeklinde kurgulanan 5 farklı senaryoya göre havzada uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarı tahminlerine dayanan risk analizleri ve değerlendirmeler yapılmıştır. Senaryolardan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır.

Senaryo 1 - Tarım Alanlarının Yapılaşmaya Açılması: Bu senaryoda Terkos havzasındaki tarım alanlarının %20'sinin yapılaşmaya açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğinin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonda tarım alanlarının %20'sinin yapılaşmaya açılması halinde yapılaşmada %378 oranında artış meydana gelmektedir. Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri Tablo 3.33'te ve Şekil 3.48'de verilmiştir. Tablo 3.33 ve Şekil 3.48'de görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir. Senaryo 1'e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında

uzun vadede önemli bir değişim olmayacağı ve sekiz hesaplama dönemi sonunda yüzeysel akış miktarının hemen hemen aynı düzeyde kalacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 3.33 Terkos havzası senaryo-1'e göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	92.5	93.0	0.6%
2	330.0	331.0	0.3%
3	727.6	729.2	0.2%
4	1023.6	1025.6	0.2%
5	1359.5	1362.2	0.2%
6	1584.7	1588.5	0.2%
7	1818.4	1822.8	0.2%
8	2135.1	2140.5	0.3%

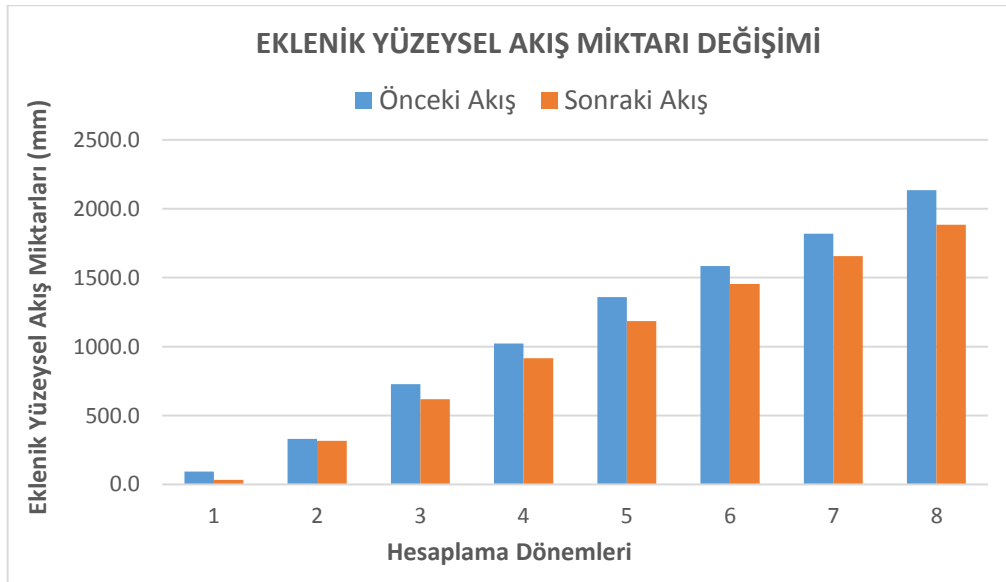


Şekil 3.48 Terkos havzası senaryo-1'e göre yüzeysel akış miktarları

Senaryo 2 – Orman Alanlarının Yapılaşmaya Açılması: Bu senaryoda Terkos havzasındaki orman alanlarının %10'unun yapılaşmaya açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğinin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonda orman alanlarının %10'unun yapılaşmaya açılması halinde yapılaşmada %868 oranında artış meydana gelmektedir.

Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Şekil 3.49'da ve Tablo 3.34'te verilmiştir. Şekil 3.49 ve Tablo 3.34'te görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir.

Senaryo 2'ye göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında uzun vadede azalma görülmekte ve bu azalmanın sekiz hesaplama dönemi sonunda yaklaşık %12 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Azalma oranlarının trendine bakıldığında ise başlangıçta değişken olan oranların zamanla daha kararlı bir hale geçtiği söylenebilir.



Şekil 3.49 Terkos havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları

Tablo 3.34 Terkos havzası senaryo-2'ye göre yüzeysel akış miktarları

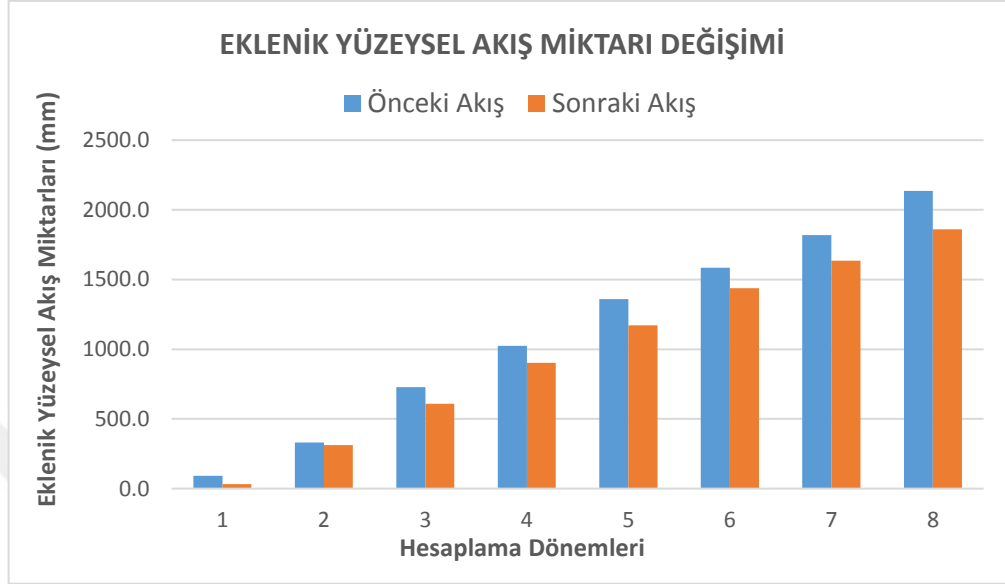
Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	92.5	34.2	-63.1%
2	330.0	317.4	-3.8%
3	727.6	617.7	-15.1%
4	1023.6	914.9	-10.6%
5	1359.5	1186.1	-12.8%
6	1584.7	1455.5	-8.2%
7	1818.4	1657.8	-8.8%
8	2135.1	1885.5	-11.7%

Senaryo 3 – Orman Alanlarının Maden Faaliyetlerine Açılması: Bu senaryoda Terkos havzası orman alanlarının %10'unun maden faaliyetlerine açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğinin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonda orman alanlarının %10'unun maden faaliyetlerine açılması halinde maden alanlarında %1900 oranında artış meydana gelmektedir.

Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Şekil 3.50'de ve Tablo 3.35'te verilmiştir. Şekil 3.50 ve Tablo 3.35'te görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir.

Senaryo 3'e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında uzun vadede azalma görülmekte ve bu azalmanın sekiz hesaplama dönemi sonunda yaklaşık

%13 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Azalma oranlarının trendine bakıldığında ise başlangıçta değişken olan oranların zamanla daha kararlı bir hale geçtiği söylenebilir.



Şekil 3.50 Terkos havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları

Tablo 3.35 Terkos havzası senaryo-3'e göre yüzeysel akış miktarları

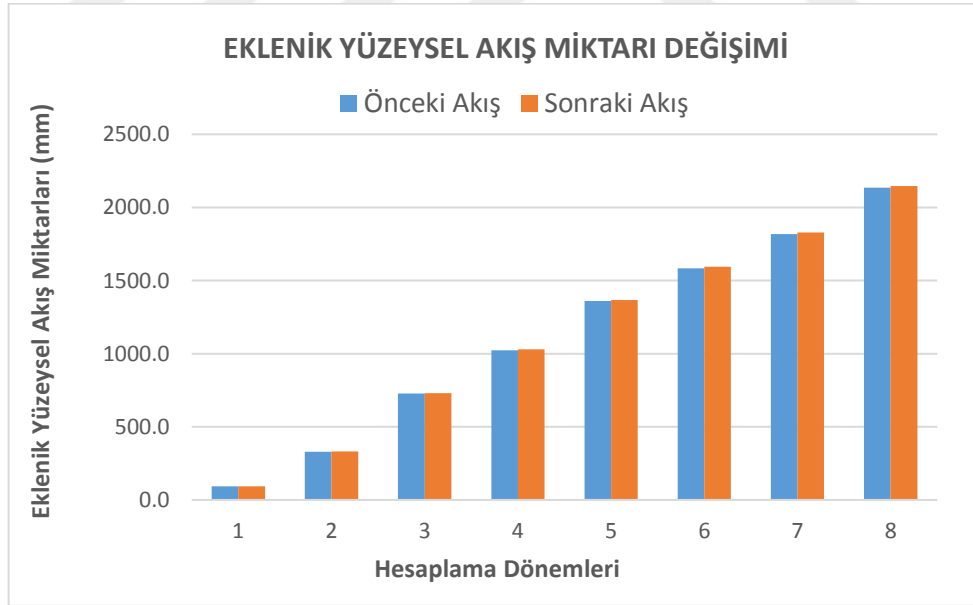
Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	92.5	31.6	-65.8%
2	330.0	312.0	-5.4%
3	727.6	609.1	-16.3%
4	1023.6	902.8	-11.8%
5	1359.5	1170.6	-13.9%
6	1584.7	1437.0	-9.3%
7	1818.4	1636.3	-10.0%
8	2135.1	1860.5	-12.9%

Senaryo 4 – Doğal Bitki Örtüsü Alanlarının Yapılaşmaya Açılması: Bu senaryoda Terkos havzasında yer alan mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarının %40'ının yapılaşmaya açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğini simülasyonu yapılmıştır.

Simülasyonda doğal bitki örtüsü alanlarının %40'ının yapılaşmaya açılması halinde yapılaşmada %212 oranında artış meydana gelmektedir. Senaryoya göre yüzeysel akış miktarlarının değişim grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Şekil 3.51'de ve Tablo 3.36'da verilmiştir.

Şekil 3.51 ve Tablo 3.36'da görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir.

Senaryo 4'e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında uzun vadede önemli bir değişim olmayacağı ve sekiz hesaplama dönemi sonunda yüzeysel akış miktarının hemen hemen aynı düzeyde kalacağı tahmin edilmektedir.

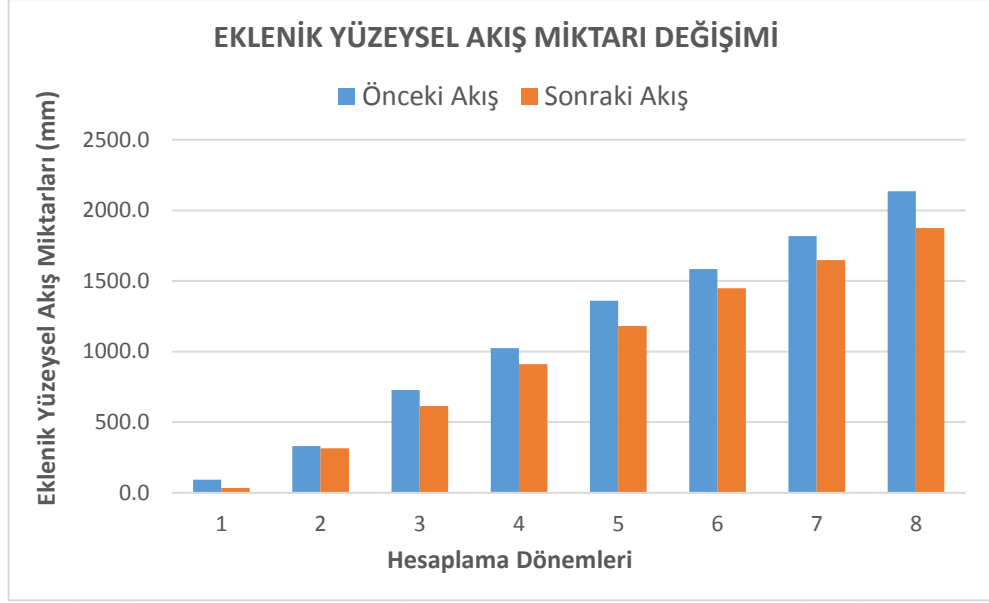


Şekil 3.51 Terkos havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları

Tablo 3.36 Terkos havzası senaryo-4'e göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	92.5	93.5	1.0%
2	330.0	332.1	0.6%
3	727.6	730.6	0.4%
4	1023.6	1028.7	0.5%
5	1359.5	1366.9	0.5%
6	1584.7	1593.7	0.6%
7	1818.4	1828.4	0.6%
8	2135.1	2145.5	0.5%

Senaryo 5 – Orman Alanlarının Tarıma Açılması: Bu senaryoda Terkos havzası orman alanlarının %10'unun tarıma açılması durumunda havza yüzeysel akış miktarlarının uzun yıllara dayalı olarak ne şekilde değişeceğini simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonda orman alanlarının %10'unun tarıma açılması halinde tarım alanlarında %46 oranında artış meydana gelmektedir. Arazi kullanımındaki değişime bağlı olarak tahmin edilen yüzeysel akış miktarı değişiminin hesaplama dönemlerine göre hazırlanmış grafiği ve değişim yüzdeleri sırasıyla Şekil 3.52'de ve Tablo 3.37'de verilmiştir. Şekil 3.52 ve Tablo 3.37'de görülen önceki akışlar arazi kullanımında herhangi bir değişimin olmadığı durumdaki eklenik yüzeysel akış miktarlarını, sonraki akışlar ise arazi kullanımında meydana gelen değişim neticesinde tahmin edilen eklenik yüzeysel akış miktarlarını ifade etmektedir. Senaryo 5'e göre havza bütününde oluşan yüzeysel akış miktarında uzun vadede azalma görülmekte ve bu azalmanın sekiz hesaplama dönemi sonunda yaklaşık %12 civarında olacağı tahmin edilmektedir. Azalma oranlarının trendine bakıldığında ise başlangıçta değişken olan oranların zamanla daha kararlı bir hale geçtiği söylenebilir.



Şekil 3.52 Terkos havzası senaryo-5'e göre yüzeysel akış miktarları

Tablo 3.37 Terkos havzası senaryo-5'e göre yüzeysel akış miktarları

Hesaplama Dönemi	Önceki Akış (mm)	Sonraki Akış (mm)	Fark
1	92.5	33.2	-64.1%
2	330.0	315.5	-4.4%
3	727.6	615.0	-15.5%
4	1023.6	911.4	-11.0%
5	1359.5	1180.6	-13.2%
6	1584.7	1447.8	-8.6%
7	1818.4	1648.9	-9.3%
8	2135.1	1874.3	-12.2%

4.1 Modelleme Yaklaşımına İlişkin Değerlendirmeler

Su havzalarının sürdürülebilirliğine ilişkin risk analizlerinde yeni bir yaklaşımın ortaya konması amacıyla yapılan bu çalışmada, İstanbul ili Avrupa yakasında yer alan Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzaları için arazi kullanımına bağlı olarak yağış ve yüzeysel akış miktarlarının tahmin edildiği havza ölçeğinde dinamik modeller geliştirilmiş ve bu modellere dayalı olarak bu havzalardaki arazi kullanımına bağlı su oluşumu kapsamında uzun vadeli risk analizleri ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışmada sadece doğrudan insan müdahaleleri olarak ifade edilen arazi kullanımındaki değişimlerin su kaynakları üzerindeki uzun vadeli etkilerinin belirlenmesi amaçlanmış, bundan dolayı iklim değişimin su kaynakları üzerindeki uzun vadeli etkileri çalışmada yer almamıştır. Diğer bir ifadeyle; tez çalışmasında su kaynakları üzerinde küresel ölçekteki iklim değişikliğinin etkileri değil, yerel veya bölgesel ölçekteki insan kaynaklı müdahalelerin bir sonucu olan arazi kullanımındaki değişimlerin etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır. Arazi kullanımındaki değişimler ise doğrudan doğruya arazi kullanım planlaması ile ilişkili olduğundan, tez çalışması kapsamında geliştirilen yağış ve akış modellerinin ve bu modellerden elde edilen sonuçların; havza alanlarını da kapsayan arazi kullanım planlaması çalışmalarında yapılacak geleceğe dönük projeksiyonlarda, hidrolojik açıdan uzun vadeli öngörülerin yapılmasında önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada havza ölçeğindeki uzun vadeli risk analizleri için yeni bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımda; arazi kullanım sınıflarının değişimine bağlı olarak yüzey akış modellemesi yapılırken, model hesaplarında arazi kullanım sınıflarına ait gerçek evapotranspirasyon miktarları ve sızma hesaplarında kullanılan başlangıç su tutulması miktarları kullanılmıştır. Böylelikle; havza alanlarında meydana gelen yüzeysel akış miktarları ile havza alanlarını kaplayan farklı arazi

kullanım sınıflarının yüzölçümleri arasında sadece istatistiğe dayalı soyut bir ilişki değil, gerçek dünyada olduğu gibi evapotranspirasyon ve su tutma miktarlarına dayalı bir hidrolojik ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Diğer bir deyişle regresyon analizine dayalı akış modellerinde yer alan değişkenler arasında bir yandan matematiksel bir ilişki kurulurken, diğer yandan bu ilişkinin hidrolojik açıdan anlamlı olmasına çalışılmıştır.

Öte yandan; uzun vadeli eklenik verilere dayalı model tasarımı sayesinde sürdürülebilirlik kapsamında uzun vadeli risk analizleri yapılabilmektedir. Model giriş verilerini oluşturan eklenik veriler 8 adet hesaplama dönemini içerecek şekilde toplam 101 aylık veriden oluşmaktadır. Her bir hesaplama dönemi birbirini takip eden 10 ile 14 aylık kesintisiz periyotlardan oluşmaktadır. Bu açıdan bakıldığında hesaplama dönemleri bir nevi su yılı gibi değerlendirilebilir. Uzun vadeli eklenik verilere dayalı olarak yapılan modelleme ile uzun vadeyi kapsayan çoklu hesaplama dönemleri (ya da çoklu su yılları) için yağış ve akış tahminleri ve bu tahminlere göre de hidrolojik açıdan uzun vadeli risk analizleri yapılabilmektedir. Sürdürülebilirlik kavramı da uzun vadeli bir süreci anlattığından dolayı, eklenik verilerle yapılan modellemeye dayalı uzun vadeli risk analizlerinin tez çalışmasının amacı ile örtüştüğü düşünülmektedir.

4.2 Elde Edilen Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmada modellemeye konu olan Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzalarına ait birçok yeni parametre için aylık ve yıllık hesaplamalar yapılmıştır. Bu parametrelerin başlıcaları; havzalarda meydana gelen arazi kullanım sınıflarındaki değişim, havzaların aylık ve yıllık yağış miktarları, havzalarda yer alan akım gözlem istasyonları ölçüm verileri ortalamaları, havzalardaki aylık ve yıllık referans ve gerçek evapotranspirasyon miktarları, havzalardaki arazi kullanım sınıflarına ait gerçek evapotranspirasyon katsayıları ve buna bağlı olarak hesaplanan arazi kullanım sınıfı gerçek evapotranspirasyon miktarları, arazi kullanım sınıflarına ait yüzey akış eğri numaraları ve başlangıç su tutulması miktarları olarak sıralanmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen bu verilere dayanarak havza bazında dinamik yağış ve akış modelleri oluşturulmuş ve bu modellere dayanarak uzun vadeli yüzeysel akış oluşum miktarlarına ilişkin

tahminler yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan bu analiz ve modelleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca verilmiştir.

Yağış Analizlerinin Sonuçları:

- Çalışma alanında yer alan Alibeyköy, Büyükçekmece ve Terkos su havzalarına ait 1990-2015 yılları arası yıllık ortalama yağış miktarına bakıldığında, en fazla yağış alan havzanın yıllık ortalama 918 mm ile Alibeyköy havzası olduğu, Terkos havzasının yıllık ortalama 842 mm ile ikinci sırada geldiği, Büyükçekmece havzasının ise yıllık ortalama 801 mm ile üçüncü sırada geldiği görülmüştür.
- Her üç havzada da en düşük yağışın temmuz ayında meydana geldiği görülürken, en fazla yağışın aralık ayında meydana geldiği görülmüştür. Alibeyköy havzasında temmuz ayı ortalama yağış miktarı 23 mm iken, aralık ayı ortalama yağış miktarı 154 mm olarak hesaplanmıştır. Büyükçekmece havzasında temmuz ayı ortalama yağış miktarı 24 mm iken, aralık ayı ortalama yağış miktarı 126 mm olarak hesaplanmıştır. Terkos havzasında ise temmuz ayı ortalama yağış miktarı 27 mm iken, aralık ayı ortalama yağış miktarı 129 mm olarak hesaplanmıştır.
- Yağış miktarlarının 1990-2015 yılları arasındaki değişimlerine bakıldığında ise Alibeyköy havzasındaki yağış miktarlarında düşük de olsa bir azalma eğilimi olduğu görülürken, Büyükçekmece ve Terkos havzalarındaki yağış miktarlarında bir artış eğilimi olduğu görülmüştür. Bu iki havzadaki yağış miktarları birbirleriyle karşılaştırıldığında ise Terkos havzasındaki yağış miktarı artış eğiliminin Büyükçekmece havzasına göre daha belirgin olduğu görülmüştür.

Arazi Örtüsü Değişimi Analizlerinin Sonuçları:

- Havzalardaki 1990-2015 yılları arası arazi kullanım sınıflarının değişimlerine bakıldığında, Alibeyköy havzasında tarım alanları %43 azalırken, yapılaşmış alanlar %424 oranında artmıştır. Yapılaşma büyük oranda tarım alanları üzerinde gerçekleşmiştir. Havza genelinde orman alanları %20 azalırken, doğal bitki örtüsü alanları %64 artmıştır. Bu değişimin temelinde; kuzeydeki ormanlık alanların ilk olarak maden alanına dönüşmesi, maden faaliyetleri

sona erdikten sonra bu alanlarda kısmen ağaçlandırma yapılsa da bu alanların çoğunlukla doğal bitki örtüsü ile kaplanması yatmaktadır. Maden alanlarının bir kısmı ise maden faaliyetleri sona erdikten sonra kıraç alanlar olarak kalmıştır. Bunun neticesinde maden alanları havza genelinde %18 azalırken, kıraç alanlar %275 oranında artmıştır.

- Büyükçekmece havzasında arazi örtüsü bakımından 1990-2015 yılları arasındaki en büyük değişimin yapılaşmış alanlarda olduğu görülmüştür. Yapılaşmış alanlar %229 oranında artmıştır. Yapılaşmanın çoğunlukla tarım alanlarında gerçekleştiği tespit edilmiş ve bunun karşılığı olarak tarım alanları %6 oranında azalmıştır. Havza içerisindeki orman ve doğal bitki örtüsü alanlarında önemli oranda bir değişimin olmadığı gözlenmiştir. Buna mukabil sazlık/bataklık alanlarda %78'lik bir artış olmuştur. Maden alanlarında %47'lik bir artış görülürken, kıraç alanlarda %29'luk bir azalma görülmüştür.
- Terkos havzasındaki 1990-2015 yılları arasındaki arazi örtüsü değişimine bakıldığında havzadaki yapılaşmış alanların %78 oranında artmış olduğu görülmüştür. Alibeyköy ve Büyükçekmece havzaları ile karşılaştırıldığında Terkos havzasındaki yapılaşma oranı daha düşük kalmıştır. Bunun başlıca nedeni havzanın kent merkezinden ve ana ulaşım yollarından uzakta yer almasıdır. Havzada orman alanları %5 artarken, tarım alanları %3 oranında azalmış, doğal bitki örtüsü alanlarında ise %67'lik bir azalma olmuştur. Maden alanları ve kıraç alanlar sırasıyla %21 ve %22 oranında azalmıştır. Orman alanlarındaki artış büyük oranda havzada yürütülen ağaçlandırma faaliyetleri neticesinde gerçekleşmiş olmakla birlikte, bazı eski maden alanlarının daha sonradan ağaçlandırma yapılarak ormanlık alanlara dönüştürüldüğü tespit edilmiştir.

Yüzeysel Akış Analizlerinin Sonuçları

- Havza alanları içerisinde yer alan DSİ AGİ akım gözlem istasyonlarına ait 1990-2015 yılları aylık akım ölçümlerine bakıldığında; Terkos havzası içerisinde yer alan D02A028 nolu Istrancadere-Karamandere akım gözlem istasyonu yüzeysel akış ölçüm miktarlarında düşük oranda bir artış eğilimi olduğu görülmüş ancak aylık ölçümlerdeki minimum-maksimum değer salınımlarının uzun vadede önemli bir değişikliğe uğramamış olduğu tespit

edilmiştir. AGİ'de ölçülen yüzeysel akış miktarlarına bakıldığında yıllık ortalama akışın 305,7 mm olduğu görülmüştür. En düşük akışlar ortalama 2,1 mm ile ağustos ayında, en yüksek akışlar ise ortalama 61,2 mm ile şubat ayında gerçekleşmiştir.

- Büyükçekmece havzası içerisinde yer alan D02A015 nolu Karasudere-İnceğiz akım gözlem istasyonu ile D02A016 nolu Sarısudere-İzzettin akım gözlem istasyonu yüzeysel akış ölçüm miktarlarına bakıldığında; Karasudere-İnceğiz AGİ'de düşük oranda bir artış eğilimi olduğu görülürken, Sarısudere-İzzettin akım gözlem istasyonu yüzeysel akış miktarında ise düşük oranda bir azalma eğilimi olduğu görülmüştür. Ancak her iki AGİ'ye ait aylık ölçümlerdeki minimum-maksimum değer salınımlarının uzun vadede önemli bir değişikliğe uğramamış olduğu tespit edilmiştir. Karasudere-İnceğiz akım gözlem istasyonunda ölçülen yüzeysel akış miktarlarına bakıldığında yıllık ortalama akışın 203,1 mm olduğu görülmüştür. En düşük akışlar ortalama 1,3 mm ile ağustos ayında, en yüksek akışlar ise ortalama 47,6 mm ile şubat ayında gerçekleşmiştir. Sarısudere-İzzettin akım gözlem istasyonunda ölçülen yüzeysel akış miktarlarına bakıldığında ise yıllık ortalama akışın 359,5 mm olduğu görülmüştür. En düşük akışlar ortalama 0,4 mm ile ağustos ayında, en yüksek akışlar ise ortalama 84,5 mm ile şubat ayında gerçekleşmiştir.
- Alibeyköy havzası içerisinde yer alan D02A047 nolu Malovadere-Pirinççiköy akım gözlem istasyonu yüzeysel akış ölçüm miktarlarına bakıldığında ise oldukça belirgin bir azalma eğilimi olduğu görülmüş ve bununla birlikte aylık ölçümlerdeki minimum-maksimum değer salınımlarının da uzun vadede belirgin bir değişikliğe uğramış olduğu tespit edilmiştir. Başlangıçta kış aylarında daha yüksek yaz aylarında daha düşük olan bu salınımlarda 2000'li yıllardan itibaren bir değişim olduğu tespit edilmiştir. Bu havzada yaz aylarındaki minimum-maksimum akım salınımları arasındaki farkın özellikle 2000'li yıllardan itibaren oldukça belirgin bir şekilde açılmış olduğu ve bazı aylarda neredeyse kış mevsimi akım miktarlarına ulaşan ölçümlerin olduğu görülmüştür. AGİ'de ölçülen yüzeysel akış miktarlarına bakıldığında yıllık ortalama akışın 621,4 mm olduğu görülmüştür. En düşük akışlar ortalama

34,6 mm ile haziran ayında, en yüksek akışlar ise ortalama 92,5 mm ile şubat ayında gerçekleşmiştir.

- Literatür özetinde yer alan çalışmaların hemen hemen tümünde elde edilen sonuçlar; iklim değişikliği kadar olmasa da arazi örtüsündeki değişimlerin havza hidrolojisinde belli ölçüde etkili olduğu yönündedir. Dolayısıyla iklimsel etkenler kadar olmasa da arazi kullanımındaki değişimlerin çalışma alanı olarak seçilen havza alanlarında meydana gelen yağış ve akış rejimlerindeki değişimlere belli bir ölçüde etki ettiği düşünülmektedir. Yağış ve akış rejimlerindeki en büyük değişimlerin Alibeyköy havzasında meydana geldiği görülmektedir. Bu havzadaki arazi kullanım sınıflarında meydana gelen değişime bakıldığında havza yüzölçümüne oranla yapılaşmış alan ve maden sahası artışının diğer havzalara göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. Maden sahalarındaki artışa karşılık orman alanları %20 oranında azalmıştır. Bu açıdan bakıldığında; Alibeyköy havzası arazi örtüsünde meydana gelen bu önemli değişimin akış rejiminde meydana gelen değişim ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Gerçek Evapotranspirasyon Hesaplarının Sonuçları:

- Çalışma kapsamında arazi kullanım sınıfları için yapılan gerçek evapotranspirasyon hesaplarında en yüksek evapotranspirasyon miktarına sahip araziler içerisinde orman alanlarının ve sazlık/bataklık alanların yer aldığı görülmüştür. Bu sonuçlar literatürde yer alan birçok çalışmanın sonuçları ile uyumlu çıkmıştır.
- Gerçek evapotranspirasyon hesaplarının yapılması kapsamında hesaplanan ETa katsayıları değerlendirildiğinde; kıraç, maden, su yüzeyi ve yapılaşmış alanların ETa katsayıları yıl boyunca sabit kalmakta, sazlık/bataklık, orman, doğal bitki örtüsü ve tarım alanlarının ETa katsayıları ise aylara göre değişkenlik göstermektedir. Buna göre bu alanlarda yaz aylarında ETa katsayıları artarken, kış aylarında düşmektedir. Bu alanlardaki en yüksek ETa katsayılarının nisan ve mayıs alanlarına ait olduğu görülmüştür. Bunun başlıca nedeninin; bu aylarda bir yandan sıcaklıklar artarken diğer yandan yağışların da devam etmesi olduğu düşünülmektedir. Bu ayları takip eden

haziran ayından itibaren eylül ayına kadar ETa katsayıları düşüş göstermektedir. Bunun nedeninin ise bu dönemde hava sıcaklıklarının daha da artmasına rağmen yağış miktarlarında meydana gelen azalma ve buna bağlı olarak zeminde yeterli su olmadığından gerçek evapotranspirasyonun kısıtlanması olduğu düşünülmektedir.

- Alibeyköy havzasında yıllık ETa kayıplarının en fazla olduğu arazilerin sazlık/bataklık alanlar olduğu görülmektedir. Bu alanlardaki yıllık ortalama ETa kayıpları yaklaşık 720 mm olarak hesaplanmıştır. Sazlık/bataklık alanlarını ise yıllık ortalama 689 mm ETa kaybı ile orman alanları takip etmektedir. Üçüncü sırada yer alan mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarındaki yıllık ortalama ETa kayıpları 612 mm olarak, dördüncü sırada yer alan su yüzeylerindeki yıllık ortalama ETa kayıpları 589 mm olarak hesaplanmıştır. Tarım alanlarındaki yıllık ortalama ETa kayıpları 543 mm, kıraç alanlardaki yıllık ortalama ETa kayıpları ise 532 mm olarak hesaplanmıştır. Bu iki arazi sınıfının yıllık ortalama ETa kayıpları birbirine yakın çıkmakla beraber aylık bazda farklılaşmaktadır. Nisan-Temmuz ayları arasında tarım alanlarındaki ETa kayıpları kıraç alanlara göre daha fazla olmaktadır. Yapılaşmış alanlar ve maden alanlarındaki yıllık ortalama ETa kayıpları ise sırasıyla 448 ve 440 mm olarak hesaplanmıştır.
- Büyükçekmece havzasında yıllık ETa kayıplarının en fazla olduğu arazilerin orman alanları olduğu görülmektedir. Bu alanlardaki yıllık ortalama ETa kayıpları yaklaşık 705 mm olarak hesaplanmıştır. Orman alanlarını yıllık ortalama 570 ve 547 mm ETa kayıpları ile sırasıyla mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanları ile sazlık/bataklık alanlar takip etmektedir. Tarım alanları, kıraç alanlar, maden alanları ve su yüzeylerinde meydana gelen yıllık ortalama ETa kayıpları birbirine yakın şekilde 430-465 mm aralığında çıkmıştır. Bu arazilerdeki yıllık ortalama ETa kayıpları birbirine yakın çıkmakla beraber, ETa kayıpları ay bazında ve de bulundukları coğrafi konuma bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tarım alanlarında Nisan-Temmuz ayları arasında daha yüksek ETa kayıpları görülürken, kıraç, maden ve su yüzeylerinde diğer aylarda tarım alanlarına göre daha yüksek ETa

kayıpları görülmektedir. Bunun başlıca nedeninin ise tarım alanlarındaki ekim-dikim-hasat dönemlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılaşmış alanlardaki ETa kayıplarının ise yıllık ortalama 362 mm ile diğer arazi kullanım sınıflarına göre daha düşük olduğu görülmektedir.

- Terkos havzasında yıllık ETa kayıplarının en fazla olduğu arazilerin sazlık/bataklık alanlar olduğu görülmektedir. Bu alanlardaki yıllık ortalama ETa kayıpları yaklaşık 880 mm olarak hesaplanmıştır. Sazlık/bataklık alanlarını ise yıllık ortalama 797 mm ETa kaybı ile orman alanları takip etmektedir. Üçüncü sırada yer alan mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarındaki yıllık ortalama ETa kayıpları 787 mm olarak, dördüncü sırada yer alan tarım alanlarındaki yıllık ortalama ETa kayıpları 757 mm olarak hesaplanmıştır. Kırak alanlar, maden alanları ve yapılaşmış alanlardaki yıllık ortalama ETa kayıpları ise birbirine yakın şekilde 609-619 mm aralığında çıkmıştır. Su yüzeylerindeki yıllık ortalama ETa kayıpları ise 592 mm olarak hesaplanmıştır.

Modellemeye Dayalı Risk Analizlerinin Sonuçları:

- Çalışma kapsamında kullanılan yağış ve akış modelleri regresyon analizi yöntemine göre geliştirilmiş modeller olup, bu modellerin başarı oranları model determinasyon katsayılarına (R^2) bakılarak ölçülmüştür. Aylık eklenik veriler kullanılarak yapılan bu modelleme çalışmalarının tümünün R^2 değerleri 0,99 gibi yüksek bir mertebede çıkmıştır. Bu da modellerin uzun vadede yüksek bir doğrulukta tahmin yapabilme yeteneği olduğuna işaret etmektedir.
- Havza alanı kapsamında geliştirilen yağış modelleri havza alanları içerisinde daha küçük bir alanı kapsayan AGİ su toplama alanları için test edilerek yağış modellerinin başarı oranı ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre yine 0,99 mertebelerinde R^2 katsayılarına ulaşılmış ve uzun vadede hata oranlarının %5 mertebelerine kadar düştüğü görülmüştür. Yağış ve akış modellerinin sonuçları, eklenik verilere dayalı olarak yapılan modelleme çalışmalarında uzun vadede daha tutarlı ve doğru tahminlere ulaşılabileceğini göstermiştir.

Yağış ve akış modelleri kullanılarak havzalardaki tarım, orman ve çayır/mera gibi doğal alanların belli oranlarda yapılaşmış alanlara ve maden sahalarına dönüştürüldüğü farklı arazi kullanımı senaryolarına göre havzalarda meydana gelecek yüzeysel akış miktarları tahmin edilmiştir.

- Alibeyköy havzasında orman alanlarının yapılaşmaya açıldığı, maden faaliyetlerine açıldığı veya tarım alanlarına dönüştürüldüğü senaryolarda havza bütününde uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarlarında sırasıyla %12, %15 ve %11 civarında bir azalma olacağı tahmin edilmektedir. Tarım alanlarının veya mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarının yapılaşmış alanlara dönüştürüldüğü senaryolarda ise havza bütününde uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarlarında önemli bir değişim olmayacağı tahmin edilmiştir.
- Büyükçekmece havzasında orman alanlarının yapılaşmaya açıldığı, maden faaliyetlerine açıldığı veya tarım alanlarına dönüştürüldüğü senaryolarda havza bütününde uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarlarında sırasıyla %24, %25 ve %24 civarında bir azalma olacağı tahmin edilmektedir. Tarım alanlarının veya mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarının yapılaşmış alanlara dönüştürüldüğü senaryolarda ise havza bütününde uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarlarında önemli bir değişim olmayacağı tahmin edilmiştir.
- Terkos havzasında orman alanlarının yapılaşmaya açıldığı, maden faaliyetlerine açıldığı veya tarım alanlarına dönüştürüldüğü senaryolarda havza bütününde uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarlarında sırasıyla %12, %13 ve %12 civarında bir azalma olacağı tahmin edilmektedir. Tarım alanlarının veya mera/çayır gibi doğal bitki örtüsü alanlarının yapılaşmış alanlara dönüştürüldüğü senaryolarda ise havza bütününde uzun vadede meydana gelecek yüzeysel akış miktarlarında önemli bir değişim olmayacağı tahmin edilmiştir.
- Bu sonuçlara göre bir değerlendirme yapıldığında; yüzeysel akış miktarlarının en çok orman alanlarından etkilendiği gözlenmektedir. Orman alanlarının

yüzeysel akış miktarı üzerindeki belirgin etkileri ise bir yandan yüksek evapotranspirasyon miktarı ve su tutma potansiyelinden kaynaklanırken, diğer yandan çalışma kapsamında orman alanı varlığı ile yağış miktarı arasında bir ilişki kurmak amacıyla yapılan yağış modellemesinin sonuçlarından kaynaklanmaktadır.

- Öte yandan; tarım veya doğal bitki örtüsü alanlarının yapılaşmaya açıldığı senaryoların sonuçlarına bakıldığında, tüm havzalar için havza bütününde meydana gelen yüzeysel akış miktarlarında önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Ancak bu durum tarım alanlarının veya doğal bitki örtüsü alanlarının yapılaşmış alanlara dönüştürülmesinde bir sakınca olmadığı anlamına gelmemektedir. Bunun başlıca nedeni; çalışma kapsamında geliştirilen akış modellerinin sadece yüzeysel akış miktarlarına ilişkin olup, yeraltı suyu oluşum miktarlarına ilişkin bir modellemenin yapılmadığıdır. Tarım alanlarının veya doğal bitki örtüsü alanlarının yapılaşmış alanlara dönüştürülmesi neticesinde zeminin sızdırma kapasitesinin azalarak yeraltı suyu oluşum miktarlarının azalması riski bulunmaktadır. Yeraltı suyunun havza su bütçesinde yıl boyunca yaptığı katkılar düşünüldüğünde, yüzeysel akış miktarlarında uzun vadede bir değişim öngörülme de yeraltı suyunun azalarak havza su bütçesinin olumsuz etkilenme riski bulunmaktadır.
- Tez çalışması kapsamında geliştirilen bu yeni modelleme yaklaşımının, arazi kullanım planları, havza yönetim planları gibi planlamayı ilgilendiren birçok çalışma kapsamında yapılacak uzun vadeli tahmin ve öngörüler için kullanılabilir olduğu düşünülmektedir. Planlama çalışmalarının sonuçları uzun vadeli olduğundan, planlamanın temel hedeflerinin başında sürdürülebilirlik ilkesi gelmektedir. Özellikle hidrolojik açıdan sürdürülebilir bir planlama vizyonu ve yaklaşımının benimsendiği arazi kullanım planlaması çalışmalarında, uzun vadeli plan projeksiyonları ve havza hidrolojisine ilişkin risk analizlerinin yapılmasında tez çalışması kapsamında geliştirilen havza yağış ve akış modellerinin önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın Kısıtlılıkları:

- Çalışmanın bazı kısıtlılıkları bulunmaktadır. Bu kısıtlılıkların başında; çalışma alanı ve çevresinde yeterli ölçüm verisine sahip olan meteoroloji ölçüm istasyonu sayısının az olması gelmektedir. Yağış verilerinin ve referans evapotranspirasyon hesaplarında kullanılan diğer iklim verilerinin kalitesi meteoroloji ölçüm istasyonlarını sayısının artması ile daha da artacaktır. Bölgesel iklim hesaplarının yapılmasında kullanılan meteoroloji ölçüm istasyonu sayısı daha da artırıldığı takdirde, havza ve alt havza ölçeğinde daha hassas iklim parametrelerine ulaşılabileceği şüphesizdir.
- Diğer yandan çalışmada kullanılan gerçek evapotranspirasyon miktarları ve sızma hesaplarında kullanılan başlangıç su tutulması miktarları ölçüm verilerine değil, modelleme çalışmalarından elde edilen verilere dayanmaktadır. Evapotranspirasyon ve/veya sızma miktarlarını ilgilendiren hesaplamaların ölçüm verilerine dayanarak elde edilmesi durumunda model sonuçlarının da gerçeğe daha yakın sonuçlar vereceği düşünülmektedir.
- Ayrıca yukarıda da belirtildiği üzere, çalışma kapsamında geliştirilen akış modelleri sadece yüzeysel su akışı oluşum miktarlarının tahminine yöneliktir. Havza su bütçesinde önemli katkıları olan yeraltı suyu oluşumu modellerin içerisinde yer almamaktadır.

İleri Aşama Çalışmaların Yapılmasına İlişkin Düşünceler:

İleri aşama çalışmaların yapılması kapsamında; yeraltı suyu oluşumunun da modellemeye dahil edildiği eklenik verilere dayalı havza modelleri geliştirildiği takdirde, havza bazında uzun vadeli su oluşumuna ilişkin yapılan tahminlerde yeraltı suyunun havza su bütçesine olan katkılarının da ortaya konabileceği düşünülmektedir. Ayrıca havza yağış modellerinin yükselti, denizden uzaklık, coğrafi konum, nem, sıcaklık gibi ilave değişkenlerin de eklenerek daha da geliştirilmesi durumunda, daha hassas bir yağış modellemesi yapılabileceği düşünülmektedir.

-
- [1] R.K. Pachauri, L.A. Meyer (eds.). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2014.
 - [2] O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J. C. Minx (eds.). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2014.
 - [3] N. E. Ülger. Arazi yönetimi. YEM Yayınları, 2020.
 - [4] A. El-Sadek, A. Irvem, "Evaluating the impact of land use uncertainty on the simulated streamflow and sediment yield of the Seyhan River basin using the SWAT model," Turkish Journal of Agriculture and Forestry, vol. 38, pp. 515-530, 2014.
 - [5] O. Horvat, K. Hlackova, S. Kohnova and M. Danko, "Application of the Frier distributed model for estimating the impact of land use changes on the water balance in selected basins in Slovakia," Journal of Hydrology and Hydromechanics, vol. 57-4, pp. 213-225, 2009.
 - [6] J. L. Lopez-Moreno, S. M. Vicente-Serrano, E. Moran-Tejeda, J. Zabalza, J. Lorenzo-Lacruz and J. M. Garcia-Ruiz, "Impact of climate evolution and land use changes on water yield in the Ebro basin," Hydrology and Earth System Sciences, vol. 15, pp. 311-322, 2011.
 - [7] L. M. Mango, A. M. Melesse, M. E. McClain, D. Gann and S. G. Setegn, "Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara river basin, Kenya: Results of a modeling study to support better resource management," Hydrology and Earth System Sciences, vol. 15, pp. 2245-2258, 2011.
 - [8] S. Obahoundje, A. Diedhiou, E. A. Ofosu, S. Anquetin, B. François, J. Adoukpe, E. Amoussou, Y. M. Kouame, K. L. Kouassi, V. H. Nguessan-Bi and M. Youan-Ta, "Assessment of spatio-temporal changes of land use and land cover over south-western african basins and their relations with variations of discharges," Hydrology, vol. 5, 56, 2018.
 - [9] C. Mera-Parra, F. Oñate-Valdivieso, P. Massa-Sánchez and P. Ochoa-Cueva, "Establishment of the baseline for the IWRM in the ecuadorian andean basins: Land use change, water recharge, meteorological forecast and hydrological modeling," Land, vol. 10, 513, 2021.

- [10] S. N. Miller, W. G. Kepner, M. H. Mehaffey, M. Hernandez, R. C. Miller, D. C. Goodrich, K. K. Devonald, D. T. Heggem and W. P. Miller, "Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis," *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 38(4), pp. 915 – 929, 2002.
- [11] Y. Xi, S. Peng, P. Ciais, M. Guimberteau, Y. Li, A. S. Piao, X. Wang, J. Polcher, J. Yu, X. Zhang, F. Zhou, Y. Bo, C. Ottle and Z. Yin, "Contributions of climate change, CO₂, land-use change, and human activities to changes in river flow across 10 chinese basins region," *Journal of Hydrometeorology*, vol. 19 (11), pp. 1899–1914, 2018.
- [12] S. E. Lewis, R. Bartley, S. N. Wilkinson, Z. T. Bainbridge, A. E. Henderson, C. S. James, S. A. Irvine and J. E. Brodie, "Land use change in the river basins of the Great Barrier Reef, 1860 to 2019: A foundation for understanding environmental history across the catchment to reef continuum," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 166, 112193, 2021.
- [13] C. Esse, N. Ríos, P. Saavedra, D. Fonseca, F. Encina-Montoya, R. Santander-Massa, P. De los Ríos-Escalante, G. Figueroa-Muñoz, A. López-Pérez and F. Correa-Araneda, "Effects of land use change on water availability and water efficiency in the temperate basins of south-central Chile," *Journal of King Saud University – Science*, vol. 33(8), 101650, 2021.
- [14] D. A. Rodriguez, J. Tomasell, "On the ability of large-scale hydrological models to simulate land use and land cover change impacts in Amazonian basins," *Hydrological Sciences Journal*, vol 61(10), pp. 1831–1846, 2016.
- [15] M. Öztürk, N. K. Coptý and A. K. Saysel, "Modeling the impact of land use change on the hydrology of a rural watershed," *Journal of Hydrology*, vol. 497, pp. 97-109, 2013.
- [16] O. Fıstıkoğlu, "Development of integrated tools for river basin management - DRRSM and GIS application," *Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*, 2002.
- [17] K. Saplıoğlu, "Parametrik havza modellemesi ile akım tahmini: Köprüçay nehri havzası," *Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*, 2010.
- [18] M. Z. İmamoğlu, "Aktif uzaktan algılama verileri ve CBS destekli hidrolojik model kullanılarak Büyükçekmece havzasının incelenmesi," *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*, 2017.
- [19] A. Pirnia, M. Golshan, H. Darabi, J. Adamowski and S. Rozbeh, "Using the Mann–Kendall test and double mass curve method to explore stream flow changes in response to climate and human activities," *Journal of Water and Climate Change*, vol. 10 (4), pp. 725–742, 2019.
- [20] M. L. Tan, A. L. Ibrahim, Z. Yusop, Z. Duan and L. Ling, "Impacts of land-use and climate variability on hydrological components in the Johor River basin, Malaysia," *Hydrological Sciences Journal - Special issue: Evaluation of Water Resources with SWAT*, vol. 60 (5), pp. 873-889, 2015.

- [21] A. Ülke, T. Özkoca, "Sinop, Ordu ve Samsun illerinin sıcaklık verilerinde trend analizi," Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 8(2), pp. 455-463, 2018.
- [22] T. Temur, "Türkiye’de iklim değişikliğinin zaman serileri ile analizi," Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 2018.
- [23] U. Zeybekoğlu, T. Partal, "Sinop iline ait aylık ve yıllık yağış yükseklikleri ile standart süreli yağış şiddetlerinin farklı trend analizi yöntemleriyle değerlendirilmesi," İklim Değişikliği ve Çevre, vol. 3 (1), pp. 1–8, 2018.
- [24] F. D. Çelik, M. Çelik, "Veri madenciliği yaklaşımları kullanılarak iklimsel parametrelerin arasındaki ilişkilerin belirlenmesi," Araştırma Projesi, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Kurulu, Kayseri, 2012.
- [25] G. E. Yarbaş, A. İ. Martı, "Güneyli salınımın Yeşilirmak havzası üzerindeki etkileri," Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, vol. 2(3), pp. 112-121, 2019.
- [26] N. Büyükkaracıoğlu. Hidrolojik verilerin değişkenlik analizi ve uygulamaları. İksad Publishing House, 2019.
- [27] İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) 2021 Yılı Faaliyet Raporu, İstanbul.
- [28] Bimtaş, "İstanbul büyükşehir alanı ve çevresinde; tarım sektörünün gelişim sürecinin mekansal boyutu ile birlikte incelenmesi ve araştırılması, bu sektörün geleceğe dönük gelişme eğilim ve potansiyellerinin belirlenmesi, planlamaya dönük gelişme stratejileri ve modellerinin tanımlanması konularına yönelik analitik etüd işi: Yüzeysel su kaynakları raporu," İstanbul, 2006.
- [29] S. Şahin, "Yapay sinir ağlarının iklim bölgelerinin belirlenmesinde kullanılması ve WARD metodu ile karşılaştırılması," Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul ,2009.
- [30] Z. Şen. İstatistik veri işleme yöntemleri (Hidroloji ve meteoroloji). Su Vakfı Yayınları, İstanbul. 2002.
- [31] Z. Şen, N. B. Harmancıoğlu, Ü. Şorman ve A. Bulu. Hidrolojide veri işlem, yorumlama ve tasarım: Seminer notları. Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2002.
- [32] M. Bayazıt. Hidroloji. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1996.
- [33] Z. Özer. Su yapılarının projelendirilmesinde hidrolojik ve hidrolik esaslar. Tarım Orman Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1990.
- [34] Z. Şen. Su bilimi ve yöntemleri. Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2003.
- [35] F. W. Chen, C. W. Liu, "Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan," Paddy Water Environment, vol. 10, pp. 209-222, 2012.

- [36] S. Samanta, D. K. Pal, D. Lohar and B. Pal, "Interpolation of climate variables and temperature modeling," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 107, pp. 35–45, 2012.
- [37] X. Yang, X. Xie, D. L. Liu, F. Ji and L. Wang, "Spatial interpolation of daily rainfall data for local climate impact assessment over Greater Sydney Region," *Advances in Meteorology*, annual 2015. Gale Academic OneFile, 563629, 2015.
- [38] M. Durmuş, "Aynı iklim kuşağında farklı arazi kullanımları altındaki toprakların bazı özelliklerindeki değişim" Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Ordu, 2019.
- [39] M. N. Uddin, M. S. A. Mondal and N. M. R. Nasher, "Spatio-temporal analysis of maximum and minimum temperature in Bangladesh", *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, vol. 7(2), pp. 73–77, 2014.
- [40] R. Bakış, Y. Bayazıt ve H. Uyguçgil, "Seydisuyu havzasındaki yağış, sıcaklık ve buharlaşma dağılımlarının uzaklığa bağlı tahminleri ile haritalanması," IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Zonguldak, 16-19 Ekim, 2012.
- [41] M. Güler, "Tarımsal uygulamalarda kullanılan bazı iklim verilerinin kestirimi ve veri tabanının oluşturulması," Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 2010.
- [42] Y. Chen, X. Shan, X. Jin, T. Yang, F. Dai ve D. Yang, "A comparative study of spatial interpolation methods for determining fishery resources density in the Yellow Sea", *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 35, pp. 65–72, 2016.
- [43] M. Kucukmehmetoglu, A. Geymen, "Measuring the spatial impacts of urbanization on the surface water resource basins in Istanbul via remote sensing," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 142, pp. 153–169, 2008.
- [44] M. Kucukmehmetoglu, A. Geymen, "Urban sprawl factors in the surface water resource basins of Istanbul," *Land Use Policy*, vol. 26 (3), pp. 569-579, 2009.
- [45] I. E. Ayazli, F. Kilic, S. Lauf, H. Demir and B. Kleinschmit, "Simulating urban growth driven by transportation networks: A case study of the Istanbul third bridge," *Land Use Policy*, vol. 49, pp. 332-340, 2015.
- [46] M. Çetin, "A satellite-based assessment of the impact of urban expansion around a lagoon," *International Journal of Environment Science and Technology*, vol. 6 (4), pp. 579-590, 2009.
- [47] A. Koç, "1975-2000 yılları arasında İstanbul'daki arazi kullanım değişimlerinin Landsat MSS ve Landsat ETM+ verileri ile belirlenmesi," *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, vol. 56 (2), pp. 15-35, 2006.
- [48] M. Córdova, G. Carrillo-Rojas, P. Crespo, B. Wilcox and R. Céleri, "Evaluation of the Penman-Monteith (FAO 56 PM) method for calculating reference evapotranspiration using limited data," *Mountain Research and Development*, vol. 35(3), pp. 230-239, 2015.

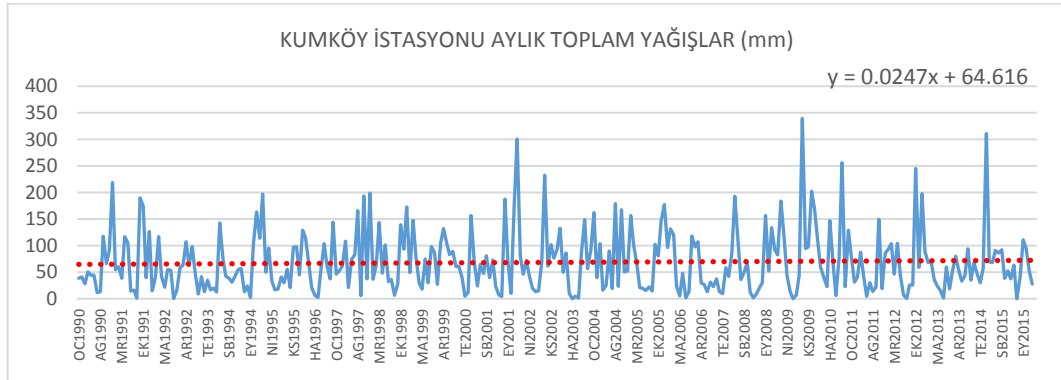
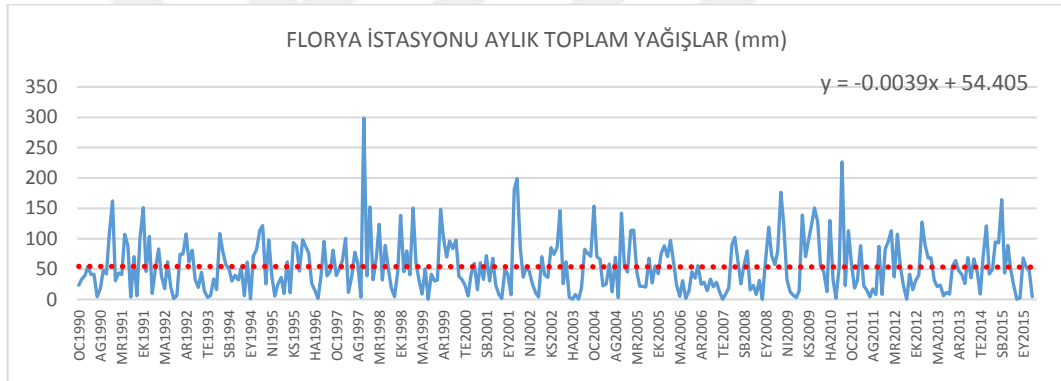
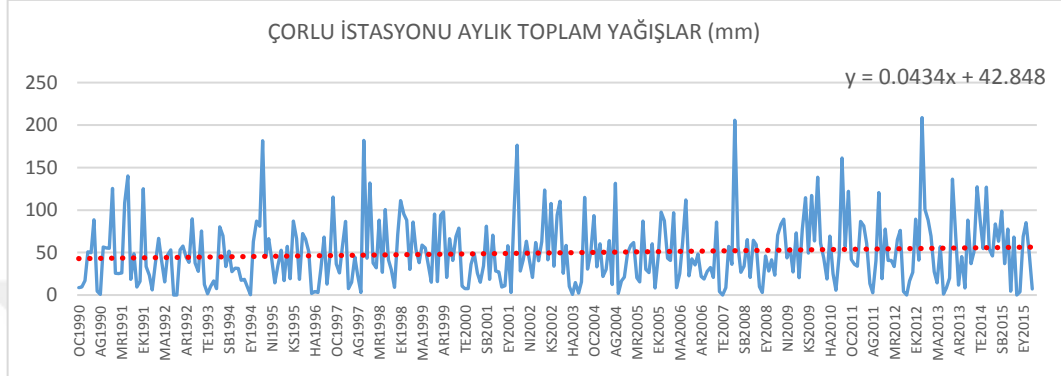
- [49] G. B. Senay, S. Kagone and N. M. Velpuri, "Operational global actual evapotranspiration: Development, evaluation and dissemination," *Sensors*, vol. 20 (7), 1915, 2020.
- [50] G. B. Senay, S. Bohms, R. K. Singh, P. H. Gowda, N. M. Velpuri, H. Alemu and J. P. Verdin, "Operational evapotranspiration mapping using remote sensing and weather datasets: A new parameterization for the SSEB approach," *Journal Of The American Water Resources Association*, vol. 49(3), pp. 577-591, 2013.
- [51] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper (Vol. 56), 1998.
- [52] R. R. McShane, K. P. Driscoll and R. Sando, "A review of surface energy balance models for estimating actual evapotranspiration with remote sensing at high spatiotemporal resolution over large extents," U.S. Geological Survey scientific investigations report, 2017–5087, 2017.
- [53] M. E. Savoca, G. B. Senay, M. A. Maupin, J. F. Kenny and C. A. Perry, "Actual evapotranspiration modeling using the operational simplified surface energy balance (SSEBop) approach," U.S. Geological Survey scientific investigations report, 2013-5126, 2013.
- [54] G. B. Senay, P. H. Gowda, S. Bohms, T. A. Howell, M. Friedrichs, T. H. Marek and J. P. Verdi, "Evaluating the SSEBop approach for evapotranspiration mapping with landsat data using lysimetric observations in the semi-arid Texas high plains. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, vol. 11, pp. 723–756, 2014.
- [55] G. B. Senay, M. Friedrichs, R. K. Singh and N. M. Velpuri, "Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin," *Remote Sensing of Environment*, vol. 185, pp. 171–185, 2016.
- [56] M. Chen, G. B. Senay, R. K. Singh and J. P. Verdin, "Uncertainty analysis of the operational simplified surface energy balance (SSEBop) model at multiple flux tower sites," *Journal of Hydrology*, vol. 536, pp. 384–399, 2016.
- [57] A. C. P. de-Paula, C. M. D. Silva, L. Rodrigues and M. Scherer-warren, "Performance of the SSEBop model in the estimation of the actual evapotranspiration of soybean and bean crops," *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54, 54, 2019.
- [58] G. B. Senay, M. Schauer, N. M. Velpuri, R. K. Singh, S. Kagone, M. Friedrichs, M. E. Litvak and K. R. Douglas-Mankin, "Long-term (1986–2015) crop water use characterization over the Upper Rio Grande Basin of United States and Mexico using Landsat-based evapotranspiration," *Remote Sensing*, vol. 11(13), 1587, 2019.
- [59] S. Ayyad, I. S. Al Zayed, V. T. T. Ha and L. Ribbe, "The performance of satellite-based actual evapotranspiration products and the assessment of irrigation efficiency in Egypt," *Water*, vol. 11 (9), 1913, 2019.

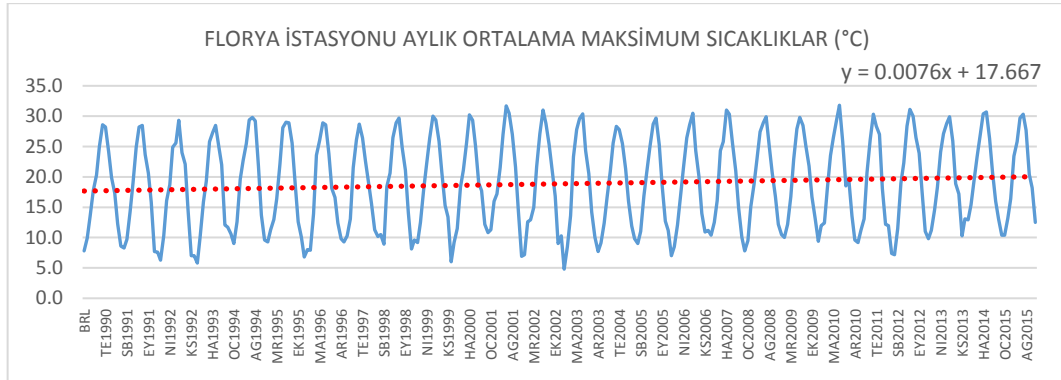
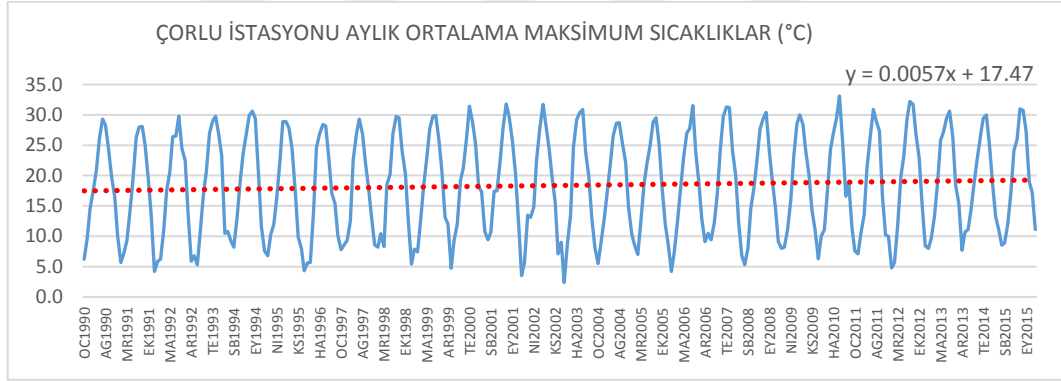
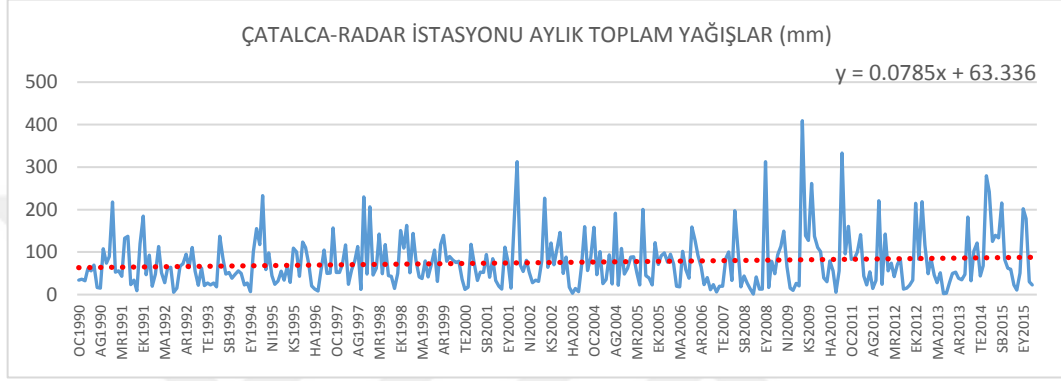
- [60] S. Celestin, F. Qi, R. Li, T. Yu and W. Cheng, "Evaluation of 32 simple equations against the Penman–Monteith method to estimate the reference evapotranspiration in the Hexi Corridor, Northwest China," *Water*, vol. 12, 2772, 2020.
- [61] S. Debnath, S. Adamala and N. S. Raghuwanshi, "Sensitivity analysis of FAO-56 Penman-Monteith method for different agro-ecological regions of India," *Environmental Processes*, vol. 2, pp. 689–704, 2015.
- [62] D. Lang, J. Zheng, J. Shi, F. Liao, X. Ma, W. Wang, X. Chen and M. Zhang, "A comparative study of potential evapotranspiration estimation by eight methods with FAO Penman–Monteith method in Southwestern China," *Water*, vol. 9, 734, 2017.
- [63] X. Hao, S. Zhang, W. Li, W. Duan, G. Fang, X. Y. Zhang and B. Guo, "The uncertainty of Penman-Monteith method and the energy balance closure problem," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 123, pp. 7433–7443, 2018.
- [64] K. Djamana, A. B. Baldea, A. Sowa, B. Mullera, S. Irmak, M. K. N'Diaye, B. Manneha, Y. D. Moukoubia, K. Futakuchic and K. Saito, "Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal river valley," *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 3, pp. 139–159, 2015.
- [65] X. Song, F. Lu, W. Xiao, K. Zhu, Y. Zhou and Z. Xie, "Performance of 12 reference evapotranspiration estimation methods compared with the Penman–Monteith method and the potential influences in Northeast China," *Meteorological Applications*, vol. 26, pp. 83–96, 2019.
- [66] G. B. Senay, S. Kagone, C. Young, C. Holen, M. T. McElhone, M. Budde and J. Rowland, "Integrating satellite thermal imagery and global weather datasets for operational actual evapotranspiration mapping and drought early warning applications," *IEEE international geoscience and remote sensing symposium*, 2021.
- [67] D. Öztürk, F. Batuk, "SCS yüzey akış eğri numarasının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi," *TUFUAB VI. Teknik Sempozyumu, Türkiye*, 2011.
- [68] C. Chatterjee, R. Jha, A. K. Lohani, R. Kumar and R. Singh, "Runoff curve number estimation for a basin using remote sensing and GIS". *Asia Pacific Remote Sensing GIS Journal*, vol.14, pp.1-7, 2001.
- [69] L. Ling, Z. Yusop, W. Yap, W. L. Tan, M. F. Chow and J. L. Ling, "A calibrated, watershed-specific SCS-CN method: Application to Wangjiaqiao watershed in the three gorges area, China," *Water* 2020, 12(1), 60, 2019.
- [70] T. F. Girayhan, "Nicel taşkın risk değerlendirmesiyle hasar modellemesi ve metodolojisinin geliştirilmesi," *Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara*, 2015.
- [71] A. Bansode, K. A. Patil, "Estimation of runoff by using SCS curve number method and ArcGIS," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 5 (7), pp. 1283-1287, 2014.

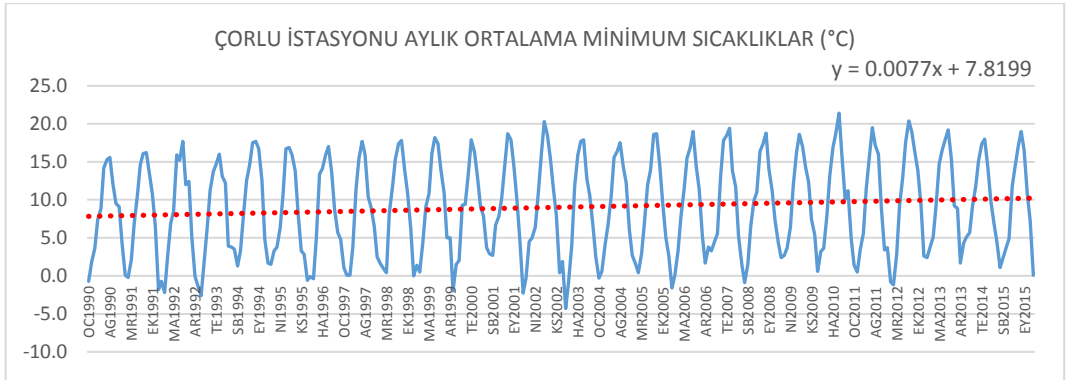
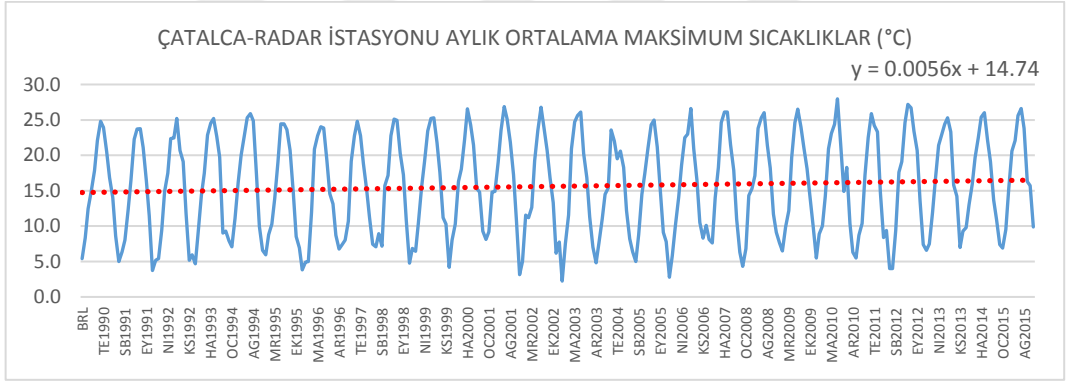
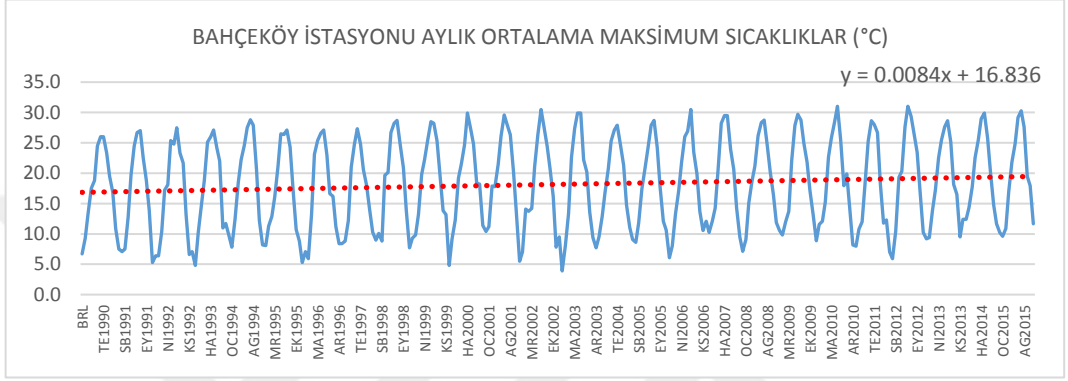
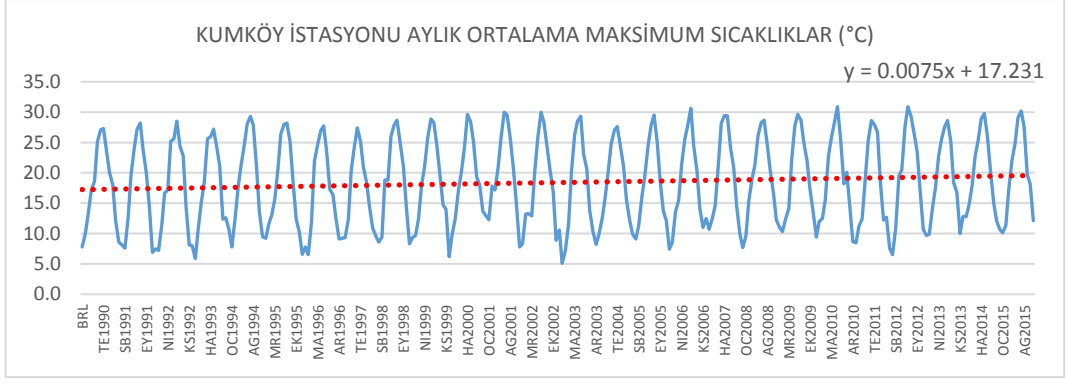
- [72] I. Ahmad, V. Verma and M. K. Verma, "Application of curve number method for estimation of runoff potential in GIS environment," 2nd international conference on geological and civil engineering IPCBEE, vol. 80, 2015.
- [73] D. Tailor, N. J. Shrimali "Surface runoff estimation by SCS curve number method using GIS for Rupen-Khan watershed, Mehsana district, Gujarat," Journal of Indian Water Resource Society, vol. 36 (4), pp. 1-5, 2016.
- [74] K. X. Soulis, "Estimation of SCS curve number variation following forest fires," Hydrological Sciences Journal, vol. 63 (9), pp. 1332-1346, 2018.
- [75] A. Apaydın, "Yeraltısuyu besleniminin eğri numarası (SCS-CN) yöntemi ile hesaplanması: Çakıloba-Karadoruk akifer sisteminde (Beypazarı-Ankara) örnek uygulama", Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, Yerbilimleri, vol. 28 (3), pp. 159-172, 2007.
- [76] Ü. Köylü, "Arazi kullanım değişiminin iklime olan etkilerinin modellenmesi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2017.
- [77] Urban hydrology for small watersheds TR-55, United States Department of Agriculture, Technical release 55, 210-VI-TR-55, 1986.
- [78] D. Okçu, "Türkiye'de bitki örtüsü indeksi değerlerinin değişimi ve meteorolojik parametrelerle ilişkilendirilmesi" Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1999.
- [79] R. K Gupta, S. Panigrahy, "Variation of runoff generation in India using remotely sensed input and soil conservation service curve number mode," Journal of Current Science, vol. 95, pp.1580-1587, 2008.
- [80] S. Özhan, "Havzalarda orman ve otlak alanları amenajının su verimine ve su kalitesine etkileri » adlı makaleye ilişkin açıklama," İstanbul Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, seri: B, cilt: 44, sayı: 3-4, 1994.
- [81] B. M. Bennett, G. A. Barton, "The enduring link between forest cover and rainfall: a historical perspective on science and policy discussions," Forest Ecosystems, 5, 5, 2018.
- [82] D. L. Goldling, "The effects of forests on precipitation," Forestry Chronicle vol. 46, pp. 397– 402, 1970.
- [83] D. Ellison, C. E. Morris, B. Locatelli, D. Sheil, J. Cohen, D. Murdiyarso, V. Gutierrez,, M. van Noordwijk, I. F. Creed, J. Pokorny, D. Gaveau, D. V. Spracklen, A. B. Tobella, U. Ilstedt, A. J. Teuling, S. G. Gebrehiwot, D. C. Sands, B. Muys, B. Verbist, E. Springgay, Y. Sugandi and C. A. Sullivan, "Trees, forests and water: Cool insights for a hot world", Global Environmental Change, vol. 43, pp. 51–61, 2017.
- [84] D. C. Zemp, C. F. Schleussner, H. M. J. Barbosa, and A. Rammig, "Deforestation effects on Amazon forest resilience," Geophysical Research Letters, vol. 44, pp. 6182–6190, 2017.
- [85] J. C. O'Connor, S. C. Dekker, A. Staal, O. A. Tuinenburg, K. T. Rebel and M. J. Santos, "Forests buffer against variations in precipitation," Global Change Biology, vol. 27, pp. 4686-4696, 2021.

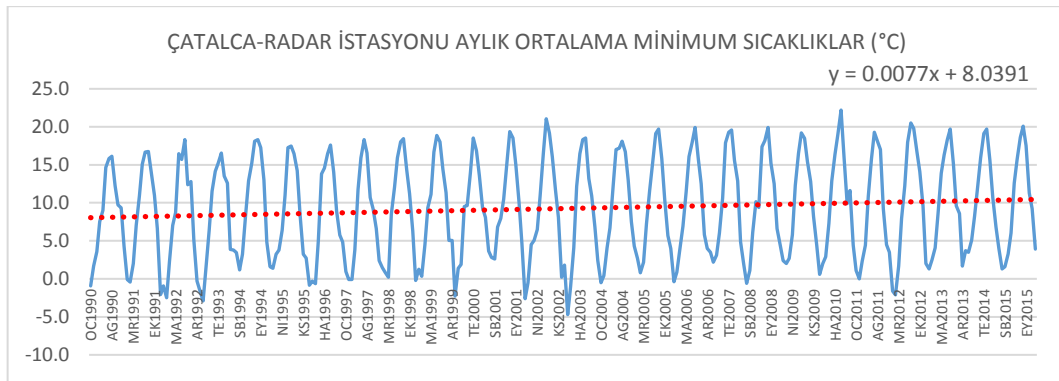
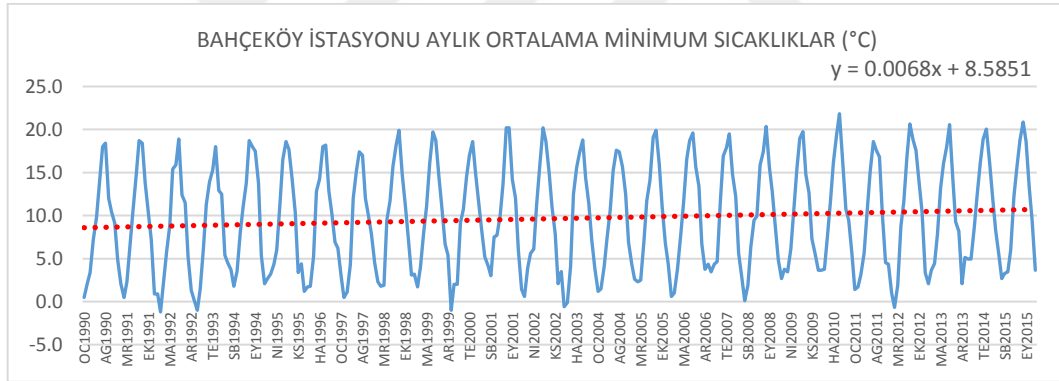
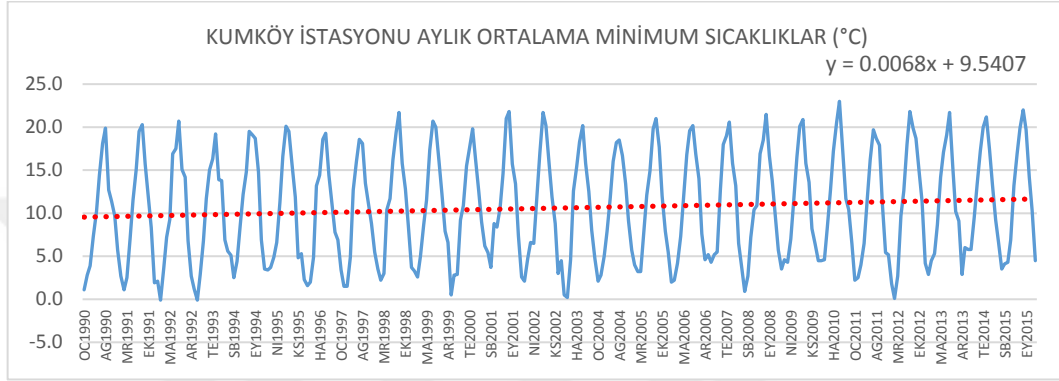
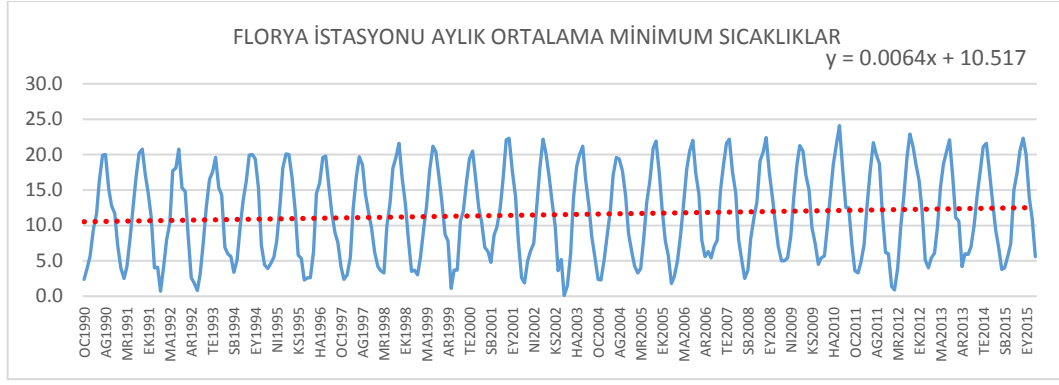
A

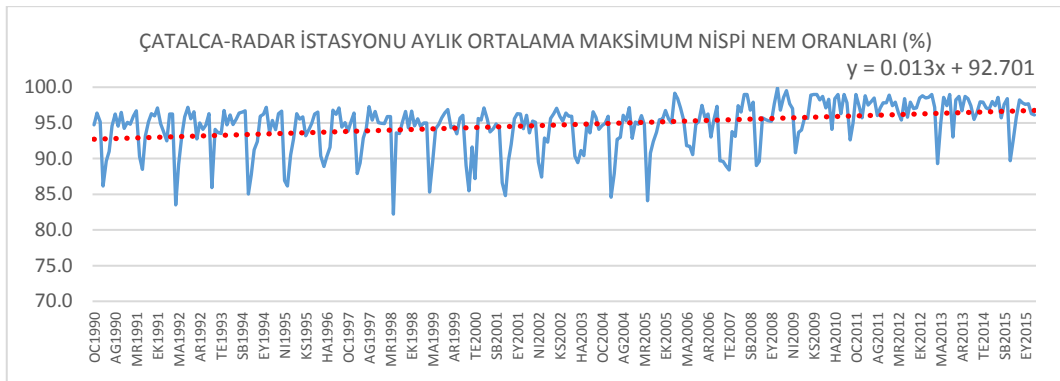
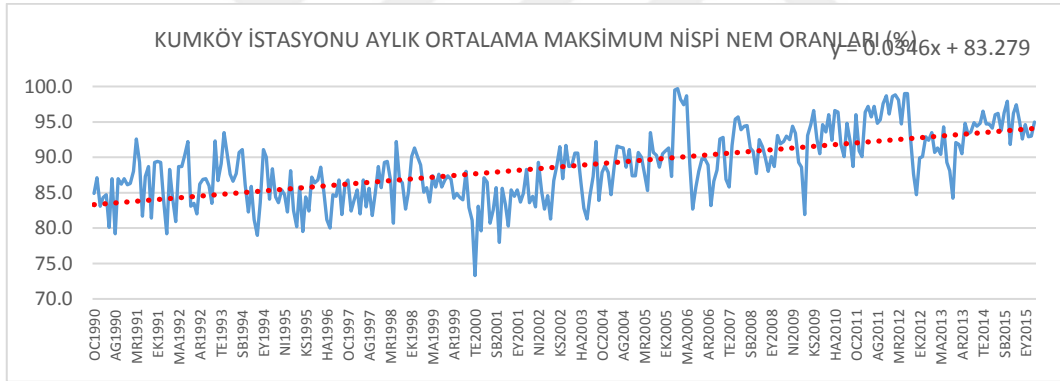
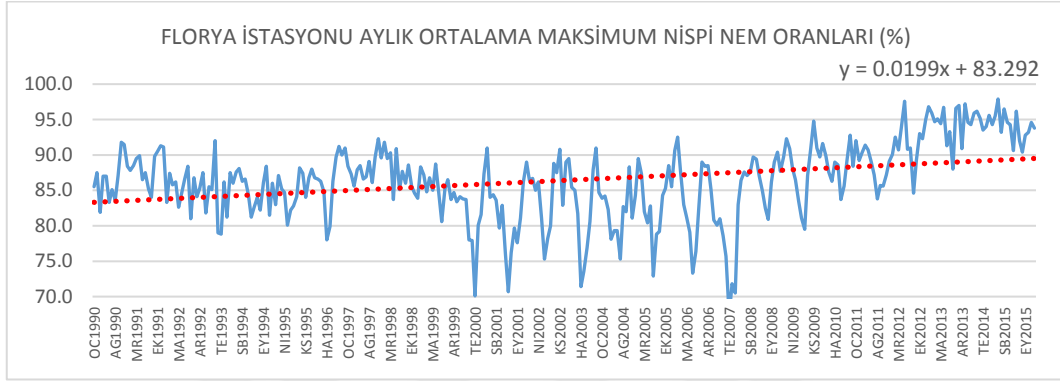
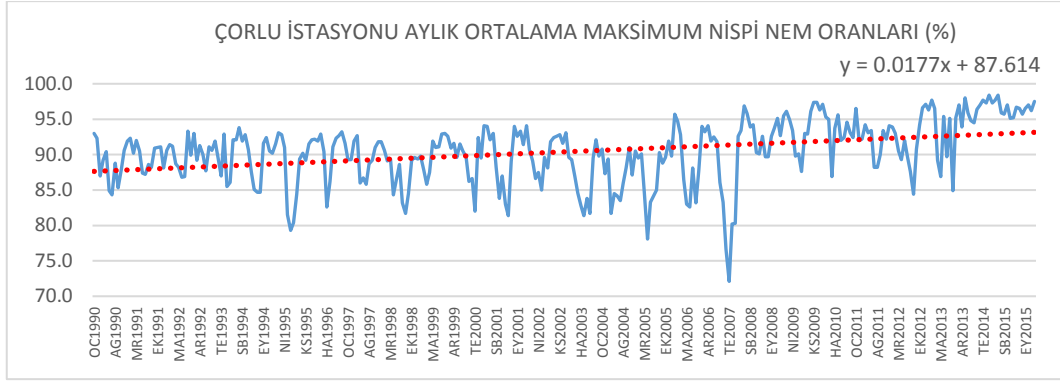
METEOROLOJİK ÖLÇÜM VERİLERİNİN ZAMAN SERİLERİ

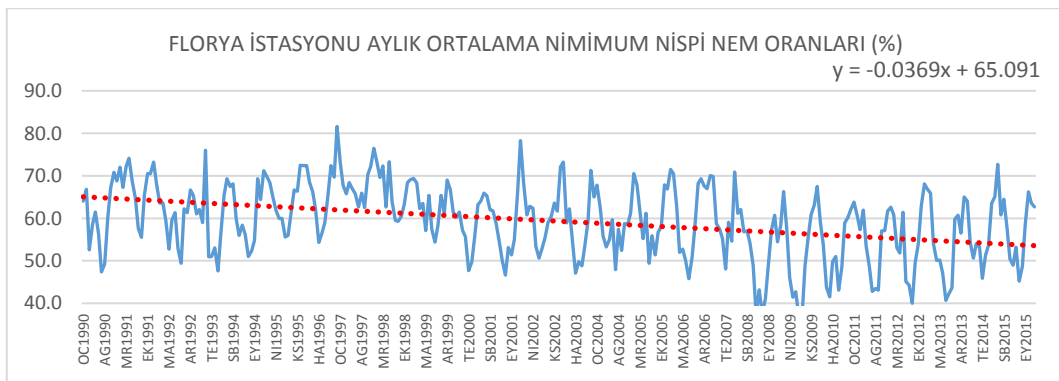
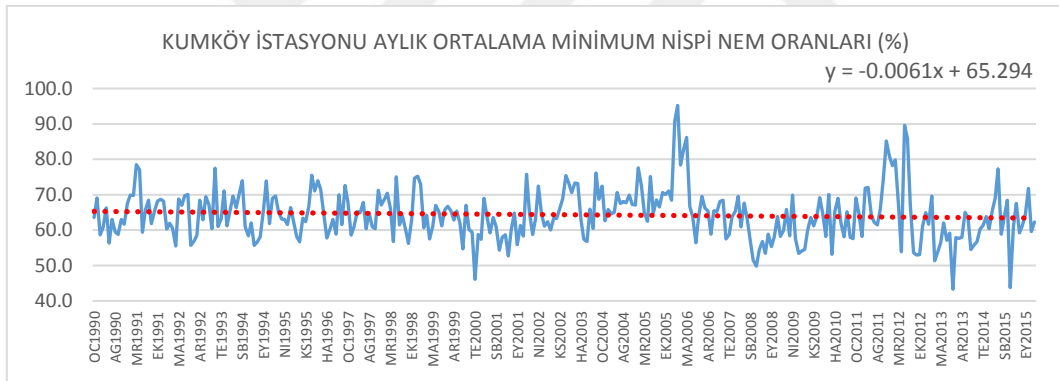
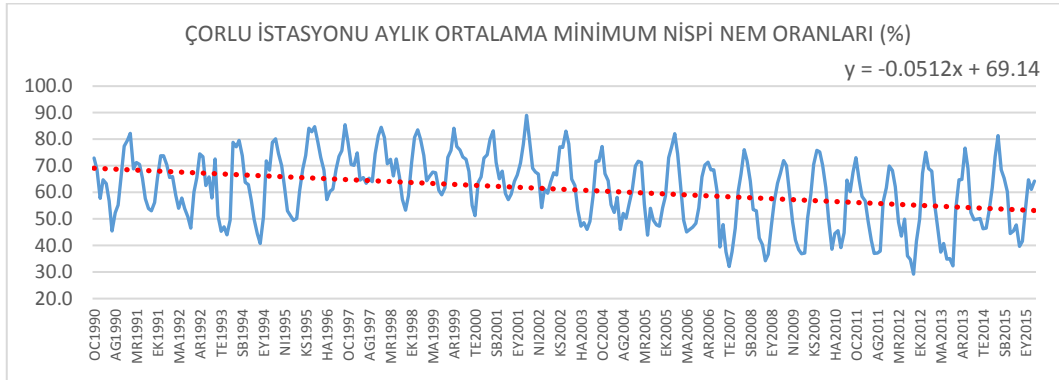
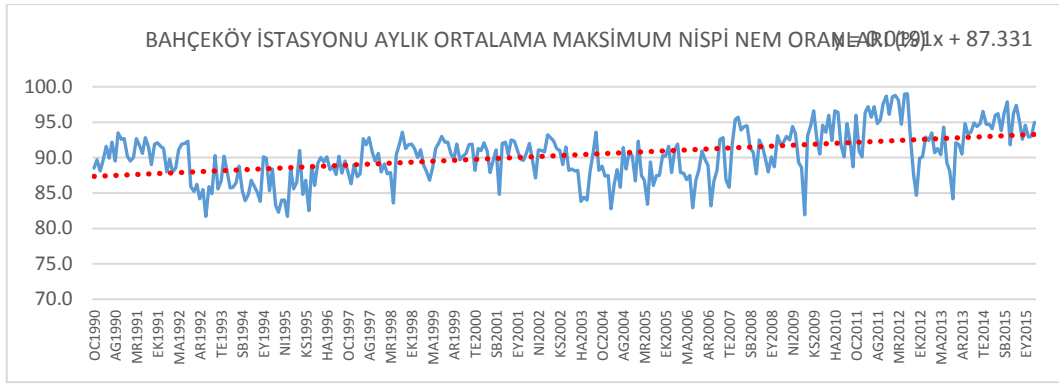


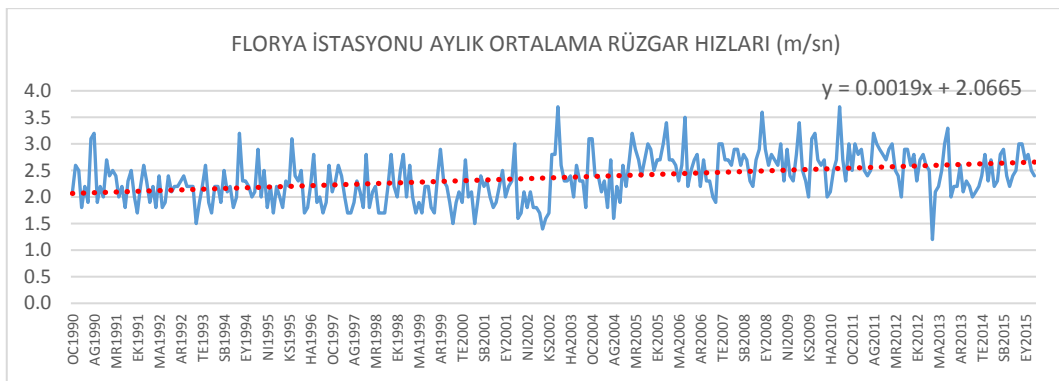
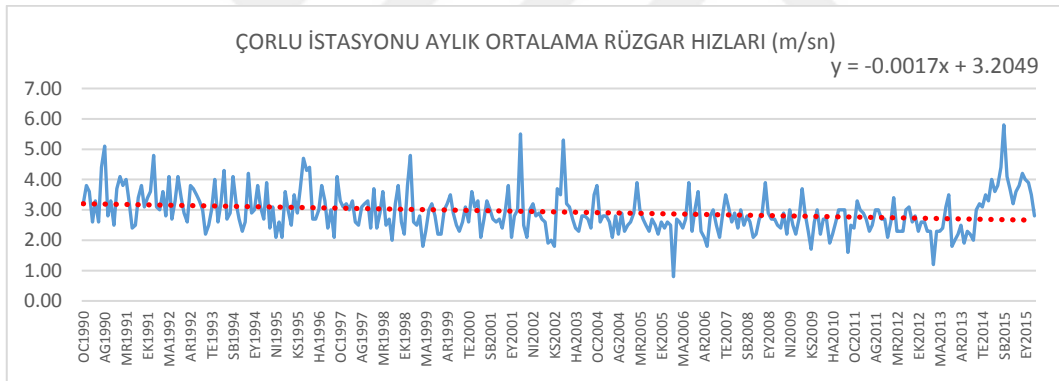
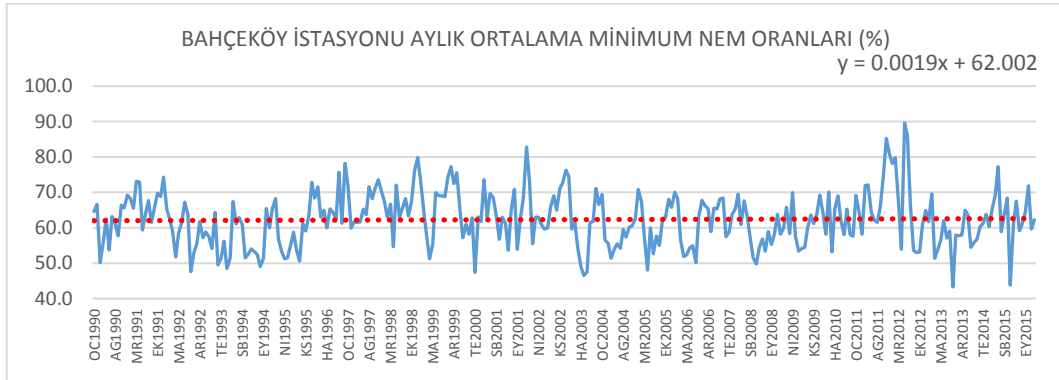
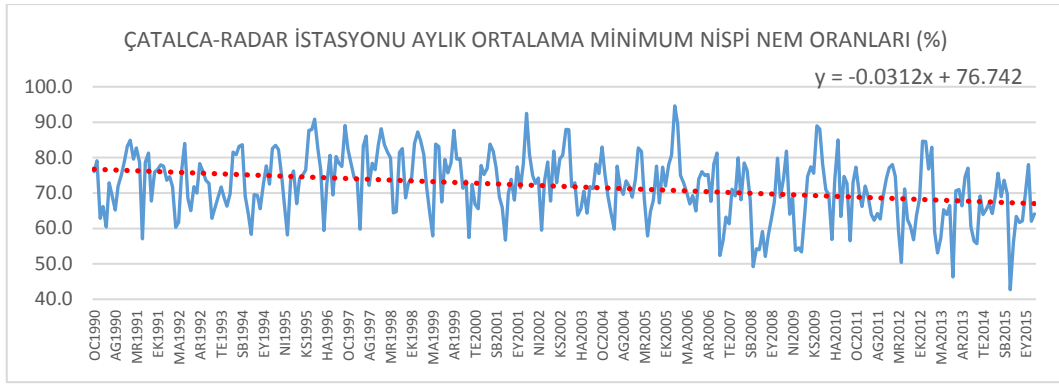


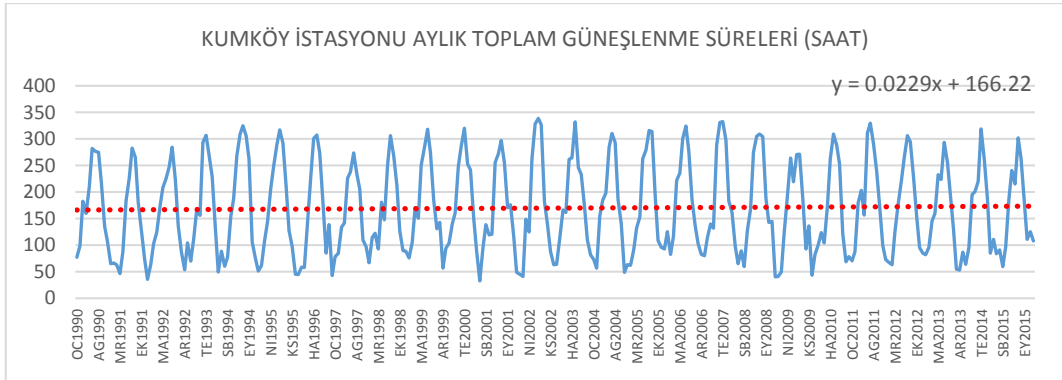
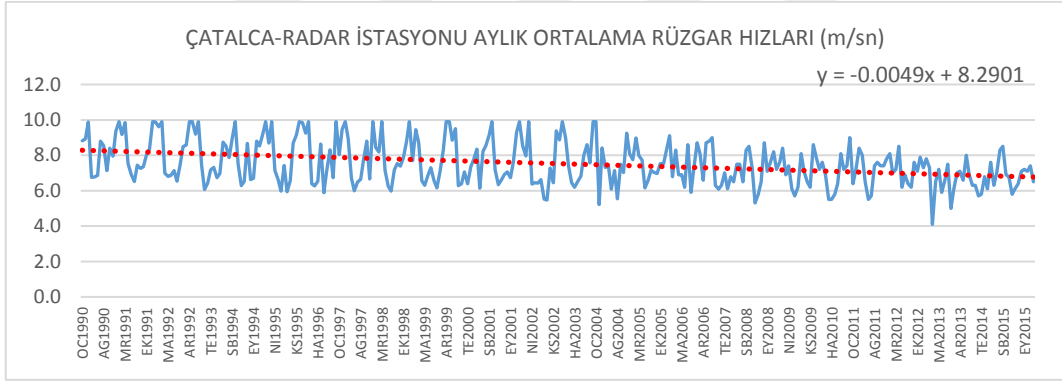
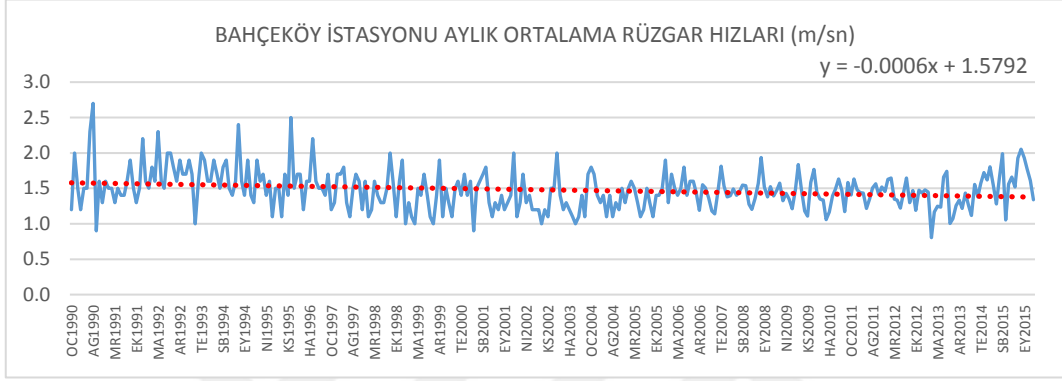
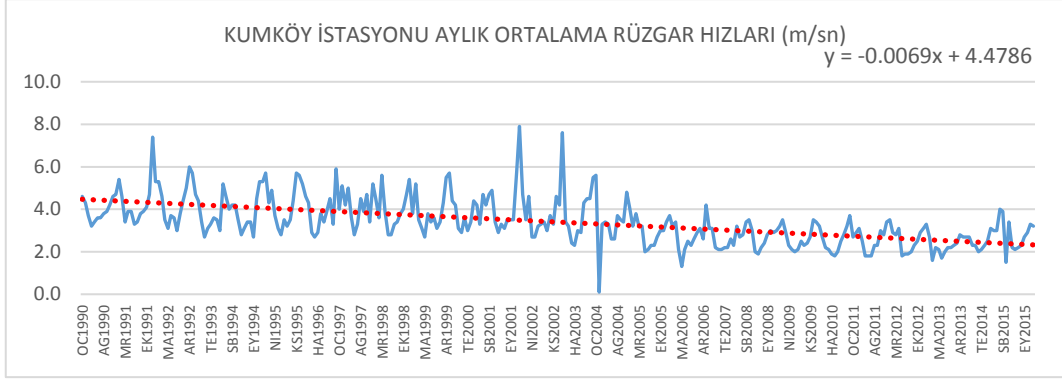


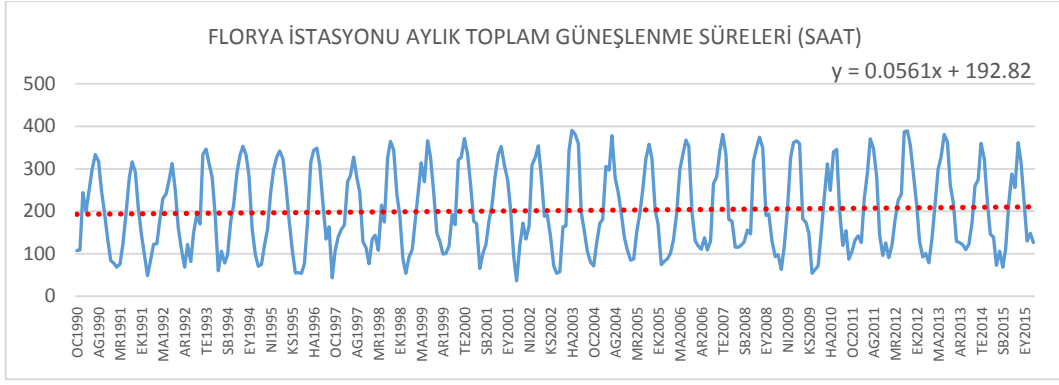






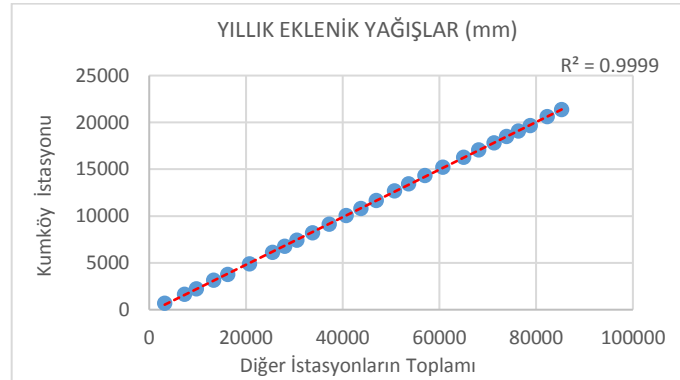
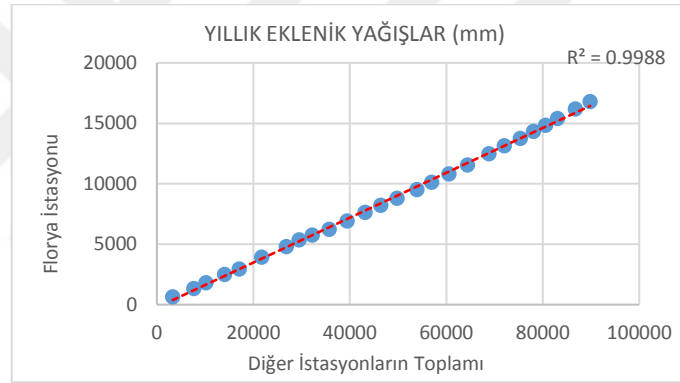
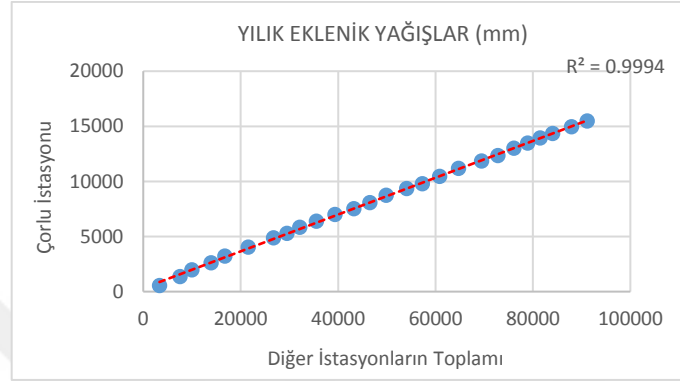


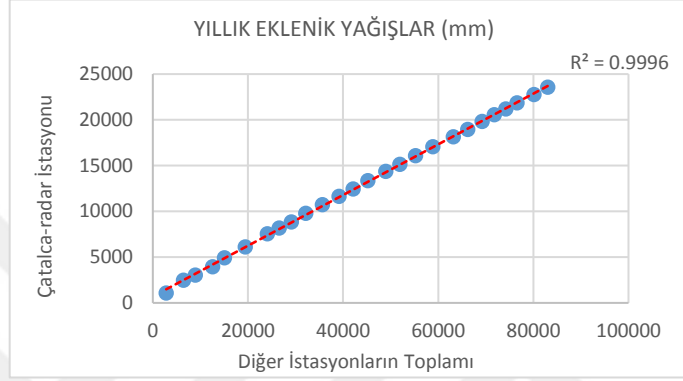
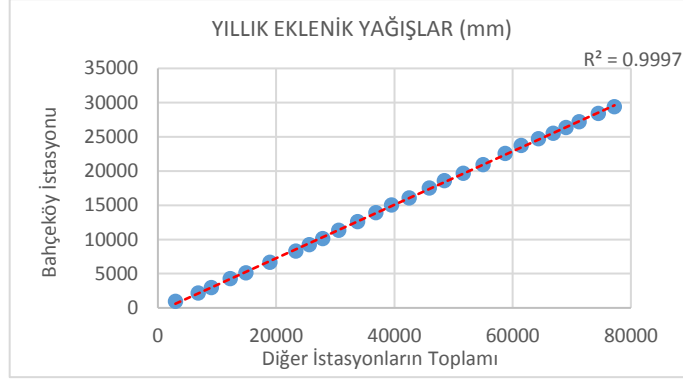


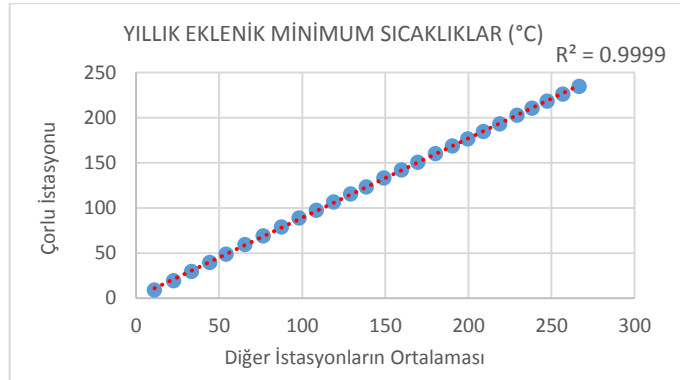
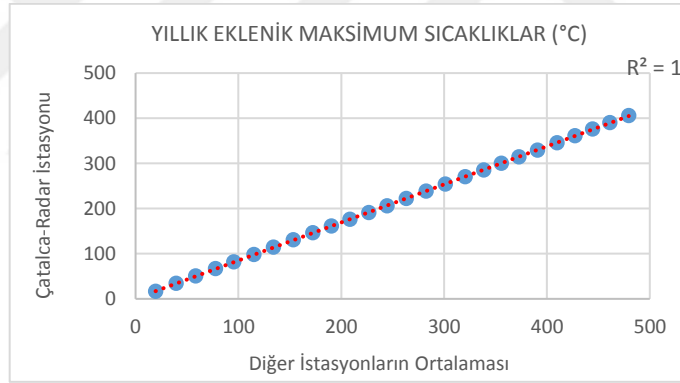


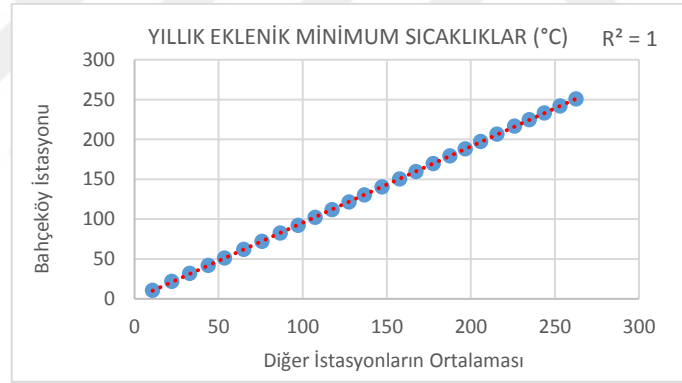
B

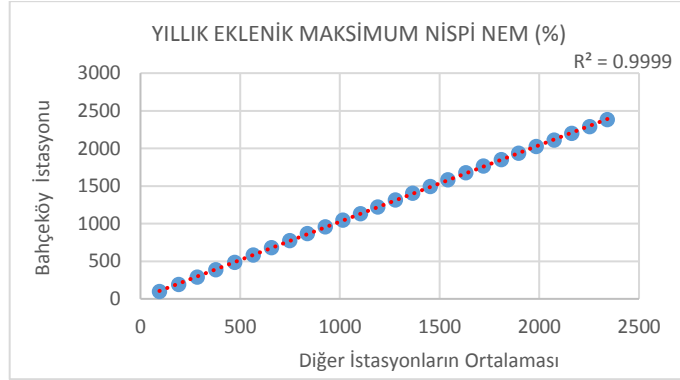
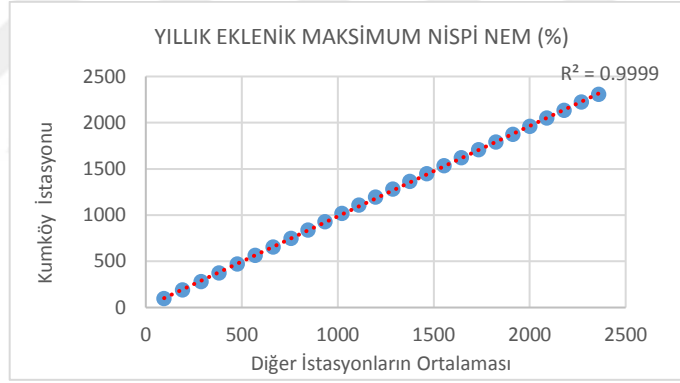
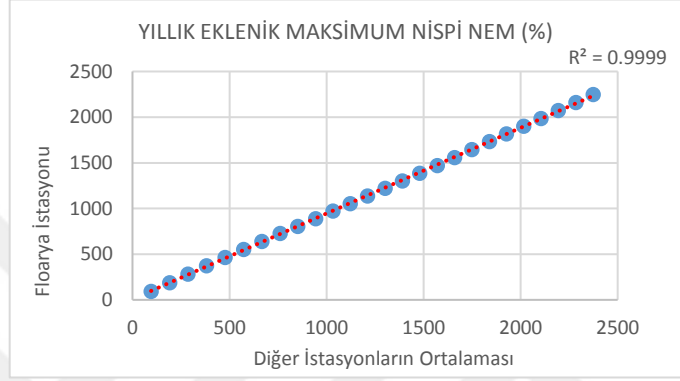
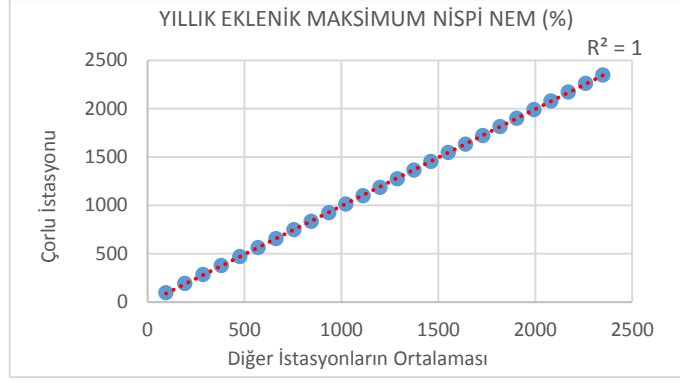
METEOROLOJİK ÖLÇÜM VERİLERİNİN HOMOJENLİK ANALİZLERİ

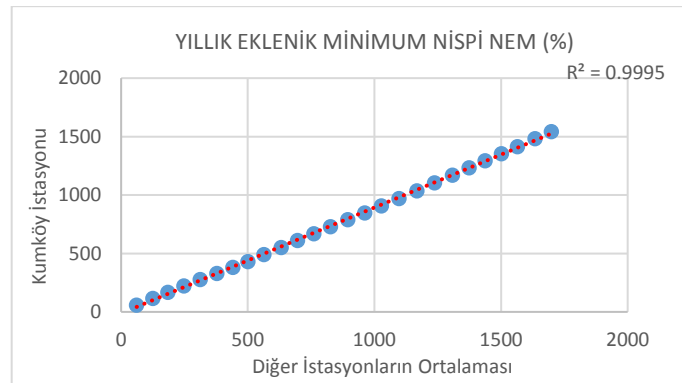
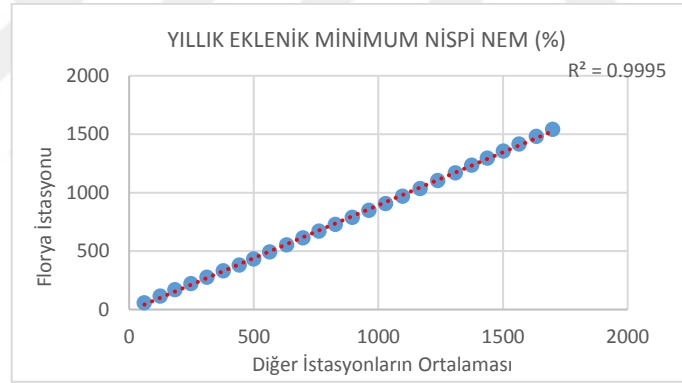
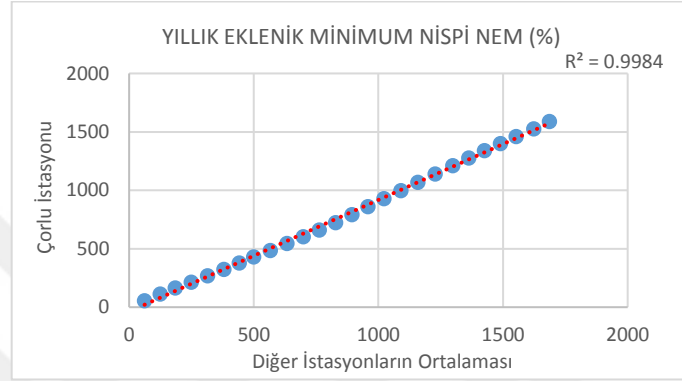
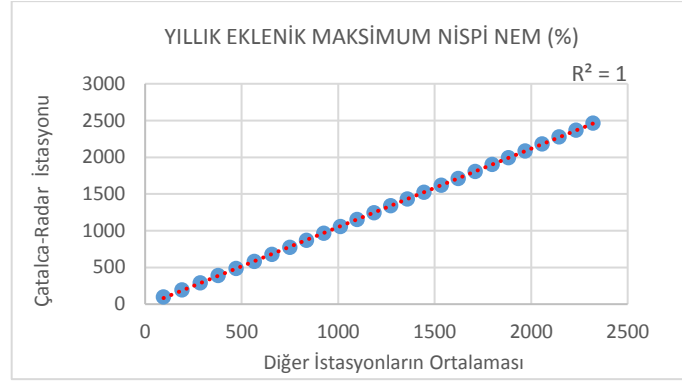


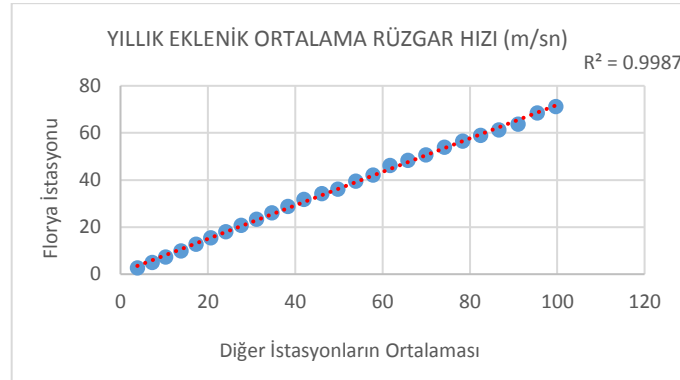
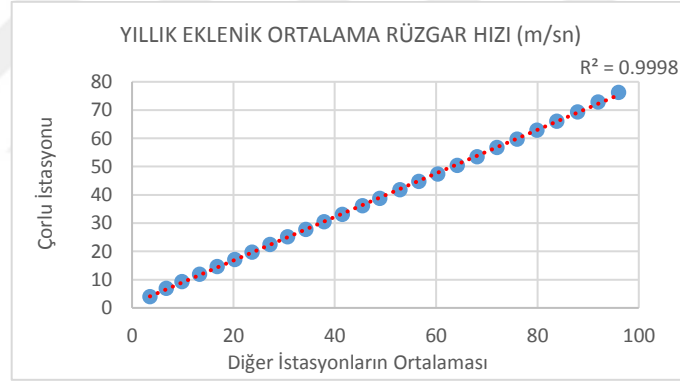
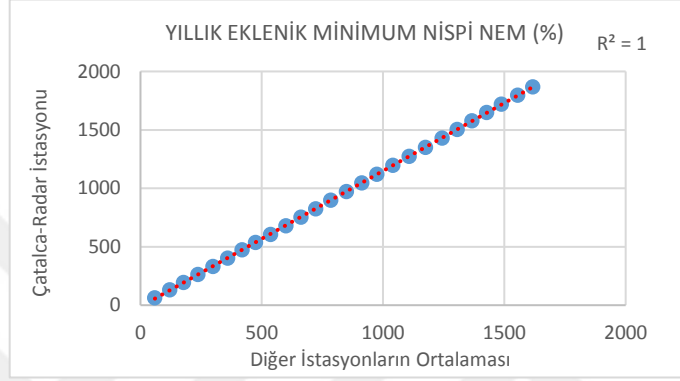
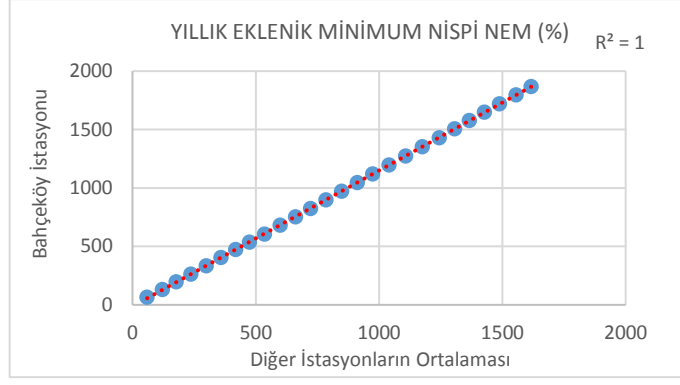


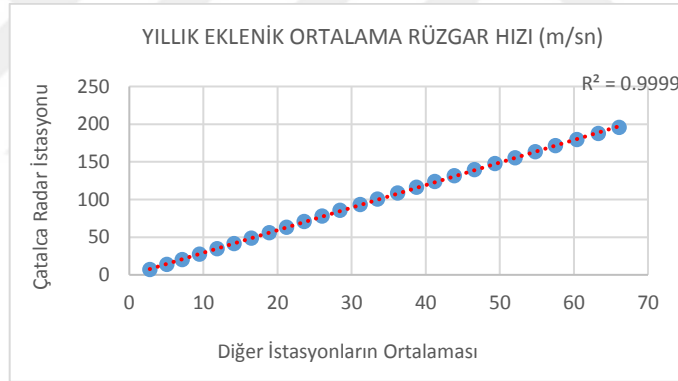
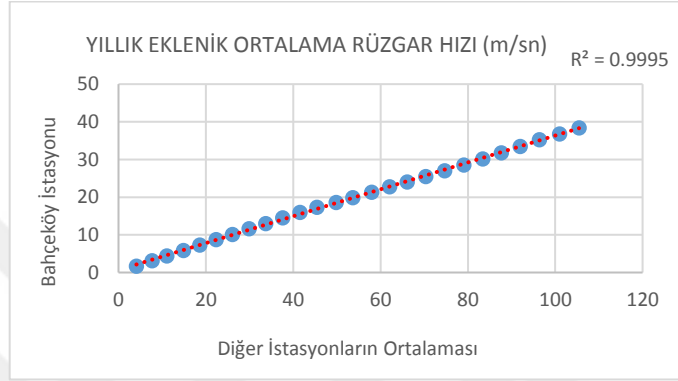
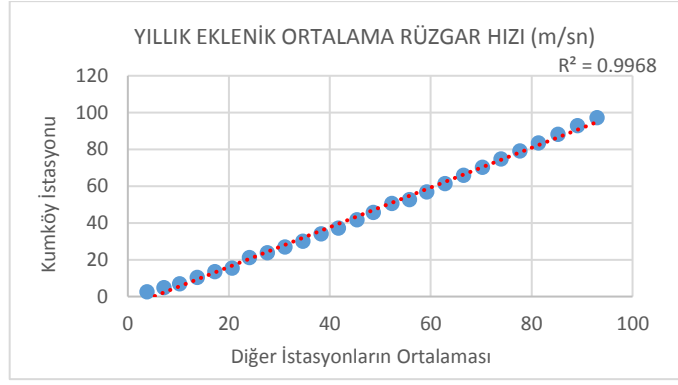












REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON KAYIPLARININ HESAPLANMASI

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s$$

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N}\right) R_a$$

$$N = \left(\frac{24}{\pi}\right) \omega_s$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\phi) \tan(\delta))$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi J}{365} - 1.39\right)$$

$$R_a = 24 \frac{60}{\pi} G_{sc} d_r (\omega_s \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos \phi \cos(\delta) \cos(\omega_s))$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right)$$

$$\Delta = \frac{4098(0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right))}{(T + 237.3)^2}$$

$$G_{ay,i} = 0.07(T_{ay,i+1} - T_{ay,i-1})$$

$$\gamma = 0.000665P$$

$$P = 101.3((293 - 0.0065z)/293)^{5.26}$$

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)}$$

$$e_s = \frac{e^0(T_{maks}) + e^0(T_{min})}{2}$$

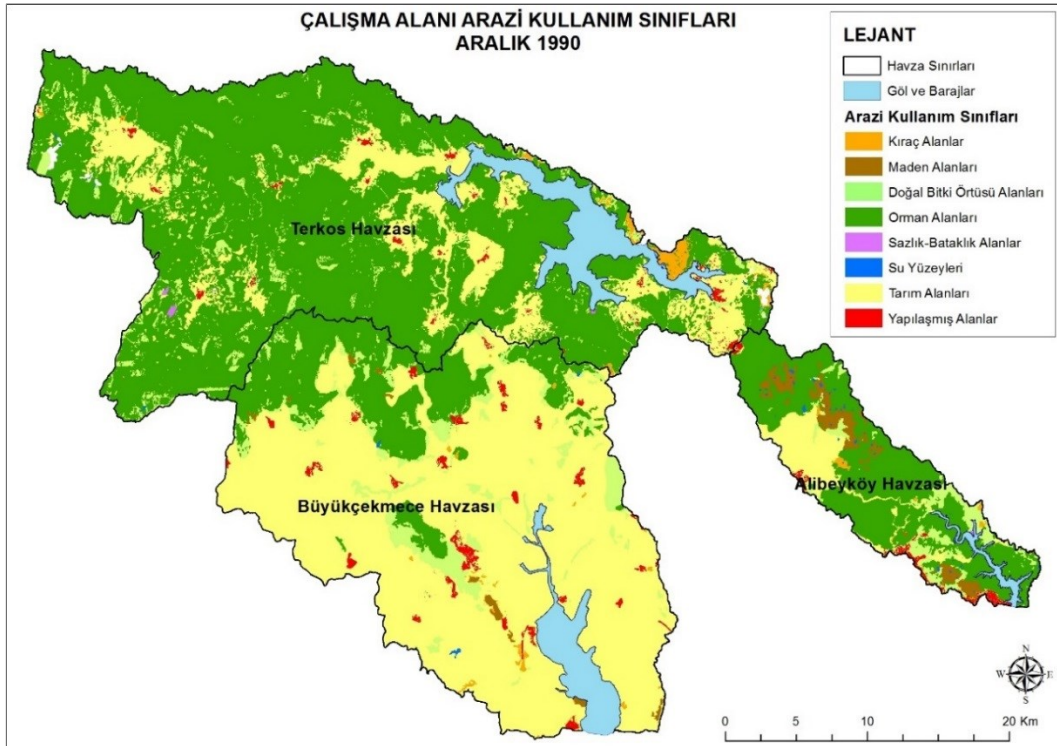
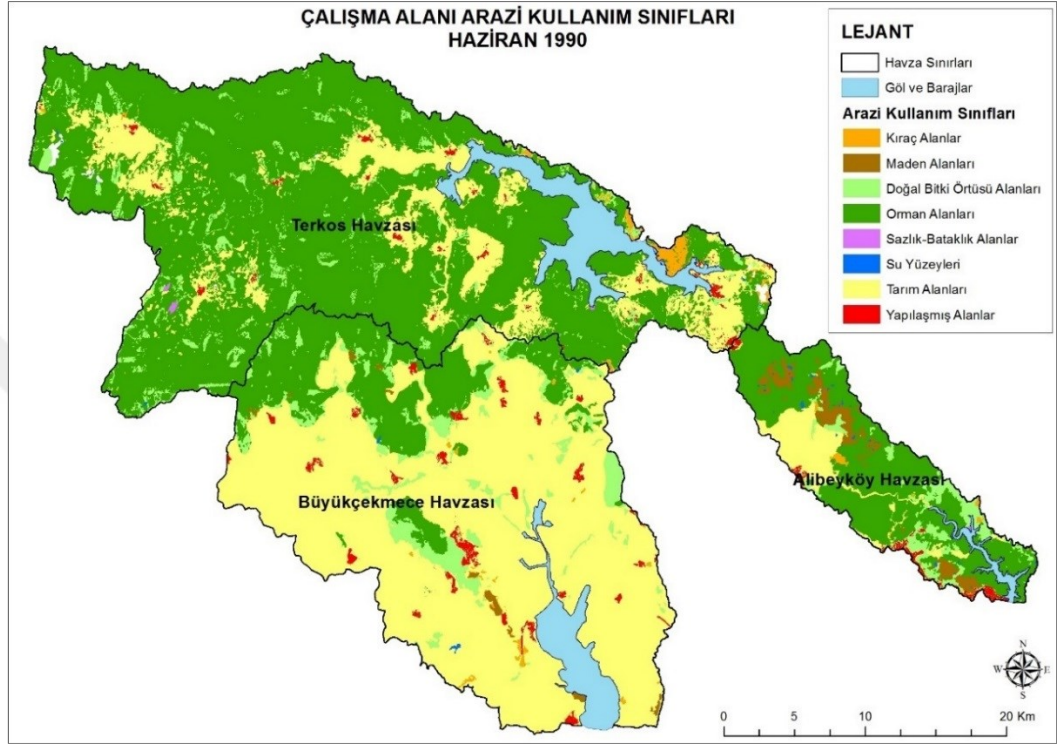
$$e^0(T) = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right)$$

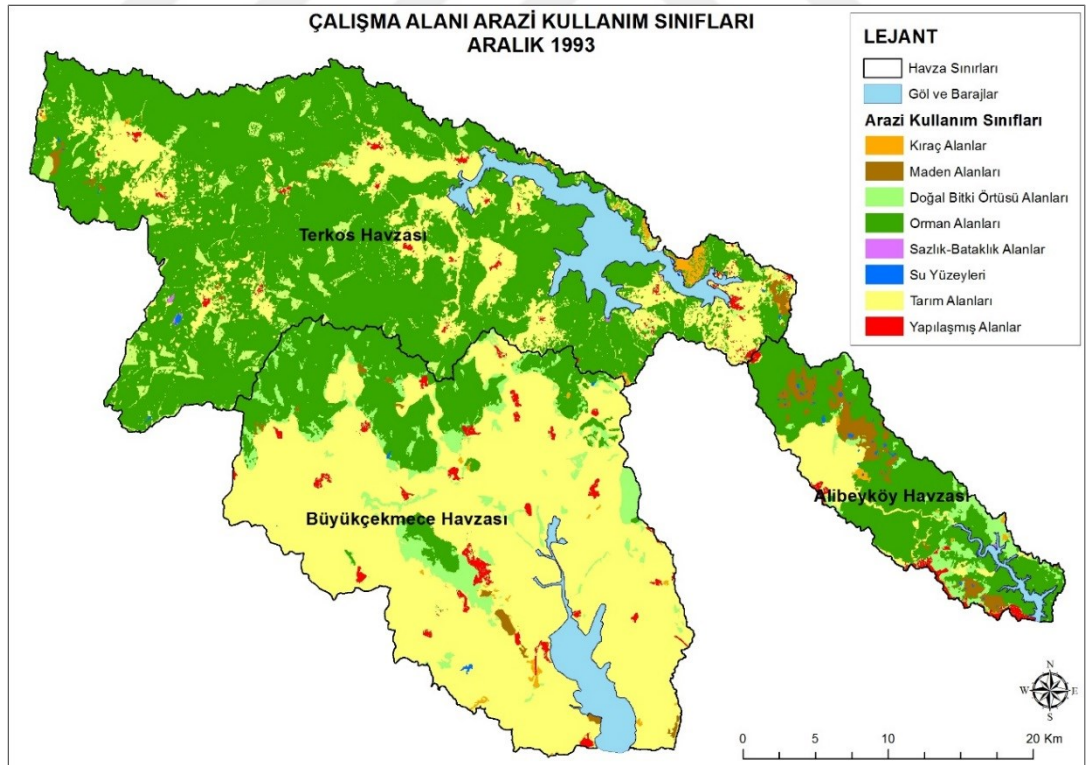
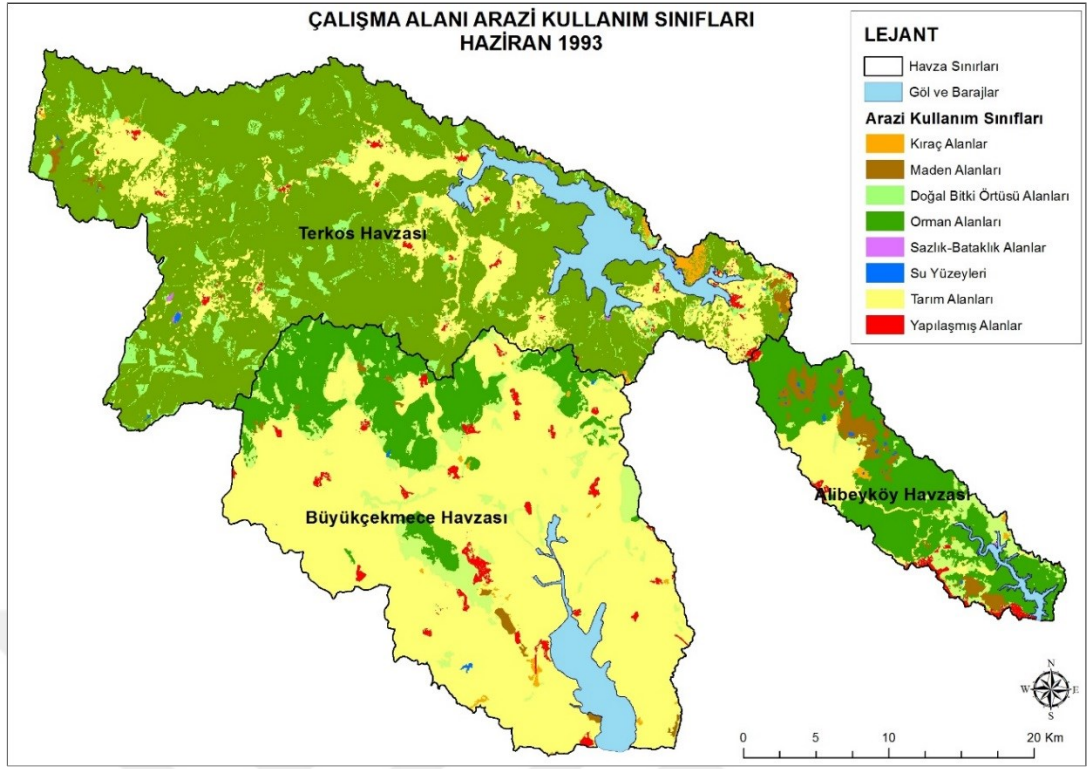
$$e_a = \frac{e^0(T_{min}) \frac{RH_{maks}}{100} + e^0(T_{maks}) \frac{RH_{min}}{100}}{2}$$

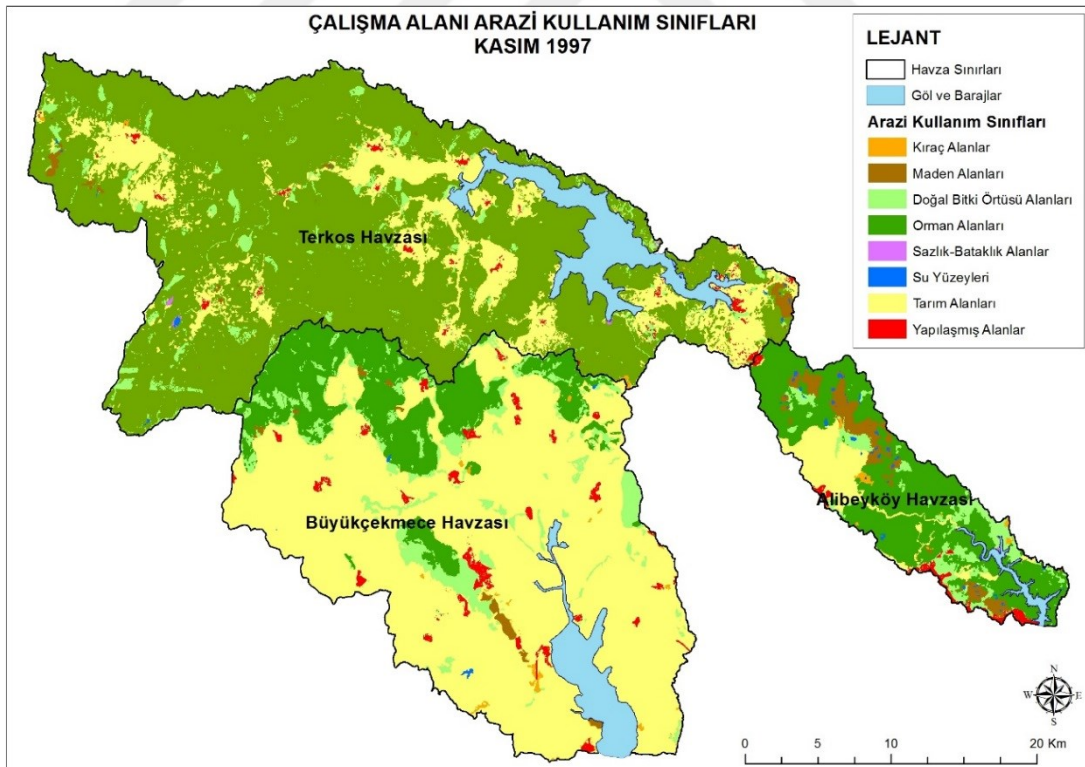
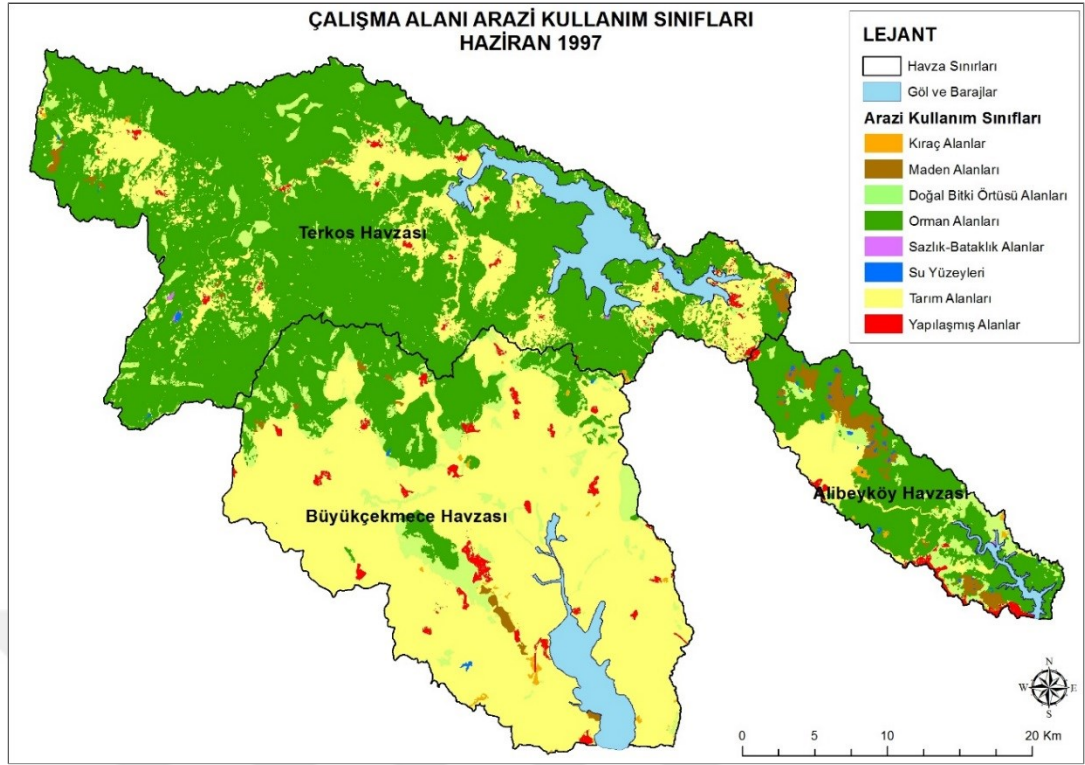
ET_o : Referans evapotranspirasyon [mm gün^{-1}]
 R_n : Net güneş radyasyonu [$\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$]
 G : Toprak ısı akısı [$\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$]
 T : Ortalama sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]
 u_2 : Yüzeyden 2 metre yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı [m s^{-1}]
 e_s : Ortalama doymun buhar basıncı [kPa]
 e_a : Gerçek buhar basıncı [kPa]
 Δ : Doymun buhar basıncı-sıcaklık eğrisinin eğimi [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$]
 γ : psikrometrik sabit [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$]
 R_{ns} : Net kısa dalga güneş radyasyonu [$\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$]
 R_{nl} : Net uzun dalga güneş radyasyonu [$\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$]
 R_s : Kısa dalga güneş radyasyonu [$\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$]
 α : Albedo (Çim için 0,23 olarak alınmıştır.)
 ω_s : Gün batımı saat açısı [rad]
 ϕ : Enlem derecesi [rad]
 δ : Güneş kırımı [rad]
 $a_s + b_s$: Açık gökyüzü şartlarında dünyaya ulaşan dünya dışı radyasyon oranı ($a_s=0.25$, $b_s=0.5$ olarak alınmıştır.)
 n : Gerçek güneşlenme süresi [saat]
 N : Maksimum güneşlenme süresi [saat]
 R_a : Dünya dışı güneş radyasyonu [$\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$]
 J : 1 yıl içerisindeki günlerin sayısı
 G_{sc} : Güneş sabiti [$0.0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{dakika}^{-1}$]
 d_r : Dünya-Güneş arası ters nispi mesafe
 $G_{ay,i}$: Hesap yapılacak aya ait toprak ısı akısı [$\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$]
 $T_{ay, i+1}$: Bir sonraki aya ait ortalama sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]
 $T_{ay, i-1}$: Bir önceki aya ait ortalama sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]
 P : Atmosfer basıncı [kPa]
 z : Deniz seviyesine göre yükseklik [m]
 u_z : Ölçüm yapılan yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı [m s^{-1}]
 $e_{o(T_{maks})}$: Maksimum sıcaklığa göre doymun buhar basıncı [kPa]
 $e_{o(T_{min})}$: Minimum sıcaklığa göre doymun buhar basıncı [kPa]
 $e_{o(T)}$: T sıcaklıktaki doymun buhar basıncı [kPa]
 RH_{maks} : Maksimum nispi nem, RH_{min} : Minimum nispi nem

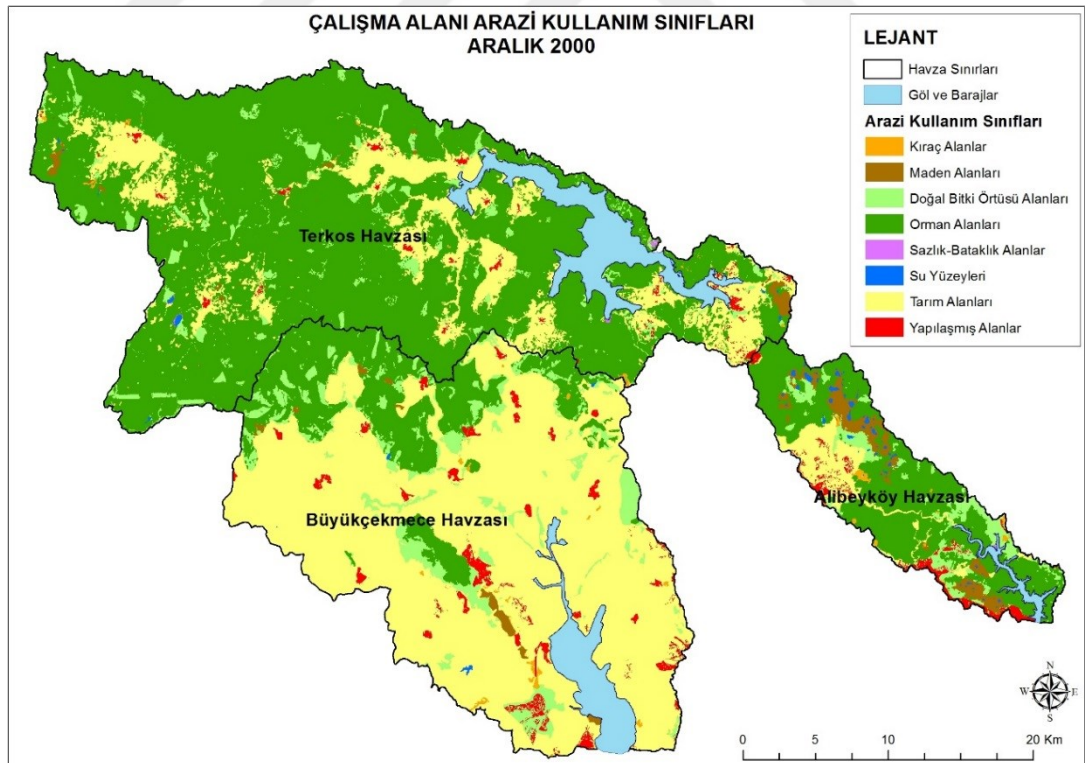
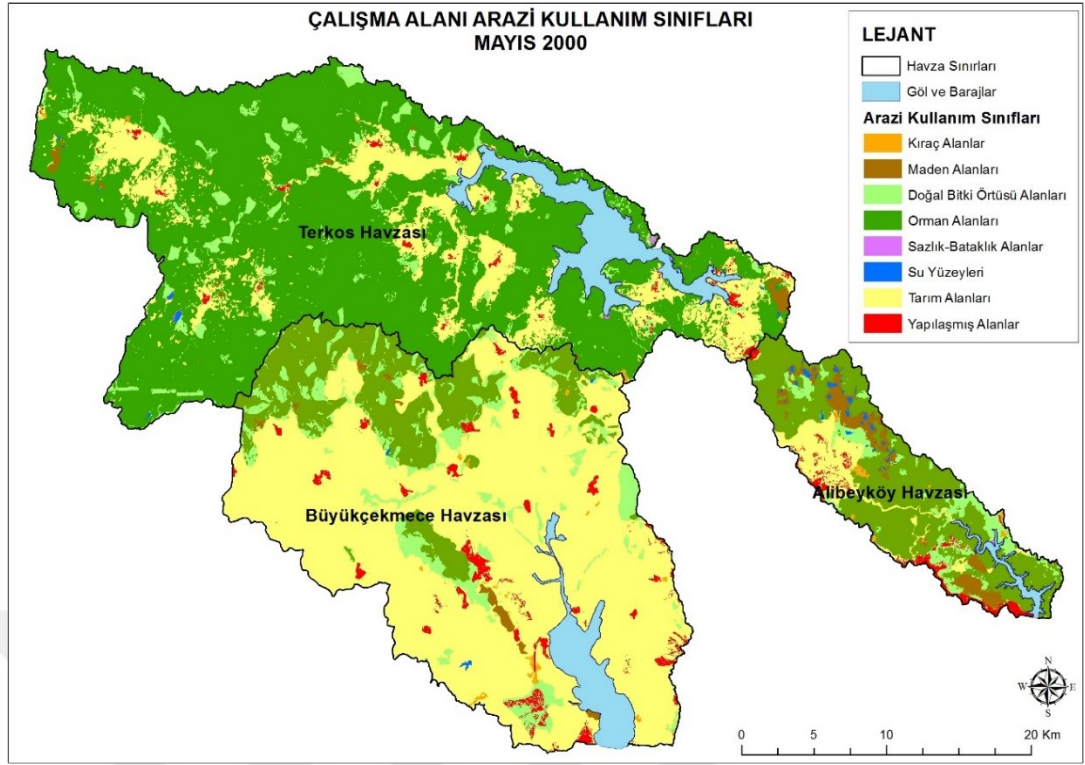
D

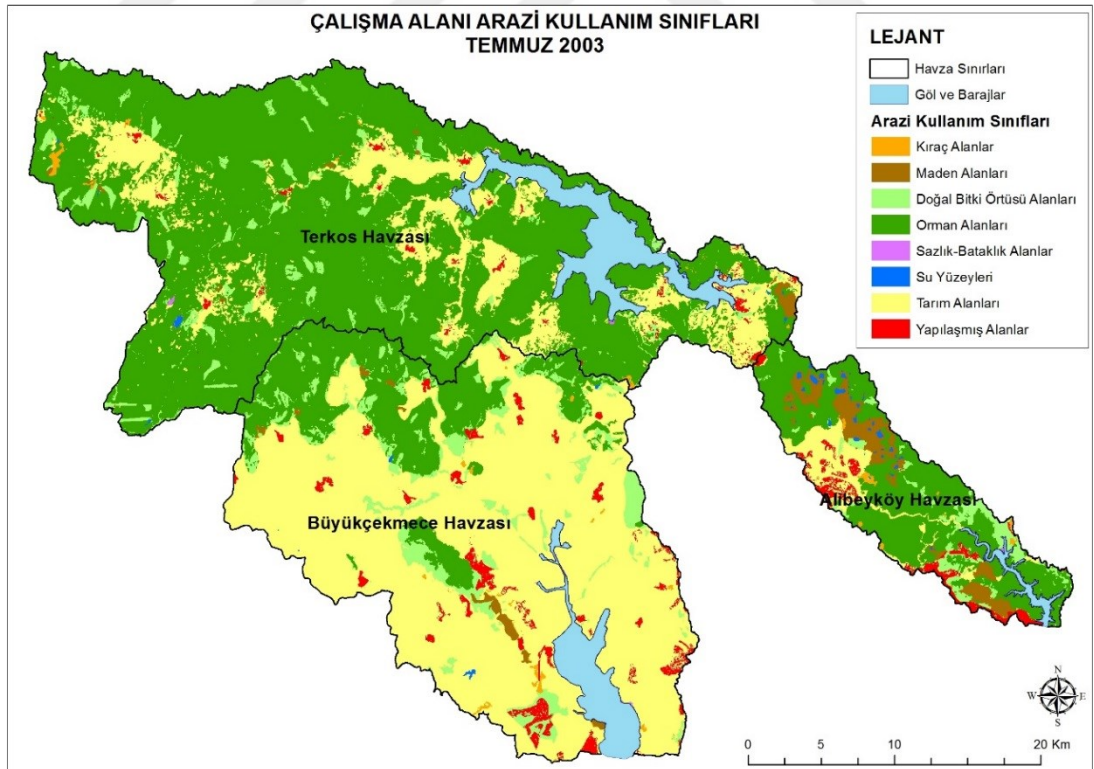
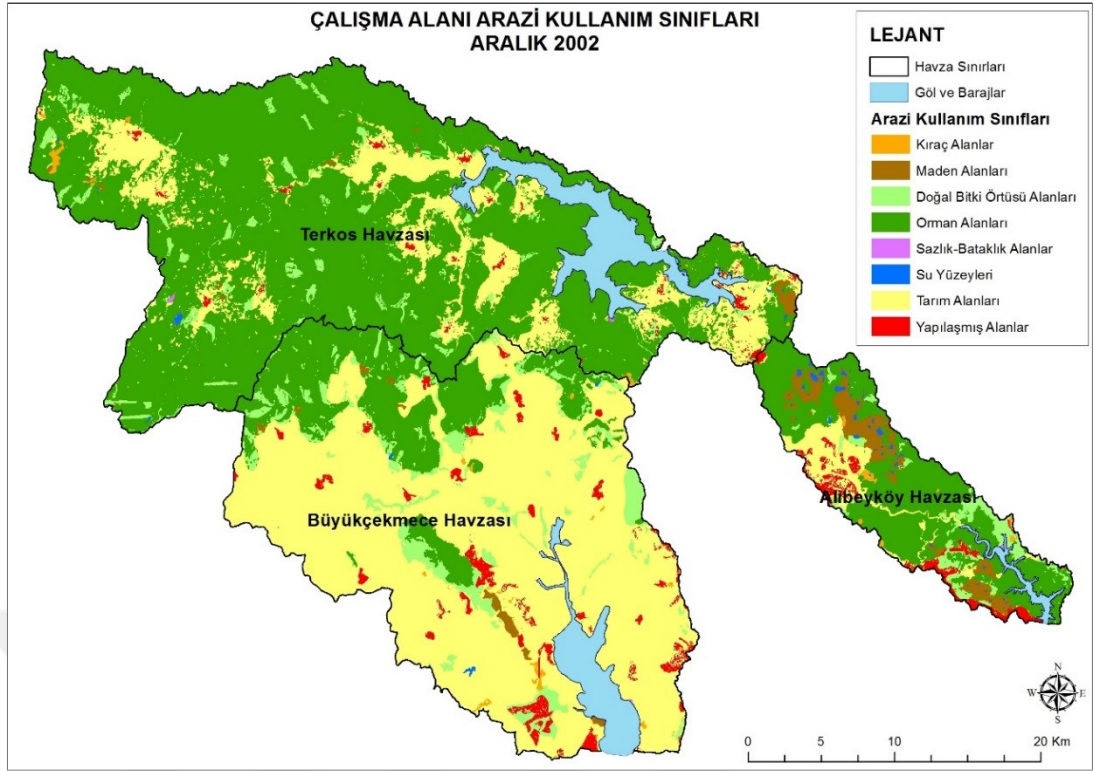
ARAZİ ÖRTÜSÜ HARİTALARI

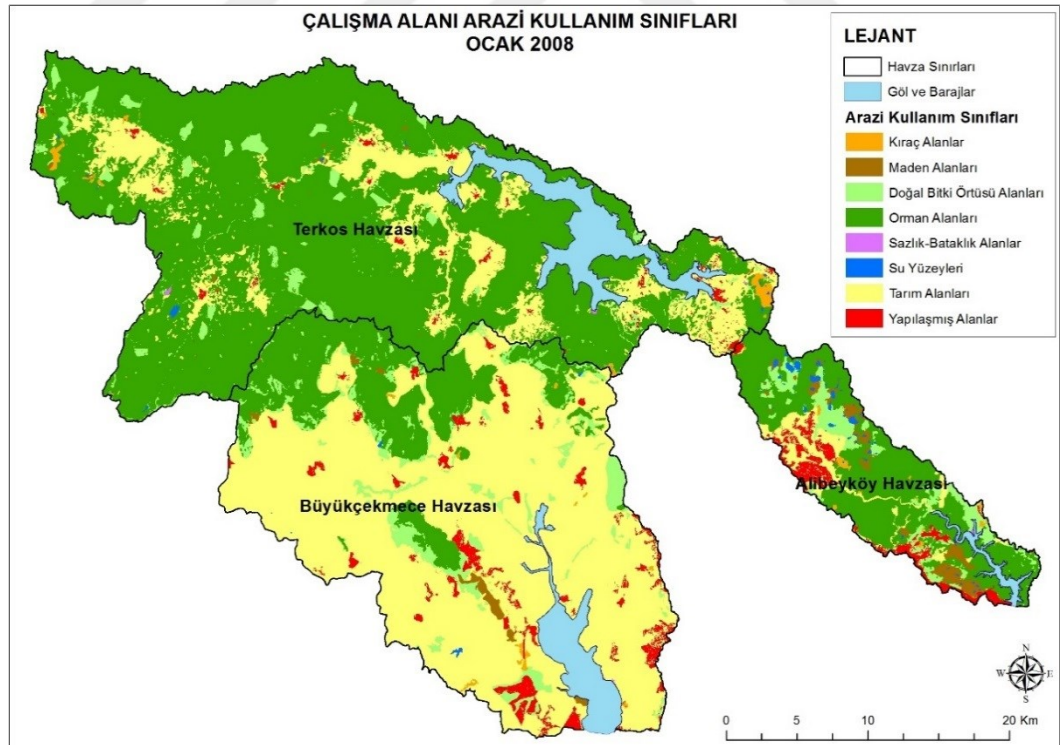
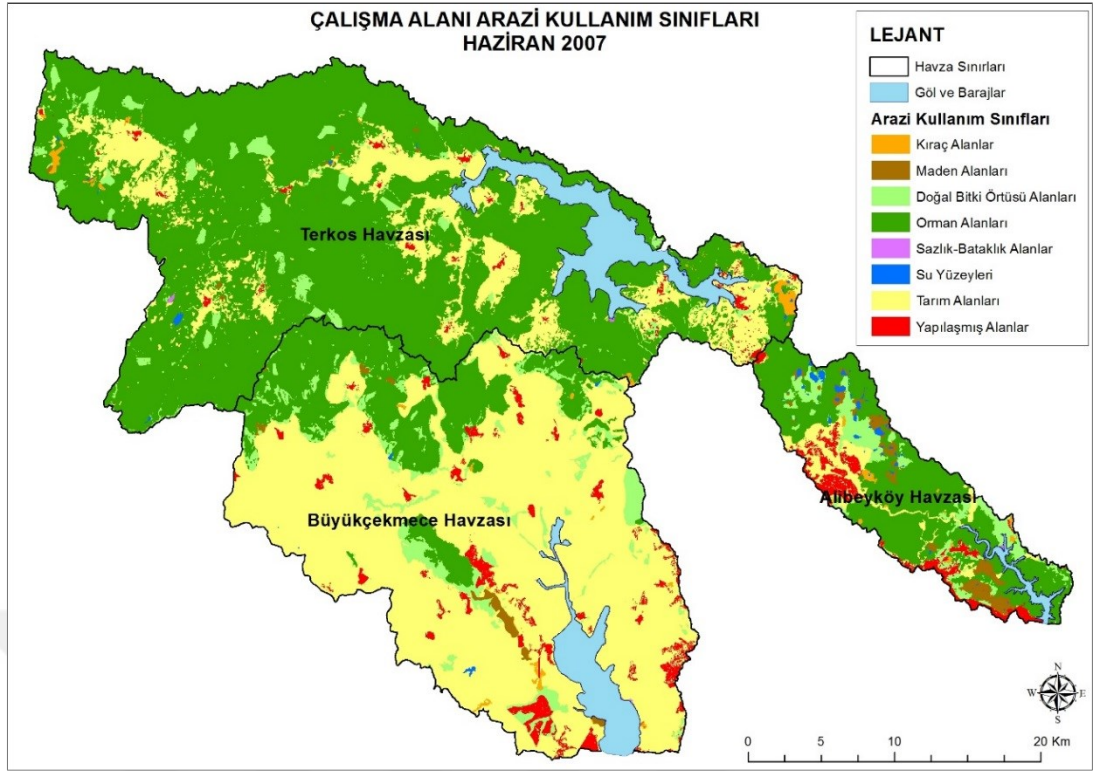


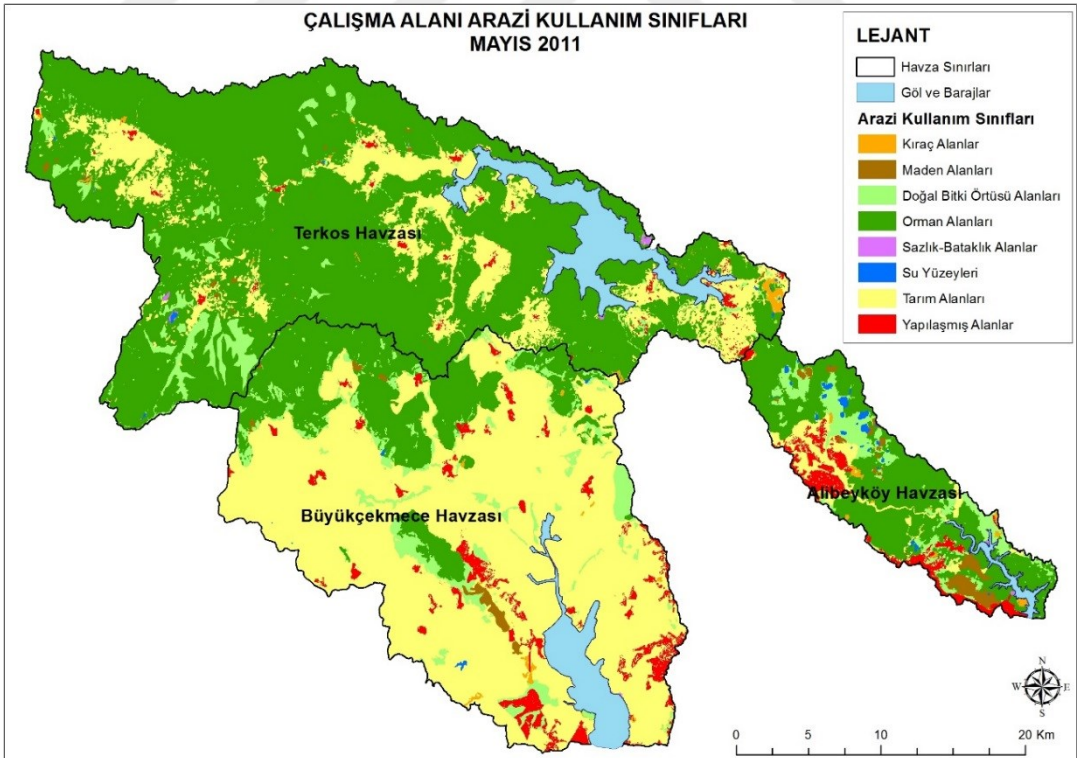
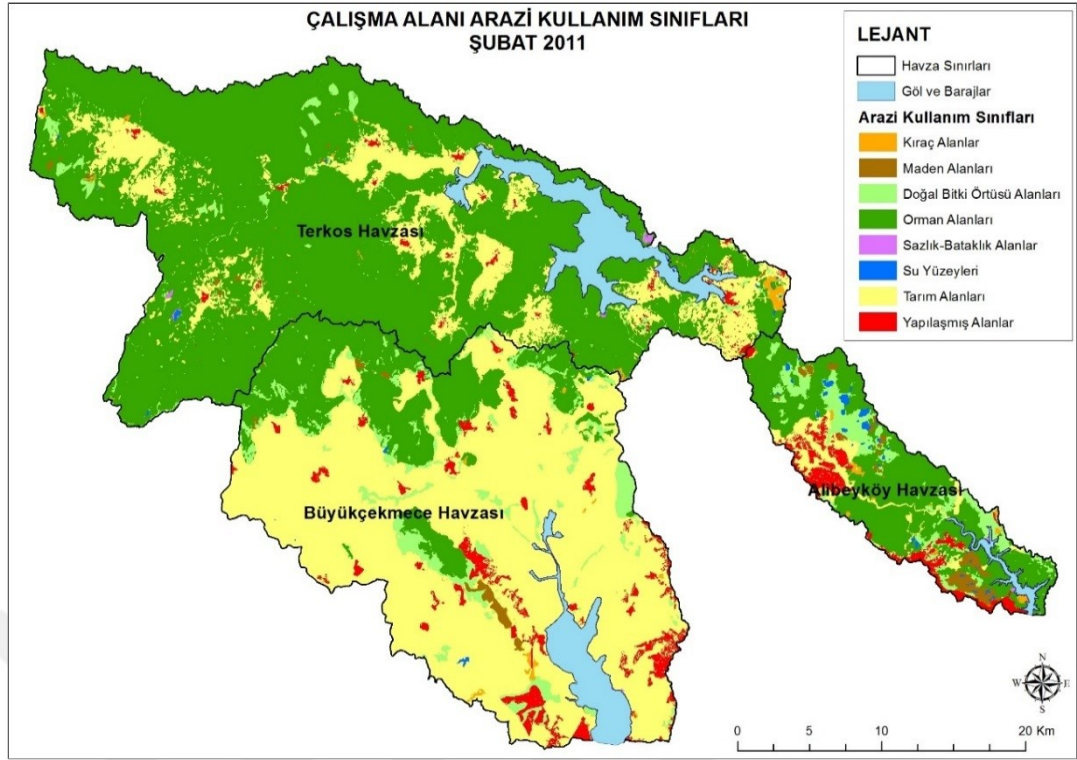


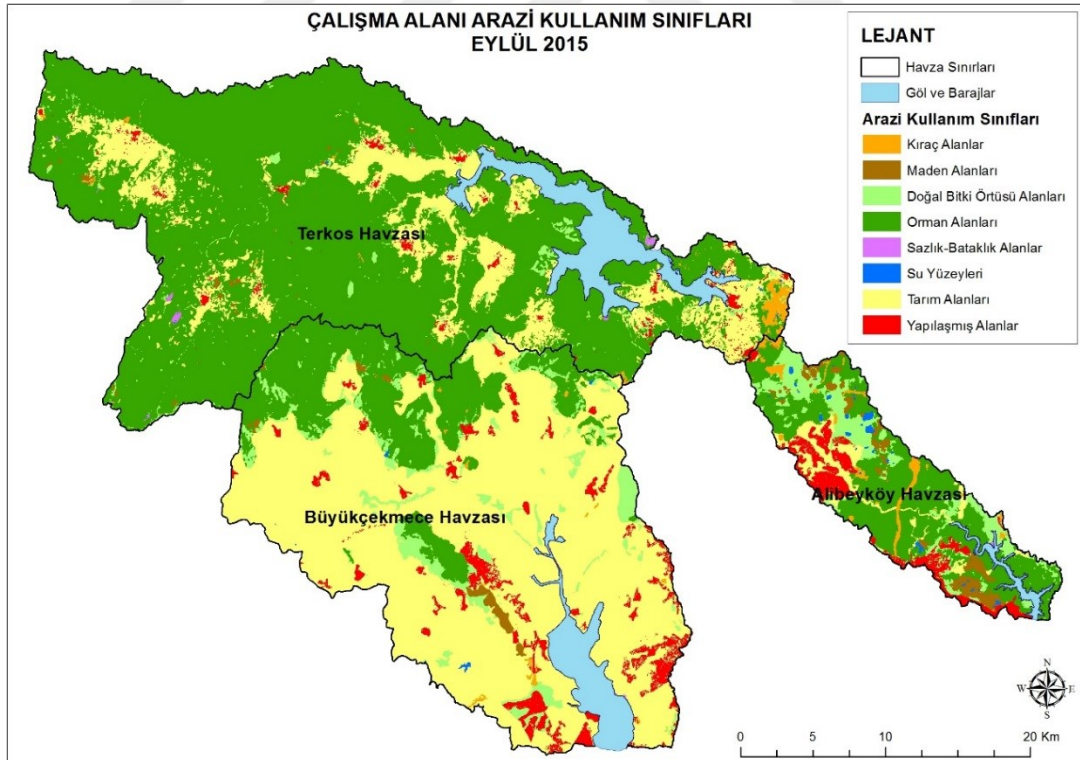
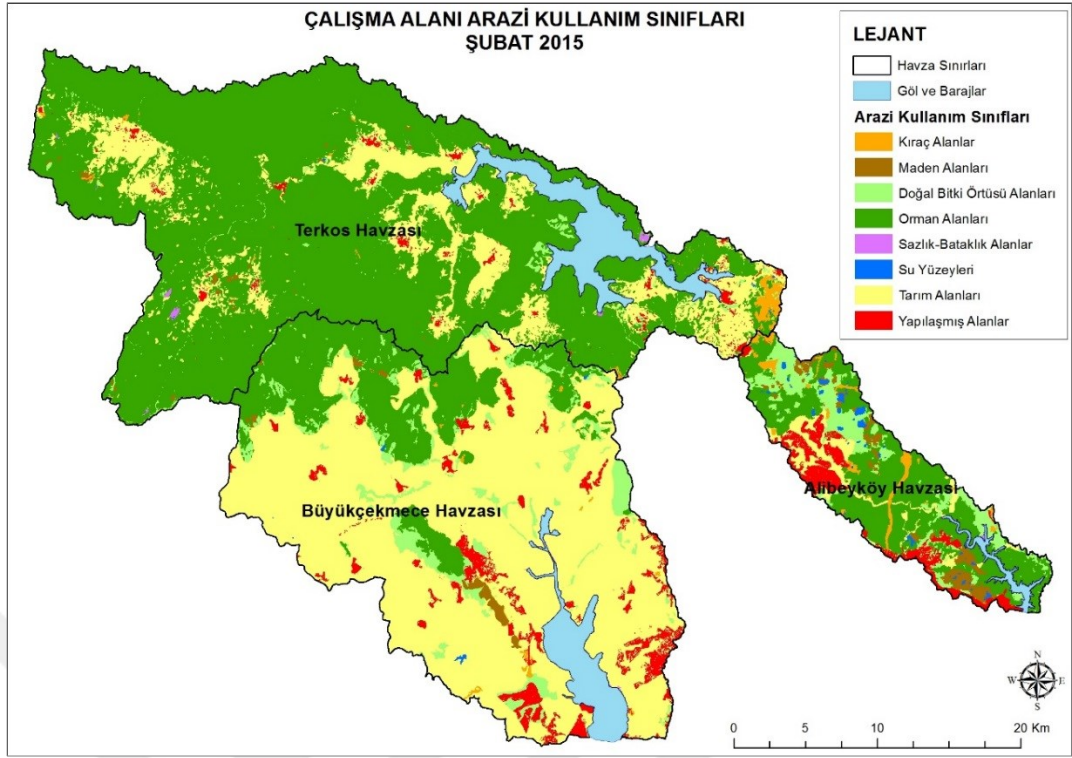












EĞRİ NUMARALARI VE BAŞLANGIÇ SU TUTULMASI MİKTARLARI

Tablo D.1 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları yüzey akış eğri numaraları

Alt Havza	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/Bataklık	Su	Tarım	Yapı
A1	91	91	84	76	100	100		90
A10A	91	88	82	71		100		90
A10B	86	89	79	63		100	72	85
A10C	91	91	86	75		100	80	90
A11	91	91	84	76		100	80	91
A12	91	91	81	69		100		
A13	87	88	78	62		100		
A14	91		84	75			79	
A2	89	89	82	71	100	100	72	87
A3A		87	82	74	100	100	72	
A3B			78	73	100	100	79	85
A3C			76	70	100	100	73	
A4	86	87	77	67	100	100	73	85
A5A	89		80	71		100	75	86
A5B	91	91	84	75		100	80	90
A6							79	90
A7	89	87	79	72		100	77	85
A8A	91	91	82	75		100	79	
A8B	91	91	83	75		100		
A9	91	91	83	76		100	79	90

Tablo D.2 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları yüzey akış eğri numaraları

Althavza	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/Bataklık	Su	Tarım	Yapı
B10			78		100	100	76	76
B11			84				82	
B12	90		78	75			74	79
B13			79	73			77	77
B14	89	91	81	75	100		81	80
B15			78	63			74	85
B16			82				74	
B17							82	
B18			83	70			81	87
B19	86	86	77	67			74	76
B1A	92	91	87		100		81	85
B1B	93				100		82	87
B2	92		85				81	81
B20	91		84	75			79	84
B21	86	86	80	65		100	76	85
B22A	91		81	73			75	78
B22B			83				80	83
B23A	87	87	76	63		100	73	76
B23B	89	90	78	69		100	77	79
B24	91		82	74		100	79	84
B25A	93		81	74			80	86
B25B	91		81	74			78	79
B26	91		81	75			78	83
B27	89	88	82		100		73	76

B28	93		82				78	81
B3A	92	93	84	74		100	80	78
B3B	93	93	87				82	87
B4A	93		84	77	100		81	87
B4B			86	75	100		82	87
B5	93				100		82	87
B6	86		83				80	85
B7			86		100		82	87
B8			83		100		81	86
B9	93		84	75			79	85

Tablo D.3 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları yüzey akış eğri numaraları

Alt Havza	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/Bataklık	Su	Tarım	Yapı
T1	91	97	82	74	100		79	82
T10	91	92	83	75			79	82
T11			77	61			72	
T12	91		84	75	100	100	79	82
T13	86	97	82	61	100		73	77
T14			87	76			79	
T15	86	86	76	61			72	73
T16			82	74	100		79	
T17			83	74	100		79	82
T18	86	86	76	62	100	100	74	78
T19A			84	74	100		80	82
T19B	91	97	83	74	100		79	82
T2			76	61			72	

T20	86	86	74	60	100	100	73	74
T21	86	86	75	61			72	73
T22			85	74			78	
T23	86	97	74	62	100		72	73
T24	92		80	71				
T25		86	77	62			72	73
T26	86	86	76	63			72	73
T27A			87	81				
T27B			82	76			78	86
T28	86	86	77	67	100	100	72	
T29			83	73	100		76	78
T3	91	97	83	74	100		79	82
T30A	93		84	77				86
T30B	86	86	81	72			78	
T31	91		84	76			81	85
T32			81	74			73	74
T33			84	74	100		79	82
T34A		91	81	69			77	73
T34B			87	75			81	
T35			86	76	100		81	
T36A			81	74	100		79	85
T36B			80	74	100		79	82
T37			80	70			76	74
T38	86	86	76	65	100	100	72	73
T39			87	76	100		80	
T40			86	75			82	
T41	91		82	74			78	75
T42			77	63			77	

T43A	91		84	75	100	100	82	
T43B	89	97	81	74	100			
T44			78	70			78	79
T45							79	
T45A			80	74			79	
T45B			81	69			78	80
T46	86	97	80	71			74	74
T47	91	91	84	74			79	84
T48A							72	73
T48B			83	74			73	73
T48C	86	97	81	73			73	
T49	91	91	83	73	100		80	83
T4A			83	74			76	76
T4B	91	93	83	80			80	85
T5	91	91	82	75		100	80	73
T50			82	74				
T51A		87	81	69	100	100	80	
T51B							80	73
T51C	91	91	81	72			79	74
T52	91	97	84	74				
T53			82	74			72	
T54		91	83	75			79	
T55	86	97	77	65			72	73
T56	90	97	84	72			73	74
T57			82	75				
T58			78	66			72	73
T59	86	86	79	62	100	100	72	73
T64A	86	86	76	61			72	73

T64B	86	86	73	62	100	100	72	
T65			86	78			76	
T67	91	97	80	72			77	73
T6A			87	76			81	
T6B			86	77			82	
T6C			75	65			81	
T7	86	86	77	62	100	100	73	73
T8	86	86	76	63	100	100	72	73
T9	86	86	75	62			72	73

Tablo D.4 Alibeyköy havzası arazi kullanım sınıfları başlangıç su tutulması miktarları (mm)

Alt Havza	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/ Bataklık	Su	Tarım	Yapı
A1	5.0	5.0	10.4	16.9	0.0	0.0		5.6
A10A	5.0	6.7	12.0	21.8		0.0		5.6
A10B	8.3	6.4	14.6	30.0		0.0	20.8	9.0
A10C	5.0	5.0	8.8	18.2		0.0	13.4	5.3
A11	5.0	4.8	10.2	17.0		0.0	13.2	4.9
A12	4.6	4.8	12.6	23.2		0.0		
A13	7.5	7.2	15.6	31.2		0.0		
A14	5.0		10.0	17.9			14.3	
A2	6.2	6.2	12.1	21.8	0.0	0.0	20.8	7.8
A3A		8.1	12.0	18.9	0.0	0.0	20.8	
A3B			15.2	19.3	0.0	0.0	14.3	9.0
A3C			16.9	22.7	0.0	0.0	19.5	
A4	8.3	7.9	15.8	26.0	0.0	0.0	19.9	9.0
A5A	6.0		13.5	21.7		0.0	17.6	8.7

A5B	5.0	5.0	10.2	18.0		0.0	13.8	5.4
A6							14.1	5.6
A7	6.4	8.1	14.3	21.0		0.0	15.6	9.0
A8A	5.0	5.0	11.5	18.2		0.0	14.3	
A8B	5.0	5.0	10.7	18.0		0.0		
A9	5.0	5.0	10.7	17.4		0.0	14.3	5.6

Tablo D.5 Büyükçekmece havzası arazi kullanım sınıfları başlangıç su tutulması miktarları (mm)

Althavza	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/Bataklık	Su	Tarım	Yapı
B10			14.9			0.0	16.8	16.8
B11			10.0				12.1	
B12	5.8		15.5	17.5			19.0	14.5
B13			13.9	20.1			16.1	16.5
B14	5.9	5.0	13.0	17.6	0.0		12.8	13.3
B15			14.9	30.5			18.3	9.7
B16			11.5				19.1	
B17							11.9	
B18			10.6	22.9			12.3	7.6
B19	8.3	8.3	15.7	25.6			18.9	16.8
B1A	3.6	4.6	7.7		0.0		12.3	8.9
B1B	3.3				0.0		12.0	7.6
B2	3.8		9.0				12.5	13.0
B20	5.0		10.2	17.7			14.2	10.4
B21	8.3	8.3	13.0	28.4		0.0	17.0	9.5
B22A	5.0		12.3	20.0			17.6	15.2
B22B			11.3				13.4	11.1

B23A	7.9	7.6	16.6	30.5		0.0	19.8	16.7
B23B	6.5	5.8	14.9	23.7		0.0	15.8	14.4
B24	5.0		11.9	18.7		0.0	14.3	10.4
B25A	3.3		12.3	18.6			13.2	8.7
B25B	5.0		12.4	18.8			15.4	14.2
B26	5.0		12.3	18.3			15.5	11.0
B27	6.5	6.8	11.4		0.0		19.4	16.8
B28	3.3		11.5				15.0	13.0
B3A	4.0	3.5	10.4	18.9		0.0	13.4	14.8
B3B	3.3	3.3	7.6				11.9	7.6
B4A	3.3		10.4	15.8	0.0		12.7	7.9
B4B			8.8	17.7	0.0		12.1	7.6
B5	3.3				0.0		11.9	7.6
B6	8.3		10.6				13.1	9.0
B7			8.5		0.0		12.0	7.6
B8			11.2		0.0		12.4	8.9
B9	3.5		10.1	17.7			14.0	9.6

Tablo D.6 Terkos havzası arazi kullanım sınıfları başlangıç su tutulması miktarları (mm)

Alt Havza	Kıraç	Maden	Doğal Bitki Örtüsü	Orman	Sazlık/Bataklık	Su	Tarım	Yapı
T1	5.0		11.5	19.1	0.0		14.3	11.9
T10	4.9	4.0	10.7	17.7			14.1	11.9
T11			16.1	32.3			20.7	
T12	5.0		10.3	18.1	0.0	0.0	13.9	11.5
T13	8.3		12.1	32.2	0.0		19.4	16.3
T14			8.1	16.8			14.3	

T15	8.3	8.3	17.4	32.9			20.7	19.8
T16			11.5	19.1	0.0		14.3	
T17			11.3	19.0	0.0		14.2	11.9
T18	8.3	8.3	17.1	31.5	0.0	0.0	18.5	15.1
T19A			9.9	19.0	0.0		13.8	11.9
T19B	5.0		11.2	19.1	0.0		14.5	11.9
T2			16.6	32.2			20.7	
T20	8.3	8.3	18.7	34.0	0.0	0.0	19.5	18.9
T21	8.3	8.3	17.9	32.9			20.5	19.8
T22			9.6	18.7			15.1	
T23	8.3		19.2	31.1	0.0		20.5	19.8
T24	3.9		13.4	21.7				
T25		8.3	16.4	31.7			20.3	19.8
T26	8.3	8.3	16.8	30.7			20.7	19.8
T27A			8.1	12.6				
T27B			12.2	17.2			15.2	8.3
T28	8.3	8.3	15.9	25.5	0.0	0.0	20.6	
T29			11.3	19.6	0.0		16.9	15.0
T3	5.0		10.6	19.0	0.0		14.3	11.9
T30A	3.2		9.8	15.9				8.3
T30B	8.3	8.3	12.5	20.7			15.2	
T31	4.5		9.9	17.3			12.9	9.7
T32			12.9	19.0			19.8	18.8
T33			10.3	18.5	0.0		14.0	11.7
T34A		5.0	12.9	23.9			16.4	19.4
T34B			8.1	18.1			12.8	
T35			8.7	17.2	0.0		12.6	
T36A			12.5	18.8	0.0		14.1	9.5

T36B			13.4	19.2	0.0		14.3	11.9
T37			13.7	22.9			16.6	19.1
T38	8.3	8.3	16.5	28.4	0.0	0.0	20.5	19.6
T39			8.1	17.3	0.0		13.1	
T40			8.4	17.5			12.1	
T41	5.0		11.4	18.4			15.3	18.2
T42			16.0	30.2			16.2	
T43A	5.0		10.4	17.8	0.0	0.0	11.9	
T43B	6.3		12.9	19.3	0.0			
T44			15.2	23.0			15.2	13.9
T45							14.3	
T45A			13.4	18.6			14.3	
T45B			12.5	23.7			15.4	13.1
T46	8.3		13.0	21.7			18.4	18.8
T47	5.0	5.0	10.2	18.7			14.0	10.4
T48A							20.7	19.8
T48B			11.1	18.8			19.6	19.8
T48C	8.3		12.9	19.5			19.4	
T49	4.4	5.0	11.0	19.3	0.0		13.4	11.3
T4A			10.7	18.7			17.1	16.5
T4B	5.0	3.2	11.0	13.9			13.5	9.6
T5	5.0	5.0	11.6	18.1		0.0	13.8	19.8
T50			12.0	18.8				
T51A		7.5	12.6	23.7	0.0	0.0	13.0	
T51B							13.6	19.3
T51C	5.0	5.0	12.7	20.6			14.6	18.9
T52	5.0		10.0	18.4				
T53			12.1	18.8			20.4	

T54		5.0	10.9	18.1			14.3	
T55	8.3		16.5	28.2			20.7	19.8
T56	5.7		10.5	20.9			19.9	18.4
T57			11.7	18.2				
T58			15.3	27.1			20.7	19.8
T59	8.3	8.3	14.7	31.5	0.0	0.0	20.7	19.8
T64A	8.3	8.3	16.8	32.3			20.7	19.8
T64B	8.3	8.3	20.0	31.7	0.0	0.0	20.7	
T65			8.6	15.4			17.3	
T67	5.0		13.4	20.7			15.8	19.8
T6A			7.4	17.0			12.4	
T6B			8.3	16.5			12.1	
T6C			18.3	27.6			12.4	
T7	8.3	8.3	16.2	31.6	0.0	0.0	19.8	19.8
T8	8.3	8.3	17.1	30.6	0.0	0.0	20.7	19.8
T9	8.3	8.3	17.7	31.8			20.7	19.8

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

1. Fırat Peker, Hürrem Bayhan, Atilla Akkoyunlu, “Global Gerçek Evapotranspirasyon (ETa) Haritalarından Arazi Kullanım Sınıflarına Ait ETa Kayıplarının Tahmini”, European Journal of Engineering and Applied Sciences, 4(1), 18-26, 2021.

