

**İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ VE ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİMİNİN HİDROLOJİK
PARAMETRELERE ETKİSİNİN COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ DESTEKLİ
ANALİZİ: PORSUK HAVZASI ÖRNEKLEMİ**

Balca AĞAÇSAPAN

Doktora Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Alper ÇABUK

(İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN)

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2021

*[Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 20DRP015-1-FB no.lu
proje kapsamında desteklenmiştir.]*

ÖZET

İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ VE ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİMİNİN HİDROLOJİK PARAMETRELERE ETKİSİNİN COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ DESTEKLİ ANALİZİ: PORSUK HAVZASI ÖRNEKLEMİ

Balca AĞAÇSAPAN

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2021

Danışman: Prof. Dr. Alper ÇABUK

(İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN)

Küresel gıda üretimi %80'inden fazlası yeşil suya, yani doymamış toprakta depolanan ve bitki büyümesini destekleyen yağıştan gelen suya dayanır. Yüzey suyuna ve yeraltı suyuna dönüşen yağışı ifade eden mavi su, doğrudan kullanılabilen hayati bir yüzey suyu kaynağıdır. Porsuk Nehri Havzası, İç Batı Anadolu eşiğinde, Ege ve Marmara Bölgesi'nin ılıman ikliminden İç Anadolu'nun karasal iklimine geçit oluşturan bir bölgedir ve Kütahya ve Eskişehir illerinin mavi ve yeşil su kaynağıdır.

Bu çalışmada, Porsuk Nehri Havzası'ndaki su kaynaklarının mekânsal-zamansal dağılımları, toprak ve su değerlendirme aracı Soil & Water Assessment Tool (SWAT) modeli kullanılarak simüle edilmiştir. Çalışmada öncelikle 1985-2013 yıllarını kapsayan referans dönem 2012 yılı arazi örtüsü ve CFRS iklim verilerine göre porsuk havzası modellenmiştir. Ardından, gelecek yıllara ait arazi kullanım modelleri ve iklim senaryolarına göre iklim parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Son olarak değişen arazi örtüsü ve iklim parametrelerinin havzada mavi ve yeşil su kaynaklarına etkileri değerlendirilmiştir.

Çalışmada erişilebilen verilerin birbiri ile entegre edilebilir olması göz önüne alınarak zaman periyotları belirlenmiştir. Referans dönemi temsil etmesi için 2012 yılı CORINE (Coordination of Information on the Environment) arazi örtüsü/kullanımı modeli kullanılarak Porsuk Havzası'nın 1985-2013 zaman periyodu için durumu tanımlanmıştır.

Arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin tanımlanması için CORINE arazi örtüsü/arazi kullanımı 1990, 2000, 2012, 2018 yılı verileri kullanılmıştır. Öncelikle zamana bağlı olarak değişen arazi örtüsü-arazi kullanımı bilgisi tanımlanmıştır. Gelecek yıllarda arazi örtüsünde meydana gelecek potansiyel değişimin tanımlanması için şehir merkezine, ana yollara, nehirlere uzaklık gibi etki haritaları kullanılarak CA_MARKOV analizi ile potansiyel arazi kullanım değişim haritaları oluşturulmuştur; kalibre edilen ve doğrulanan model sonuçları doğrultusunda 2030, 2050 ve 2099 yılı arazi örtüsü/kullanımı modelleri üretilmiştir.

İklim parametrelerindeki değişimin havza üzerinde etkilerinin incelenebilmesi için Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) ve HadGEM2-ES modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait veriler kullanılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda 2010 ve 2099 yılları arası iklim parametrelerinin değişimi incelenmiştir.

Gelecek yıllarda potansiyel arazi kullanımı değişiminin hidrolojik döngüye etkilerinin tanımlanması için CORINE 1990 ve 2000 arazi örtüsü verileri SWAT arazi örtüsü kodlarına göre sınıflandırılarak CA_MARKOV analizi ile CORINE seviye 3 arazi sınıflamasına göre 2030 yılı arazi örtüsü modellenmiştir.

Elde edilen gelecek arazi örtüsü-arazi kullanımı verisi ve iklim verileri kullanılarak havza HadGEM2-ES modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre modellenerek ve arazi örtüsü / kullanımının, iklim değişikliğinin mavi ve yeşil su kaynaklarına olası etkileri değerlendirilmiştir.

Çalışmanın bulguları şunlardır; Referans dönem “1985-2013” zaman periyodu için Kütahya ilinin mansabından Eskişehir ili kent merkezine kadar olan bölgenin su temini açısından daha güvenli olduğu görülmüştür. 2010-2099 periyodunda hem iyimser hem de kötümser senaryoda mavi su akışı havza genelinde azalmaktadır. Yağış ve sıcaklık unsurlarındaki değişiklikler yeşil su kaynaklarını büyük ölçüde etkilemektedir. Yeşil su kaynaklarından yeşil su akışı kötümser senaryoya göre yakın dönem periyodunda havza girişinde %15-30 oranında artmaktadır. Tüm senaryolarda, tarımsal faaliyetlerin yoğun gerçekleştiği havzanın ikinci yarısında yeşil su akışı azalmaktadır. Yeşil su deposunu ifade eden toprak nemi, tüm senaryolarda ve zaman periyotlarında havza girişinde artış gösterirken havzanın ikinci yarısında azalmaktadır. Tarımsal faaliyetler için önemli olan

yeşil su deposu da iklim değışikliğı bağlamında olumsuz etkilenen bir diğel parametredir. Potansiyel arazi örtüsü değışimi yeşil su akışının azalmasına sebep olmaktadır.

Sonuç olarak, Porsuk havzası arazi kullanımı değışimi ve iklim değışikliğı etkileri bakımından değelendirilerek havzanın su bütçesi bileşenlerinin geçmiş ve gelecekteki durumu incelenmiştir. Çalışma bölgesindeki mavi ve yeşil suyun mevcudiyetinin yanı sıra hidrolojik süreçlerin anlaşılması amaçlayan bir çalışmadır. Çalışmada elde edilen bulgular doğal ve antropojenik etkilerin su kaynakları üzerindeki toplu etkisini anlamaya yardımcı olmaktadır. Benzer bölgelerde havzaların sürdürülebilir kalkınmasının ve entegre su havzası yönetiminin teşvik edilmesinde fayda sağlayabilir.

Anahtar Sözcükler: İklim değışikliğı, Porsuk nehir havzası, Arazi örtüsü / kullanımı değışikliğı, SWAT, Mavi-Yeşil Su Kaynakları, Hidrolojik modelleme.

ABSTRACT

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM AIDED ANALYSIS OF THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGES AND LAND USE CHANGES ON THE HYDROLOGICAL PARAMETERS: THE SAMPLE OF PORSUK WATERSHED

Balca AĞAÇSAPAN

Department of Remote Sensing and Geographical Information Systems

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2021

Supervisor: Prof. Dr. Alper ÇABUK

(Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Emrah PEKKAN)

More than 80% of global food production relies on green water, i.e. water from precipitation that is stored in unsaturated soil and supports plant growth. Blue water, which refers to precipitation that turns into surface water and groundwater, is a vital source of surface water that can be used directly. The Porsuk River Basin is a region on the threshold of Inner Western Anatolia, forming a gateway from the temperate climate of the Aegean and Marmara Regions to the continental climate of Central Anatolia. Porsuk River is the blue and green water source of Kütahya and Eskişehir provinces.

In this study, the spatio-temporal distributions of water resources in the Porsuk River Basin were simulated using the Soil & Water Assessment Tool (SWAT) model. First of all, the basin was modeled according to the 2012 land cover and Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) climate data, the reference period covering the years 1985-2013. Then, the changes in climate parameters according to the land use models and climate scenarios of the coming years were examined. Finally, the effects of changing land cover and climate parameters on blue and green water resources in the basin were evaluated.

Time periods have been determined considering that the accessible data can be integrated with each other. The status of the basin for the 1985-2013 time period was defined using the 2012 CORINE (Coordination of Information on the Environment) land cover/use model to represent the reference period.

CORINE land cover/land use 1990, 2000, 2012, 2018 data were used to define the changes in the land cover. First of all, time-varying land cover-land use information is

defined. In order to define the potential change in the land cover in the coming years, using impact maps such as the distance to the city center, main roads and rivers, potential land use change maps were created with CA_MARKOV analysis. In line with the calibrated and verified model results, land cover/use models for the years 2030, 2050 and 2099 were developed.

CFSR data and RCP4.5 and RCP8.5 scenarios of HadGEM2-ES model were used to examine the effects of changes in climate parameters on the basin. In line with the data obtained, the change of climate parameters between 2010 and 2099 was examined.

CORINE 1990 and 2000 land cover data were classified according to SWAT land cover codes in order to define the effects of potential land use change that may occur in the coming years on the hydrological cycle. With CA_MARKOV analysis, the land cover of 2030 was modeled according to CORINE level 3 land classification.

By using the obtained future land cover-land use data and climate data, a basin model was created according to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios of the HadGEM2-ES model. Thus, the possible effects of land cover / use and climate change on blue and green water resources were evaluated.

Findings of the study are as follows; For the reference period “1985-2013”, the region from the downstream of Kütahya to the city center of Eskişehir was found to be safer in terms of water supply. Blue water flow decreases throughout the basin in both optimistic and pessimistic scenarios in the 2010-2099 period. Changes in precipitation and temperature factors greatly affect green water resources. According to the pessimistic scenario, green water flow from green water sources increases by 15-30% at the entrance of the basin in the near term. In all scenarios, green water flow decreases in the second half of the basin, where agricultural activities are intense. Soil moisture, which represents the green water reservoir, increases at the entrance of the basin in all scenarios and time periods, but decreases in the second half of the basin. The green water reservoir, which is important for agricultural activities, is another parameter that is negatively affected in the context of climate change. Potential land cover change is causing a decrease in green water flow.

As a result, the past and future status of the water budget components of the basin were examined by evaluating the basin in terms of land use change and climate change effects.

This study aims to understand the hydrological processes as well as the availability of blue and green water in the study area. The findings obtained in the study help to understand the collective impact of natural and anthropogenic effects on water resources. It can be beneficial in promoting the sustainable development of watersheds and integrated watershed management in similar regions. As a result, the past and future status of the water budget components of the basin were examined by evaluating the basin in terms of land use change and climate change effects.

It is a study aiming to understand the hydrological processes as well as the availability of blue and green water in the study area. The findings obtained in the study help to understand the collective impact of natural and anthropogenic effects on water resources. It can be beneficial in promoting the sustainable development of watersheds and integrated watershed management in similar regions. |

Keywords: |Climate change, Porsuk river basin, Land cover / use change, SWAT, Blue-Green Water Resources, Hydrological modeling,|

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tamamlanmasında kuşkusuz emeği geçen pek çok kişi oldu. Öncelikle araştırma motivasyonumu desteklediği, yapıcı eleştirileriyle çalışmama yön verdiği ve emeğini benden esirgemediği için tez danışmanlarım Prof.Dr.Alper ÇABUK’a ve Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN’a, teknik sorularımı yanıtsız bırakmayan ve dostça yaklaşımlarıyla motivasyonumu korumamda yardımcı olan Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü personeline teşekkür ederim. Uzun zamana yayılan çalışmamda ufuk açıcı yaklaşımlarıyla çalışmama önemli katkılar sağlayan Prof. Dr. Şükran ŞAHİN ve Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN’a, daima çalışmalarımı başvurmaktan çekinmediğim Prof.Dr.Saye Nihan ÇABUK ve eleştirel görüşlerinden yararlandığım Dr.Gökhan CÜCELOĞLU’na ayrıca teşekkür borçluyum. Maddi ve manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim ailem ve arkadaşlarıma da şükranlarımı sunarım.

Balca AĞAÇSAPAN

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Balca AĞAÇSAPAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR	ix
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problem Alanı ve Problem	1
1.2. Çalışmanın Amacı	1
1.3. Çalışmanın Önemi.....	3
1.4. Sınırlılıklar ve Varsayımlar	3
1.5. Tanımlar	4
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	8
2.1. Yeşil ve Mavi Su Potansiyeli	9
2.2. Hidrolojik Modelleme.....	10
2.2.1. Yüzeysel su kaynaklarının modellenmesi.....	10
2.3. Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü Değişikliği ve Modellenmesi	17
2.4. Hidrolojik Modellerde İklim Modelleri	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Çalışma Alanı	21
3.1.1. Fiziksel coğrafya	21
3.1.1.1. Havzanın konumu ve tanımı	21
3.1.1.2. Toprak yapısı.....	22
3.1.1.3. Arazi örtüsü ve arazi kullanımı.....	22

3.1.1.4. İklim	23
3.1.1.5. Demografik ve sosyo-ekonomik yapı.....	23
3.2. Verilerin Toplanması ve Analizi	23
3.2.1. Sayısal yükseklik modeli	24
3.2.2. Arazi örtüsü / arazi kullanımı	25
3.2.3. Toprak haritası	28
3.2.4. İklim verileri	29
3.2.5. Akım gözlem istasyon verileri	30
3.3. Yöntem	32
3.3.1. SWAT modelinde hidrolojik unsurlar ve swat modelinin çalıştırılması	32
3.3.1.1. SWAT modelinin kalibrasyonu ve doğrulaması.....	37
3.3.2. CA_Markov analizi ile potansiyel arazi kullanım değişim.....	46
3.3.3. İklim senaryoları ve iklim değişikliği etkileri	50
3.3.3.1. İklim projeksiyonları	51
4. BULGULAR.....	52
4.1. SWAT Modeli Kurulumu.....	52
4.1.1. Drenaj ağları ve alt havzalar	52
4.1.2. Hidrolojik etki birimlerinin hesaplanması.....	54
4.2. Kalibrasyon ve Validasyon Sonuçları	54
4.3. Yeşil ve Mavi Su Potansiyeli	59
4.4. Porsuk Havzası Arazi örtüsü değişiminin tanımlanması ve tahmin edilmesi.....	65
4.4.1. Geçmişten günümüze arazi örtüsü-arazi kullanımında meydana gelen değişimin tanımlanması	65
4.4.2. Gelecek yıllar için arazi kullanımının tahmin edilmesi	68
4.4.2.1. Arazi kullanımı/örtüsü değişiminde itici güce sahip değişkenlerin (alt model değişkenlerinin) analizi	69
4.4.2.2. CORINE 1990 ve CORINE 2000 verileri kullanılarak 2012, 2030, 2050,2099 yılları arazi kullanım modelinin tahminlenmesi	73
4.4.2.3. CORINE 2000 ve CORINE 2012 verileri kullanılarak 2018, 2030, 2050,2099 yılları arazi kullanım modelinin tahminlenmesi	78

4.4.2.4. Düzey 3 sınıflamasında CORINE 2000 VE CORINE 2012 verileri kullanılarak 2012 ve 2030 yılları arazi kullanım modellerinin tahminlenmesi.....	81
4.5. İklim Parametrelerinin İncelenmesi.....	87
4.5.1. 1979-2014 yılları arası iklim parametrelerinin incelenmesi.....	88
4.5.2. 2010-2099 yılları arası iklim parametrelerinin incelenmesi.....	91
4.6. Arazi Kullanım ve İklim Değişikliğinin Yeşil ve Mavi Su Kaynakları Üzerindeki Etkileri.....	100
4.6.1. İklim değişikliğinin su bütçesi bileşenleri üzerindeki etkisi	100
4.6.2. Arazi kullanımı ve iklim değişikliğinin yeşil ve mavi su kaynakları üzerindeki etkileri.....	105
5. SONUÇ	110
6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	118
KAYNAKÇA.....	120
EKLER	131
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Havza modellerinin kullanıldığı örnek çalışmalar	15
Tablo 3.1. Çalışmanın materyalleri	24
Tablo 3.2. Arazi kullanım verisi kodları	26
Tablo 3.3. FAO toprak verisine göre toprak sınıfı bilgileri	28
Tablo 3.4. Çalışma alanında bulunan akım gözlem istasyonları.....	31
Tablo 3.5. Kalibrasyon ve doğrulama için seçilen performans kriterleri.....	41
Tablo 3.6. Akım kalibrasyonu için seçilen 24 parametre ve aralıkları	45
Tablo 3.7. RCP'ler için tahmin edilen sıcaklıklar ve CO2 konsantrasyonları	51
Tablo 4.1. Kalibrasyonda tanımlanan parametre değerleri ve hassasiyet analizi sonuçları.....	55
Tablo 4.2. AGİ'lerin için model kalibrasyonu ve doğrulaması için performans ölçütleri	55
Tablo 4.3. Referans dönem yağış, mavi su ve yeşil su bilgileri.....	64
Tablo 4.4. Havza sınırları için CORINE düzey 1 sınıflamasına göre 1990 yılı arazi örtüsü ve 2000 yılı arazi örtüsü bilgileri	67
Tablo 4.5. 1990-2000 Arazi Kullanım Geçiş Matrisi	73
Tablo 4.6. 2012 yılı arazi kullanım modeli ve CORINE 2012 arazi kullanımı modelinin karşılaştırılması.....	75
Tablo 4.7. 1990-2000 Arazi Kullanım verisi ile 2030 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi	75
Tablo 4.8. 1990-2000 Arazi Kullanım verisi ile 2050 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi	75
Tablo 4.9. 1990-2000 Arazi Kullanım verisi ile 2099 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi	75
Tablo 4.10. 1990 ve 2000 CORINE verileri ile projekte edilmiş yıllar bazında alansal değişimler.....	75
Tablo 4.11. 2018 yılı arazi kullanım modeli ve CORINE 2018 arazi kullanımı modelinin karşılaştırılması.....	78
Tablo 4.12. 2000-2012 Arazi Kullanım verisi ile 2018 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi	78

Tablo 4.13. 2000-2012 Arazi Kullanım verisi ile 2030 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi	78
Tablo 4.14. 2000-2012 Arazi Kullanım verisi ile 2050 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi	80
Tablo 4.15. 2000-2012 Arazi Kullanım verisi ile 2099 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi	80
Tablo 4.16. 2000 ve 2012 CORINE verileri ile projekte edilmiş yıllar bazında alansal değişimler.....	80
Tablo 4.17. 1990 ve 2000 yılları arası SWAT arazi kullanımı sınıfları bazlı net değişim.....	82
Tablo 4.18. CORINE verisi düzey 3 kategorisine göre CORINE 1990 ve 2000 yılları arazi örtüsü/kullanımı ile 2030 yılı arazi örtüsü modelinin karşılaştırılması	86
Tablo 4.19. Ortalama yıllık yağış bilgisi.....	89
Tablo 4.20. Ortalama minimum ve maksimum sıcaklık değerleri.....	91
Tablo 4.21. 2010-2099 yılları arası yıllık toplam yağış bilgisi	92
Tablo 4.22. 2010-2099 dönemi GCM2 RCP 4.5 & RCP 8.5 yıllık yağış bilgisi.....	92
Tablo 4.23. İyimser ve kötümser senaryolara göre ortalama maksimum sıcaklık değerleri	96
Tablo 4.24. İyimser ve kötümser senaryolara göre ortalama minimum sıcaklık değerleri	97

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çalışma bölgesi havzanın sayısal yükseklik haritası.....	25
Şekil 3.2. Arazi kullanımı haritası	26
Şekil 3.3. Toprak sınıfları haritası	29
Şekil 3.4. Çalışma alanında tanımlanan istasyonların konumları.....	30
Şekil 3.5. Çalışma kapsamında kullanılan DSİ ve EİEİ akım gözlem istasyonları.....	31
Şekil 3.6. Çalışmanın akış şeması	32
Şekil 3.7. SWAT Modelinin akış şeması.....	34
Şekil 3.8. SWAT ve optimizasyon programları arasındaki bağlantı şeması (Karim C. Abbaspour, 2012)	39
Şekil 3.9. SWAT-SUFI2 girdi dosyalarının oluşturulması süreci	42
Şekil 3.10. Çalışma kapsamında kullanılan DSİ ve EİEİ akım gözlem istasyonları.....	43
Şekil 3.11. Arazi kullanımı simülasyonunun akış şeması	48
Şekil 3.12. Arazi örtüsü senaryoları için uygulanan metodolojinin akış şeması.....	50
Şekil 4.1. Havza sınırlarının belirlenmesi ve havza karakterizasyonu	53
Şekil 4.2. Porsuk havzasında tanımlanan alt havzalar	53
Şekil 4.3. AGİ'ler Aylık model ve gözlem sonuçları – I.....	58
Şekil 4.4. AGİ'ler Aylık model ve gözlem sonuçları - II	59
Şekil 4.5. Referans dönem yağış değerleri ve mavi su değerleri dağılımı	61
Şekil 4.6. Referans dönem yeşil su akışı ve yeşil su deposu değerleri dağılımları	62
Şekil 4.7. Referans dönem mavi su, yeşil su deposu ve yeşil su akışı için korelasyon katsayısı mekansal dağılımı.....	63
Şekil 4.8. CORINE Düzey 1 sınıflandırmasına göre havza sınırı ve çevresi 1990 yılı arazi örtüsü haritası.....	66
Şekil 4.9. CORINE Düzey 1 sınıflandırmasına göre havza sınırı ve çevresi 2000 yılı arazi örtüsü haritası.....	67
Şekil 4.10. Havza sınırı ve çevresinin 1990 yılından 2000 yılına kadar diğer arazi kullanım tiplerinden yapılaşmış alanlara dönüşen alanlar ve türleri	68
Şekil 4.11. Porsuk havzası arazi örtüsü değişiminde itici güce sahip olan değişkenler; a) sayısal yükseklik bilgisi, b) nehre uzaklık bilgisi	70

Şekil 4.12. Porsuk havzası arazi örtüsü değişiminde itici güce sahip olan değişkenler; c) yol ağına uzaklık bilgisi, d) yerleşim alanına uzaklık bilgisi.....	71
Şekil 4.13. Porsuk havzası arazi örtüsü değişiminde itici güce sahip olan değişkenler; e) tarımsal alandan yerleşim alanına dönüşüm, f) orman alandan yerleşim alanına dönüşen alanlar ve 3. Dereceden dönüşüm trendi	72
Şekil 4.14. Porsuk havzası arazi örtüsü değişiminde itici güce sahip olan değişkenler; g) diğer arazi kullanım türlerinden yerleşim alanına dönüşen alanlar ve 3. Dereceden dönüşüm trendi	73
Şekil 4.15. 2012 yılı arazi kullanım modeli ve potansiyel geçiş haritası	74
Şekil 4.16. CORINE 2012 yılı arazi örtüsü ve tahminlenmiş 2012 arazi kullanım modeli	76
Şekil 4.17. 1990 ve 2000 CORINE arazi kullanım modeli kullanılarak yapılan projeksiyonlar	77
Şekil 4.18. 2018 yılı arazi kullanım modeli ve CORINE 2018 arazi kullanımı modeli	79
Şekil 4.19. 2000 ve 2012 CORINE arazi kullanım modeli kullanılarak yapılan projeksiyonlar	81
Şekil 4.20. 1990 ve 2000 yılları arasında SWAT arazi kullanım sınıfları bazlı net değişim.....	82
Şekil 4.21. 1990 ve 2000 yılları arasında Yapılaşmış alan kategorisindeki arazi kullanım sınıflarının dönüşümü	83
Şekil 4.22. 2030 arazi örtüsü/kullanımı modeli ve geçiş potansiyeli haritası	85
Şekil 4.23. CORINE verisi düzey 3 kategorisine göre 1990 ve 2000 yılları arazi örtüsü/kullanımı ile 2030 yılı arazi örtüsü modeli	87
Şekil 4.24. 1979-2013 yılları arası yıllık yağış bilgisi.....	88
Şekil 4.25. Ortalama yıllık yağış bilgisi	89
Şekil 4.26. 1979- 2013 dönemi aylık ortalama yağış bilgileri.....	89
Şekil 4.27. 1979-2013 yılları arası yıllık minimum-maksimum sıcaklık bilgileri	90
Şekil 4.28. Ortalama Minimum ve Maksimum Sıcaklık Değişimi	90
Şekil 4.29. Referans dönem aylık minimum ve maksimum sıcaklık ortalamaları	91
Şekil 4.30. 2010-2099 dönemi GCM2 RCP 4.5 & RCP 8.5 yıllık yağış bilgisi	92

Şekil 4.31. GCM2 RCP 4.5 aylık ortalama yağış bilgisi.....	94
Şekil 4.32. GCM2 RCP 8.5 aylık ortalama yağış bilgisi.....	94
Şekil 4.33. GCM2 RCP 4.5 & RCP 8.5 maximum sıcaklık bilgisi.....	95
Şekil 4.34. Ortalama maksimum sıcaklık değerleri değişimi.....	96
Şekil 4.35. GCM2 RCP 4.5 & RCP 8.5 minimum sıcaklık bilgisi.....	96
Şekil 4.36. Ortalama minimum sıcaklık değerleri değişimi.....	97
Şekil 4.37. GCM2 senaryo 2 (RCP 4.5) aylık maximum sıcaklık ortalamaları.....	98
Şekil 4.38. GCM2 senaryo 4 (RCP 8.5) aylık maksimum sıcaklık ortalamaları.....	98
Şekil 4.39. GCM2 senaryo 2 (rcp 4.5) aylık minimum sıcaklık ortalamaları.....	99
Şekil 4.40. GCM2 RCP 8.5 minimum ortalama aylık yağış.....	99
Şekil 4.41. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yağış değişimleri.....	101
Şekil 4.42. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre potansiyel evapotranspirasyon değişimleri.....	102
Şekil 4.43. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre gerçek evapotranspirasyon değişimleri.....	103
Şekil 4.44. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre toprakta tutulan su miktarı.....	104
Şekil 4.45. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yüzeyel akış.....	105
Şekil 4.46. 2010-2030 periyodu RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre mavi su değerleri dağılımı.....	107
Şekil 4.47. 2010-2030 periyodu RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yeşil su depolama değerleri dağılımı.....	108
Şekil 4.48. 2010-2030 periyodu RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yeşil su akışı değerleri dağılımı.....	109

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AGNPS	: Agricultural Non-Point Source Pollution Model
APEX	: Agriculture Policy Environmental Extender
ARIMA	: Autoregressive Integrated Moving Average
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CA_MARKOV	: Cellular Automata and Markov Chain
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CFSR	: Climate Forecast System Reanalysis
DSİ	: Devlet Su İşleri
CIAT	: International Center for Tropical Agriculture
CLUE	: Conversion of Land Use and its Effects
CLUE-S	: Conversion of Land Use and its Effects at Small Regional Extent
CORINE	: Coordination of Information on the Environment
CV	: Correlation Coefficient
DSİ	: Devlet Su İşleri
DSMW	Digital Soil Map of the World
DWSM	: Dynamic Watershed Simulation Model
EİE	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
EOS	Earth Observing System
EPIC	: Environmental Policy Integrated Climate
FAO	Food and Agriculture Organization
GCM	: Genel dolaşım modeli
HadGEM2-ES	: Hadley Centre Global Environment Model version 2
Hec-GeoHMS	: The Geospatial Hydrologic Modeling Extension
HRUs	: Hydrologic Response Units
KGE	: Kling- Gupta Yeterliliği
LUCAS	: Land Use and Carbon Scenario Simulator
MOLAND	: Monitoring Land Use Changes
MURBANDY	: Monitoring Urban Dynamics
NASA	National Aeronautics and Space Administration

NCEP	: The National Centers for Environmental Prediction
NSE	: Nash-Sutcliffe Yeterliliği
PBIAS	: Mevcut Sapma
R2	: Determinasyon katsayısı
RCP	: Representative Concentration Pathway
SCS-CN	: Soil. Conservation Service-Curve Number
SLEUTH	: Slope, Land cover, Exclusion, Urban growth, Transport and Hill shade
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
SWAT	: Soil & Water Assessment Tool
URBANSIM	: Urban simulation system
USDA	: US Department of Agriculture

1. GİRİŞ

Çalışmanın bu bölümünde çalışmanın problem alanı ve problem, amacı, çalışmanın önemi, sınırlılıklar ve varsayım ve son olarak tanımlar verilmiştir.

1.1. Problem Alanı ve Problem

Su insanlar ve ekosistem için hayati öneme sahiptir. Küresel ekonomi ve insan nüfusu büyüdükçe, su kaynaklarına olan talep de artmaktadır. Bu durum küresel ekosistemin sağlığını etkilemektedir (Leta & Bauwens, 2018; Oki & Kanae, 2006). Su kaynakları için devam eden bu rekabet nedeniyle, sürdürülebilir, etkili ve adil su kaynakları yönetimini gerçekleştirmek için su kaynaklarının mevcudiyeti kapsamlı bir şekilde değerlendirilmelidir (Malin Falkenmark, 2003). Literatürde, yüzey ve yeraltı akışları ile oluşan mavi su kaynaklarına büyük önem verilmiştir. Ancak son yıllarda yeşil su kaynakları da ilgi görmeye başlamıştır. Yeşil su kaynakları, doymamış toprakta depolanan ve bitki büyümesini destekleyen yağıştan gelen suyu ifade eder. Yeşil su iki bileşene ayrılmaktadır: gerçek buharlaşmayı ifade eden yeşil su akışı ve toprakta depolanan suyu ifade eden yeşil su depolaması. Yeşil su kaynakları, su kaynağı kullanımının büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır; küresel gıda üretimi ve otlaklar tarafından kullanılan suyun %80'den fazlası yeşil sudur (Liu & Yang, 2010). İklim değişikliği havzalardaki hidrolojik döngüyü, mavi ve yeşil su kaynaklarını büyük ölçüde etkiler (Lyu vd., 2019). İklim değişikliği yağış, sıcaklık ve diğer meteorolojik unsurlardaki değişiklikler ile hidrolojik döngüye yansır. Bu nedenle, mavi ve yeşil su kaynaklarının zamansal değişimlerinin incelenerek, su kaynaklarının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi, su kaynakları yönetimi ve planlaması için önemlidir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Porsuk havzası sulama, kullanma ve içme suyu kaynağı olarak önemli bir su kaynağıdır. Bu çalışmada çevresel modeller ve çeşitli çevresel veri kaynakları kullanılarak iklim değişiklikleri ve arazi örtüsü değişiminin Porsuk havzasında hidrolojik parametrelere etkisi coğrafi bilgi sistemleri platformunda değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Havzadaki su kaynaklarının yönetimine envanter sağlamak için mavi ve yeşil sular arazi örtüsü ve iklim değişikliği bağlamında incelenmiştir.

Mavi ve yeşil su kaynakları hidrolojik modellerle değerlendirilebilmektedir. Hidrolojik model ile bir havzadaki yeşil ve mavi su kaynaklarının mekansal dağılımındaki değişiklikler değerlendirilebilir. Değişik ölçeklerde ve çevresel

koşullardaki su kaynaklarının ve yayılı kaynaklı kirliliğin değerlendirilmesinde, havzalarda arazi yönetimi uygulamalarının etkisinin ölçülmesinde kullanılan havza ölçekli Soil and Water Assessment Tool (SWAT) dünyada yaygın olarak kullanılan bir hidrolojik modeldir. Bir CBS yazılımı olan ArcGIS ortamında çalışabilen SWAT modelinde çevresel koşullar tanımlanarak kullanıcı tarafından modele eklenebilmektedir.

Karar vericiler için faydalı bir araç olan SWAT modeli, farklı ölçeklerde ve veri çözünürlüğünde çalışabilmesi, uzun simülasyon döngüleri ve havza hidrolojisini simüle etmek için kullanım kolaylığı nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ek olarak literatürde SWAT modeli kullanarak mavi ve yeşil su kaynakları üzerine yapılan ve su kaynaklarının planlanması ve yönetimi için bilimsel bir temel sağlayan çalışmalar mevcuttur (K. C. Abbaspour vd., 2015; Cüceloğlu, 2019; Jiang vd., 2021; Lemann vd., 2018; Yuan vd., 2019). Bu nedenle çalışmada SWAT modeli tercih edilmiştir.

İnsan faaliyetlerine bağlı olarak değişen arazi örtüsü/arazi kullanımı çevresel sistemlerin değişiminde önemli bir itici güç olarak kabul edilmektedir (Turner vd., 1994). Arazi örtüsü/arazi kullanımı bilgisi son 40 yılda belirgin bir şekilde değişime uğramıştır (Calzada vd., 2018). Nüfusun yoğun olarak bulunduğu kentsel alanlar ve çevresinde arazi kullanımı bilgisi daha hızlı değişim göstermektedir (Abrantes vd., 2016; Marraccini vd., 2015). CA ve Markov modelleri, uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin ilerlemesiyle birlikte yer bilimlerinde mekansal ve çevre modelleme çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Arazi örtüsü / Arazi kullanımı, orman alan değişimi, kentsel büyüme, sulak alan peyzajı, bitki büyümesi ve havza yönetimi modellenmesi, uygun alan seçimi, kıyı bölgesi yönetimi vb. benzeri dinamikleri karakterize etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada bir CBS yazılımı olan IDRISI TerrSet yazılımı kullanılarak CA-Markov analiz yöntemi ile mekana ve zamana bağlı olarak arazi örtüsü/arazi kullanımının potansiyel değişimi modellenmiştir. Modelleme sürecinde şehir merkezine, ana yollara, nehirlere uzaklık gibi etki haritaları kullanılarak 2012, 2018, 2030, 2050 ve 2099 yılları için arazi kullanım haritaları üretilmiştir.

Farklı kaynaklardan temin edilen çeşitli mekansal ve mekansal olmayan veri kaynakları, kullanılan çeşitli çevresel modellerin çıktı verileri CBS ortamında toplanmış, analiz edilmiş ve bulguları mekansal dağılım haritaları ile görselleştirilen bu çalışmada, mekansal analiz yöntemleri kullanılarak Porsuk havzasındaki su kaynaklarının yönetimine envanter sağlanmıştır.

1.3. Çalışmanın Önemi

Araştırmadan elde edilen bulgular doğrultusunda

- Sulama ve kullanma ve içme suyu kaynağı olarak önemli bir su kaynağı olan havzanın Mavi ve Yeşil su kaynakları mekansal olarak tanımlanmıştır.
- Arazi örtüsü-arazi kullanımı bilgisi havza su bütçesi için önemli bir girdidir. Havzanın geleceğe dönük arazi kullanım modelleri oluşturulmuştur.
- Arazi kullanımı ve iklimsel değişimin mavi ve yeşil su kaynaklarına olan etkileri tanımlanmıştır.
- Sınırlı kaynaklar, artan nüfus ve iklim değişikliği su kıtlığı ve gıda güvenliği konularını daha da önemli hale getirmektedir. Geleceğe dönük arazi kullanım modelleri ve iklim değişikliği olası senaryoları doğrultusunda oluşturulan modeller ile gelecek yıllar için Porsuk Havzasının başlıca hidrolojik parametrelerinin, mavi ve su potansiyelinin tanımlaması yapılmıştır.
- Hidrolojik parametrelerin önem arz ettiği ekosistem hizmetleri, su sektörü ve halk sağlığı gibi alt başlıklara fayda sağlayacağı düşünülen envanter oluşturulmuştur.

1.4. Sınırlılıklar ve Varsayımlar

Araştırmanın sınırlılıkları şunlardır;

- Çalışmanın metodolojisi Türkiye’de Sakarya havzasında yer alan Porsuk havzasında uygulanacaktır.
- Oldukça karmaşık bir süreç olan hidrolojik döngüde arazi örtüsü/alan kullanımı ve iklim parametrelerinin değişiminin su kaynaklarına etkileri incelenmektedir.
- Çalışma kapsamına SWAT modeli ile uyumlu ve erişilebilen açık kaynaklı veriler kullanılmıştır. Bu kapsamda havza genelinde homojen iklim verisi elde edilmesi amacıyla referans dönem modellemesi için The National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) verisi kullanılmıştır. Model kalibrasyonu erişilebilen DSİ (Devlet Su İşleri) ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) akım gözlem istasyon verileri ile gerçekleştirilmiştir. Yakın ve uzak gelecek periyotlarının modellenmesi sürecinde Met Office Hadley Center -Water Weather Energy Ecosystem Technology and

Data veritabanından HADGEM-2es küresel modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları verileri Water Weather Energy Ecosystem Technology and Data tarafından geliştirilen Climate Change Toolkit aracı ile işlenerek model hatası azaltılmaya çalışılmıştır. İklimsel değişim bağlamında, yalnızca yağış ve minimum-maksimum sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

- Clark University Clark Labs tarafından geliştirilen IDRISI TerrSet yazılımı kullanılarak Markov zinciri analizi ile arazi kullanım modelleme süreçleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut veriler ve literatürde yer alan çalışmalar doğrultusunda belirlenen iticü güçlere göre geleceğe dönük iklim modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde yıl aralığı artırıldıkça model hatalarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle yalnızca 2030 arazi örtüsü modeli ile hidrolojik model oluşturulmuştur. Üretilen 2050 ve 2099 arazi örtüsü modelleri ile hidrolojik model oluşturulmamıştır.

1.5. Tanımlar

Çalışmanın bu bölümünde tezin araştırma içeriğini yansıtan anahtar sözcükler dikkate alınarak işlevsel tanımlar verilmiştir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS): kartografik haritaların, uydu görüntülerinin, mekansal olmayan sözel veriler gibi farklı yapıda çalışma için gerekli her türlü verinin toplanarak saklandığı, işlenebildiği, görselleştirilebildiği ve analiz edilebildiği, analizler sonucunda ihtiyaca bağlı harita, istatistiksel tablo vb. çıktıların ortaya konduğu bir sistemdir (Küpçü, 2015'ten aktaran Ağaçsapan, 2016, s.43).

Veri: CBS'yi meydana getiren temel bileşenlerden biri olarak, yapılan gözlem ya da işlem sonucunda ortaya çıkan sonuçların rakamlarla ya da harflerle ifade edilmesine yaramaktadır (Küpçü, 2015'ten aktaran Ağaçsapan, 2016, s.43).

Bilgi: Verilerin işlenmesi ve amaca uygun olacak şekilde değerlendirilerek anlamlı hale getirilmesi sonucunda bilgi elde edilmektedir (Küpçü, 2015'ten aktaran Ağaçsapan, 2016, s.43).

Konumsal veri: Bir nesnenin, olayın, sayısal veya sözel değerini coğrafi konumunu ifade etmek için kullanılan veridir (Kelleci vd., 2015).

Konumsal bilgi: Konumsal verinin işlenmiş ve anlamlandırılmış halidir (Kelleci vd., 2015).

Öznitelik verisi: Konumsal bir nesne ya da olay ile ilgili olan ve konum verisi içermeyen, ölçüm, gözlem ya da araştırma yolu ile elde edilen konumsal nesne ya da olayların nitelik ve nicelik gibi karakteristik özelliklerini belirten, CBS ortamında tablo olarak gösterilen sayı, metin, resim gibi verilere öznitelik verisi denir (Kelleci vd., 2015).

Veritabanı: Çalışma esnasında gerek duyulan birbirinden farklı ama birbiri ile ilişkili veri topluluğudur (Küpçü, 2015'ten aktaran Ağaçsapan, 2016, s.43).

Konumsal veritabanı: Konumsal verilerin depolandığı, verilerin birbiri ile ilişkilerinin tanımlandığı, sorgulandığı, işlendiği ve güncellendiği, çalışmanın amacına uygun düzenlenmiş, konumsal veri ve onlarla ilişkisi öznitelik verisi topluluğuna konumsal veritabanı denir (Kelleci vd., 2015).

Bilgi sistemi: temelini veritabanlarının oluşturduğu, verilerin yönetimini sağlayan donanım ve personelden oluşan sistemdir. Bilgi sistemleri ise, sözel ve mekansal tanımlamanın yapıldığı, grafik olarak ifade edilen mekansal olan verilerin ve yalnızca sözel ifade edilen mekansal olmayan verilerin ayrı ayrı ancak tek bir platformda yönetimini sağlamaktadır (Küpçü, 2015'ten aktaran Ağaçsapan, 2016, s.43).

Uzaktan algılama (UA): UA, grüntü işleme sistemidir. Bir nesneye fiziksel temasta bulunmadan, atmosferde veya uzayda bir platforma yerleştirilen ölçüm aletleri aracılığı ile o nesne hakkında bilgi edinme ve bilgileri analiz etme tekniğidir. UA, CBS'nin başlıca veri kaynaklarından biridir. UA, güncel mekânsal veri ihtiyacını en kısa sürede, düşük maliyete karşılayan bir teknolojidir (Sunar vd., 2015).

Hidroloji: Hidroloji yerkürede (yer yüzeyinde, yeraltında ve atmosferde) suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir (Bayazıt, 2003).

Model: karmaşık bir gerçek sistemin matematiksel, fiziksel veya mantıksal olarak basitleştirilmiş bir ifadesidir. Basitleştirme beraberinde varsayımları da getirmektedir. Önemli olan gerçek sistemin kabul edilebilir doğrulukta temsil edilmesidir (Yücel, 2015).

Hidrolojik model: Havza işleyişinin ve hidrolojik yapısının anlaşılması amacıyla oluşturulmuştur. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine destek sağlamak gibi karar mekanizması olarak ya da su kaynaklı doğal afetlere karşı tedbir almakta yardımcı olmak gibi afet erken uyarı sistemi olarak kullanılabilir. Çeşitli türde model vardır. Temel

olarak; Bir girdiyi (yağış) model çıktısına (yüzeyakışı) bağlamak için istatistiksel kavramlar kullanan veri-temelli modeller, detaylı fizik ve havza ölçekli heterojen yapıyı tam olarak dikkate almayan kısmen basit matematiksel denklemlere dayanan kavramsal modeller, kavramsal ve fiziksel-temelli modellerin bir birleşimi olan mekansal dağılımlı hibrit modeller ve kütle, momentum (enerji) korunumu ile alakalı fiziksel kuralları tanımlayan kısmi diferansiyel denklemler serilerini içeren, mekansal dağılımlı fizik-temelli modeller vardır (Yücel, 2015).

Havza: Sırtlardan geçtiği varsayılan su ayırım çizgisi ile sınırlandırılan, üzerine düşen yağış sularını bir drenaj sistemi ile akıtan, iç bükey topoğrafik yapıya sahip, hidrolojik, ekonomik ve sosyal bir ünedir.

Mavi su kaynakları: Mavi su kaynakları yüzey ve yeraltı akışları ile oluşmaktadır (Du vd., 2018; Jiang vd., 2021).

Yeşil su kaynakları: Yeşil su kaynakları, doymamış toprakta depolanan ve bitki büyümesini destekleyen yağıştan gelen suyu ifade etmektedir. Yeşil su iki bileşene ayrılmaktadır: gerçek evapotranspirasyonu ifade eden yeşil su akışı ve toprakta depolanan suyu ifade eden yeşil su depolaması (Jiang vd., 2021).

Akım gözlem istasyonu (AGİ): Akarsu üzerinde belirli noktalarda inşa edilen, akımın hızının ve debisinin periyodik olarak ölçüldüğü istasyonlardır.

Arazi örtüsü: Bir bölgenin ne kadarının ormanlar, sulak alanlar, geçirimsiz yüzeyler, tarım ve diğer arazi ve su türleri tarafından kaplı olduğunu ifade eder (NOAA, 2017)

Arazi kullanımı: İnsan etkisi ile ortaya çıkan arazi kullanımlarını gösterir. İnsanların peyzajı nasıl kullandığını ifade eder (NOAA, 2017).

İklim değişikliği: İklim sistemi, Atmosfer, kara yüzeyleri, kar ve buz, okyanuslar ve diğer su kütleleri ile canlıları kapsayan etkileşimli bir sistemdir. İklim sistemi, zaman içinde, iç dinamiklerinin etkisi ile ya da volkanik patlamalar ve güneşle ilgili değişkenlikler gibi doğa olayları veya insan kaynaklı dış zorlamalara bağlı olarak değişim gösterir. İklim değişikliği, iklimin ortalama durumunda ve/veya ya değişkenliğinde birkaç yıl ya da milyonlarca yıl içinde gerçekleşen değişiklikleri ifade eder (Akçakaya et al., 2015; Burroughs, 2007).

Genel dolaşım modeli: Atmosfer, okyanus, kriyosfer (deniz buzu, gl buzu, nehir buzu, kar örtüsü, buzullar ve diğ r buz tabakaları ve donmuş toprak) ve kara yüzeyindeki fiziksel süreçleri temsil eden matematiksel modeller, küresel iklim sisteminin artan sera gazı konsantrasyonlarına tepkisini simüle etmek için kullanılan araçlardır. İ lim tepkisine ilişkin küresel veya bölgesel ortalamalı tahminler sağlamak için daha basit modeller kullanılmış olsa da, Genel Dolaşım Modelleri(General Circulation Models(GCM)), bölgesel iklim değişikliğinin coğrafi ve fiziksel olarak tutarlı tahminlerini sağlama potansiyeline sahiptir (Hannah & Bird, 2017).

Temsili Konsantrasyon Rotaları: Temsili Konsantrasyon Rotaları (Representative Concentration Pathway(RCP), tamlamasında temsili konsantrasyon, tüm sera gazları ve aerosoller ve kimyasal olarak aktif gazların emisyonlarının ve konsantrasyonlarının zaman serilerini ve ayrıca arazi kullanımı/arazi örtüsünü içeren senaryoları; temsili sözcüğü, her bir RCP'nin, belirli ışınımsal zorlama özelliklerine yol açacak birçok olası senaryodan yalnızca birini sağladığını belirtir. Rota terimi, yalnızca uzun vadeli konsantrasyon seviyelerinin değil, aynı zamanda bu sonuca ulaşmak için zaman içinde alınan yolun da önemini vurgular. RCP'ler genellikle, entegre değerlendirme modellerinin karşılık gelen emisyon senaryoları ürettiği, konsantrasyon rotasının 2100 yılına kadar uzanan kısmını ifade eder(R. Moss et al., 2008; R. H. Moss et al., 2010).

2. LİTERATÜR TARAMASI

Küresel ısınma, aşırı hava olayları gibi iklim özelliklerinde ve kentsel alanların hızla artması gibi arazi örtüsünde gibi benzeri görülmemiş bir oranda değişiklikler gerçekleşmektedir. Doğal ve antropojenik etkiler küresel ve bölgesel hidrolojik özellikleri de etkilemektedir. Meydana gelen bu değişimler, su kaynakları planlaması ve yönetimi süreçlerinde hidrolojik değişikliklerin daha iyi anlaşılması için, iklim ve arazi kullanımı değişikliğinin su kaynakları üzerindeki tekil veya birleşik etkilerinin ölçülmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır (Belmont vd., 2016; Gupta vd., 2015). Bu çalışmalar, iklim veya arazi kullanımı değişikliği nedeniyle önemli hidrolojik değişiklikler bildirmiştir. Daha önce yapılan çalışmalar toplam tatlı su kaynağının yaklaşık üçte birini içerdiği tahmin edilen nehirlerde edilen göller, rezervuarlar veya akiferlerde depolanan geleneksel mavi suya odaklanmaktadır. Toplam tatlı su kaynağının geriye kalan üçte ikisi yeşil su olarak bilinen topraklarda ve bitkilerde depolanır ve evapotranspirasyon geri beslemeleri yoluyla su döngüsü içinde dolaşır (M. Falkenmark & Rockström, 2006). Mavi su kaynakları yüzey ve yeraltı akışları ile oluşmaktadır. Yeşil su kaynakları, doymamış toprakta depolanan ve bitki büyümesini destekleyen yağıştan gelen suyu ifade etmektedir. Yeşil su iki bileşene ayrılmaktadır: gerçek evapotranspirasyonu ifade eden yeşil su akışı ve toprakta depolanan suyu ifade eden yeşil su depolaması. Mavi ve yeşil su kaynakları hidrolojik modellerle hesaplanabilmektedir. SWAT modeli ile mavi ve yeşil su bileşenleri doğrudan tahmin edilebilmektedir ve mevcut miktarları ölçülebilmektedir. Su bileşenleri, alt havza verimini (Water Yield), derin akifere sızmayı (deep aquifer recharge), gerçek evapotranspirasyon (Actual evapotranspiration) ve toprak nem içeriğini (Soil water content) içerir. Mavi su, yüzeysel akış (surface water yield) ve derin akifer beslenmesinin (deep aquifer recharge) toplamıdır. Yeşil su kavramına ve SWAT modelinin çıktı sonuçlarına göre, yeşil su akışı gerçek evapotranspirasyondur. Yeşil su depolaması toprak suyudur. Yeşil su kaynaklarının toplam miktarı, gerçek evapotranspirasyon ve toprak neminin toplamıdır, yani yeşil su akışı ve rezervuarın toplamıdır (Jiang vd., 2021; Lyu vd., 2019) Mavi su, yeşil su formülleri sırasıyla Denklem 2.1 ve Denklem 2.2’de ifade edilmektedir.

$$\text{Mavi Su} = \text{yüzeysel akışa geçen su miktarı} + \text{derin akifere sızma} \quad (2.1)$$

$$\text{Yeşil Su} = \text{Gerçek Evapotranspirasyon} + \text{Toprak Nemi} \quad (2.2)$$

Mavi su kaynakları evsel ve endüstriyel su tüketimi için kritik öneme sahiptir. Yeşil su kaynakları ise bitki büyümesi, tarımsal faaliyetler için önem arz etmektedir (Liu & Yang, 2010). Mavi su kaynaklarının değerlendirilmesi, evsel ve endüstriyel su kullanımı tedarikinin yönetilmesine yardımcı olur ve sel ve kuraklık gibi olayların olasılığı hakkında bilgi sağlar; Yeşil su kaynaklarının değişiminin anlaşılması tarımsal faaliyetlerin yönetimi, gıda güvenliği gibi konularda fayda sağlar. Bu nedenle, mavi ve yeşil su kaynaklarının mekansal ve zamansal modellerinin oluşturulması ve bu modellerin iklim ve arazi kullanımı değişikliği ile ilişkilendirilmesi önemlidir. Bu bölümde mavi ve yeşil su kaynakları ile ilgili çalışmalar, hidrolojik modelleme aracı SWAT ile ilgili çalışmalar, hidrolojik modeller ile yaygın kullanılan iklim ve arazi örtüsü modelleme ile uygulamaları ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar sunulmuştur.

2.1. Yeşil ve Mavi Su Potansiyeli

Afrika’da(Schuol et al., 2008), İran’da (Faramarzi vd., 2009), Avrupa kıtasında (K. C. Abbaspour vd., 2015) kıta ölçeğinde yapılmış mavi ve yeşil su mevcudiyeti ve mekansal dağılımının modellendiği çalışmalar mevcuttur. Havza bazlı çalışmalara örnek olarak (Lemann vd., 2018) Etopya’da Upper Blue Nile havzasında mavi ve yeşil suları zamansal ve mekansal olarak değerlendirilmiştir. Küçük havza örnek uygulaması olarak (Jiang vd., 2021) Çin ‘de Temperate Monsoon havzası için tarihsel zaman periyodunda iklim parametrelerindeki değişim ve mavi ve su potansiyeli ilişkisini incelemiştir.

Bazı araştırmalar, sabit bir arazi kullanım modeli varsayarak, geçmiş zaman periyodu ve gelecek zaman periyodu için iklim değişikliğinin mavi ve yeşil su kaynakları üzerindeki etkisini analiz etmiştir (Yuan vd., 2019) küresel ısınmanın Yangtze nehir yatağı bölgesinde geçmiş ve gelecek zaman periyodunda mavi ve yeşil su kaynakları potansiyelini değerlendirmiştir. (Faramarzi vd., 2009) Canadian Global Coupled Model (CGCM) ve SWAT modelini kullanarak iklim değişikliğinin mavi ve su kaynakları üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Benzer bir uygulamayı (Chen vd., 2015) MPI-HM hidrolojik modeli ve Atmosphere-Ocean General Circulation Models (GCMs) iklim modeli ile Çin’de büyük ölçekli havza için uygulamıştır.

Türkiye’de yapılan uygulamalara örnek olarak, (Cüceloğlu, 2019) İklim değişikliğinin İstanbul’un yüzeysel su kaynaklarına etkisini tanımlamayı amaçladığı çalışmasında SWAT modelini ve GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR,

MIROC ve NoerESM1-M olmak üzere beş farklı küresel iklim modelinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına ait iklim verilerini kullanarak mavi ve yeşil su kaynaklarını tanımlamıştır.

2.2. Hidrolojik Modelleme

Geomatik teknolojilerinin veri temini ve modelleme sürecinde katkı sağladığı önemli başlıklardan biri olan hidrolojik modelleme süreçlerinde teknolojik gelişmeler ve ihtiyaçlar doğrultusunda pek çok model geliştirilmiştir. Literatürde yüzeysel sularının modellenmesi, yeraltı sularının modellenmesi, yüzey ve yeraltı sularını birlikte modellenmesini amaçlayan entegre modeller, ya da daha spesifik amaçlara hizmet edecek şekilde geliştirilmiş pek çok fiziksel model mevcuttur.

Havza modelleme süreçlerinde yaygın şekilde kullanılan modellerden bazıları şunlardır; US Department of Agriculture (USDA) tarafından geliştirilen ve yayılı kaynakları kirleticilerin simülasyonunda kullanılabilen AGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution Model) (United States Department of Agriculture (USDA), tarih yok), Apex ve SWAT modellerinin öncüsü olan ve nokta tabanlı çalışan EPIC (Environmental Policy Integrated Climate), EPIC'in yaygınlaştırılmış ve geliştirilmiş hali APEX (Agriculture Policy Environmental Extender) ve APEX ve EPIC'e göre daha hassas olan, noktasal ve yayılı kaynaklı kirleticilerin simülasyonunda kullanılabilen ve küçük tarımsal alanlar için uygun olan SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modeli yaygın kullanılan modellere örneklerdir (Texas A&M Agrilife Research, tarih yok). Illinois State Water Survey tarafından geliştirilmiş DWSM (Dynamic Watershed Simulation Model) ile yüzey ve yüzeyaltı akımını ve sediment ve nütrient taşınımını simüle edebilmektedir. Bir diğer yaygın şekilde kullanılan model Hec-GeoHMS (The Geospatial Hydrologic Modeling Extension) (The Hydrologic Engineering Center (HEC) , tarih yok) örnek olarak gösterilebilir.

2.2.1. Yüzeysel su kaynaklarının modellenmesi

Bu bölümde ağırlıklı olarak çalışmanın amacına uygunluğu ve ülkemizde uygulanabilirliği sebebiyle çalışmada kullanılmak üzere seçilen, yüzey sularının modellendiği eko-havza modeli olarak nitelendirilen SWAT modelinin literatürde yer alan örnek uygulamaları ve çalışmanın amacına benzeyen diğer havza modellerinin kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir.

Dünyada SWAT modelinin kullanıldığı örnek uygulamalardan bazıları şunlardır; çeşitli amaçlarla SWAT modeli kullanılmıştır. Nasr ve arkadaşları tarafından günlük total fosfor simülasyonu yapılmıştır (Nasr ve ark., 2007); Schuol ve arkadaşları(2008) Afrika’da mavi, yeşil su akışı ve yeşil su depolama miktarı kategorileri olmak üzere temiz su kaynaklarının erişilebilirliğini çalışmışlardır. İklim değişikliğinin su kaynaklarına olan etkilerini ele alan çalışmalara Schuol ve arkadaşları(2008)’in, Thomson ve arkadaşları (2005), Cüceloğlu (2019) gösterilebilir.

Onuşluel & Rosbjerg (2010) SWAT hidrolojik modelini kullanarak Danimarka’da yer alan Havelse havzasının akış rejimini belirlemeyi, akış rejiminin iklim değişikliğinin bölgesel su miktarına olan etkilerini tanımlamayı amaçlamışlardır. 6 adet akım gözlem istasyonu verisinin kullanıldığı çalışmada mevcut durumu modellerken günlük yağış verisi kullanılan model çıktısı, akım gözlem istasyonundan elde edilen verilerle doğrulanmıştır. İklim değişikliğine bağlı sıcaklık ve yağış bilgileri en kurak ve en yağışlı dönemler dikkate alınarak sezonsal ortalama değişim oranları kullanılarak günlük yağış bilgisi modifiye edilmiş, minimum ve maksimum değerler SWAT modeline girilmiştir. Aralık, ocak ve şubat ayı için, mart, nisan mayıs ayları için bir değer, haziran temmuz, ağustos ayları için bir değer ve eylül, ekim ve kasım ayları için ortalama yağış, minimum ve maksimum ortalama sıcaklık değerlerini temsil edecek bir değer girilmiştir. Çalışma sonucunda Havelse ve Grase nehirlerinin yıllık ortalama akımlarının %2,5 artacağı tespit edilmiştir.

Çerkasova ve diğ. (2016), yaptıkları çalışmada, Avrupa’nın en büyük karasal lagünü olan Curonian Lagünü’nde karşılaşılan ötrofikasyon sorununa çözüm üretmek amacıyla, SWAT modelini kullanarak lagünün hidrolojik modellemesini yapmışlardır. Kurulan model gelecekte; pesisit, sediment ve nütrient taşınımı için yapılacak modelleme çalışmalarının ilk aşaması olarak düşünülmüş; bölgenin su yönetimine katkı sağlamak amaçlanmıştır. Kurulan modele; yağış ve sıcaklık değişimine iyimser ve kötümser yaklaşımın uygulandığı iki potansiyel iklim değişikliği senaryosu uygulanmıştır (Özdemir ve Leloğlu, 2014).

Türkiye yapılmış örnek havza modeli uygulamaları incelendiğinde SWAT modeliyle ve diğer çeşitli havza modelleri ile yapılmış çalışma örnekleri mevcuttur. Bunlardan bazıları şunlardır;

Güzel (2010) SWAT modelini kullanarak Köyceğiz Dalyan Havzasında uygulayarak yüzey ve yeraltı suyunda nitrat taşınımını simüle etmişlerdir. Akıner (2012) su kütlesindeki tahmini alıkonum katsayısı kullanılarak Melen havzasına ait besin maddesi taşınım katsayılarının modellenmesini amaçladığı yüksek lisans tezinde, İstanbul ilinin içme suyu kaynağı olan Melen havzasında Azot (N), fosfor (P) gibi besin maddesi kirliliği parametrelerinin sudaki taşınımını ve dağılımını tanımlayan çalışma, ayrıca besin maddesi kirlilik kaynağı olan tarımsal alanlardan kaynaklanan besin maddesi yükünü azaltmak için uygulanabilecek tarımsal en iyi yönetim uygulamaları tespit edilerek değerlendirilmiştir. Havzadaki toplam azot (N) ve fosfor (P) yükünün birim alan ve birim zamana göre tahminsel standartlaştırılmış (örneğin kg/km²/gün) hali olan besin maddesi taşınım katsayısı modellenirken araştırma sahasına ait tarihsel su kalite verileri başta olmak üzere, arazi kullanımı, nüfus ve altyapı gibi etkenleri içeren istatistiksel veriler kullanılmıştır. Melen Havzası'na özgü besin maddesi taşınım katsayıları, Sıklıkçı (Frequentist) ve Bayesci yaklaşımları içeren bir modelle tespit edilmiştir. Nehir alıkonum katsayısı tespit edilmiş olup önemli bir değişken olarak modelin içinde yer almaktadır. Yayılı kaynak kirliliğinin modellenmesinde SWAT modeli kullanılmıştır. SWAT modeli kullanılarak Melen Havzası'ndaki besin maddesi yükünü azaltmak için uygulanabilecek tarımsal en iyi yönetim uygulamaları tespit edilip değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında daha önce SWAT modeli ile yapılmış bir çalışma olarak mevcut çalışmaya ışık tutan Göncü ve Güngör (2013)'ün Aşağı Porsuk Çayı Havzasında yaptıkları çalışmada; Model, 1978 – 2009 yılları arasında çalıştırılmış; SWATCup ile kalibre edilmiştir. Uygun su yönetimi stratejilerine karar verilmesi amacıyla yapılan çalışmada sulama sularının ve yeraltı sularının akım rejimini etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca uyguladıkları senaryo analizi ile; yağmurlama ve karıkla sulama gibi klasik sulama sistemlerinin yerine damla sulama sistemi uygulandığında akımların yılda %87 artacağını öngörmüşlerdir.

Özdemir ve Leloğlu (2014), iklim değişikliklerinin akımlar üzerindeki etkisini araştırmak ve sürdürülebilir bir havza yönetimi amacıyla Sarısu-Eylükler Nehri Havzası'nı SWAT ile modellemişlerdir. İklim verisi için; 2040 – 2049 yılları arasında HadCM3 GCM kullanılarak hidrolojik model kurulmuştur. Model sonuçlarına göre, iklim değişiklikleri nedeniyle, taşkın tehlikesi ve bölgenin ürün deseninin değişmesi söz konusudur. El-Sadek ve Irvem (2014), yaptıkları çalışmada, 3 farklı arazi örtüsü veri

setini kullanarak (CORINE, GLCC ve GlobCover) SWAT ile Seyhan Havzası'nın akım debisi ve sediment verimi modellemiştir.

Baloch (2011) Köyceğiz Havzası'nda havzanın hidrolojisi ve yayılı kaynaklardan gelen kirletici yükleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla BASINS havza yönetim modelini kullanmıştır. Orman alanlarının tarım alanı ve yapay alanlara dönüştürülmesiyle, iklim değişiklikleri için ilgili literatür değerleri baz alınarak yapılan yağış tahminleri modele girilmiştir. Yağış ve arazi kullanımında meydana gelen değişikliklerin, havzanın hidrolojik durumu ve kirletici yükler üzerindeki etkileri, çeşitli senaryolar oluşturularak incelenmiştir.

Gölpınar(2017) Çukurova Bölgesinde yer alan Aşağı Seyhan Ovası'nda Akarsu Sulama Birliği sahasını da içine alan 10487 ha'lık alana sahip tarımsal bir alanda SWAT modeli kullanılmıştır. Çalışmada, akım gözlem istasyonlarından elde edilen günlük akım verileri SWAT modeline entegre edilerek, havza çıkışındaki akımları tahmin etmek ve modelin tarımsal havzalara uygulanabilirliğini test etmek amaçlanmıştır. Model performans istatistiklerine göre, gözlenen ve simülasyon değerleri arasında iyi bir uyum olduğu görülmüş; SWAT model simülasyonlarının yeterli doğrulukta olduğu sonucuna varılmıştır. Kalibrasyon ve validasyonu yapılan model kullanılarak saha ölçümü olmayan alt havzalar için yüzey akışlar tahmin edilebilmiştir. Ayrıca, akım değerlerinin zamana bağlı grafiği irdelendiğinde, yağışların yoğun olduğu periyotlar ile baz akışın (sulama ile yağışın olmadığı yalnızca yer altı sularından gelen ve drenaj kanallarını besleyen sular) olduğu dönemlerde SWAT modelinin diğer dönemlere kıyasla iyi sonuçlar veremediği belirlenmiştir.

İmamoğlu (2017), Büyükçekmece Baraj Gölü havzasındaki su bütçesi bileşenlerinden, gerçek evapotranspirasyon, zemin nemi, potansiyel evapotranspirasyon, perkolasyon, taban akışı, toplam akış, yıllık yağış, yüzeysel akış ve kar erimesi değerleri ile bu değerlerin zamansal değişimleri ortaya konulmuştur. Tezde uygulanan model yardımıyla nüfus artışı, arazi kullanımı değişimi gibi nedenlerle gelecekte meydana gelebilecek farklı senaryoların su bütçesi üzerindeki değişimlerinin öngörülmesi için bir altyapı sağlanmıştır. İmamoğlu (2017), diğer çalışmalardan farklı olarak uzaktan algılama teknolojilerinin hidrolojik modelleme süreçlerine katkılarının tartışıldığı çalışmalarında Büyükçekmece havzasındaki farklı konumlardan alınan toprak örneklerinden toprak bileşenlerinden olan toprak nemi, kireç, pH, karbon, azot ve tuzluluk değerleri yapılan

analizler ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda bir uzaktan algılama teknolojisi olan radar verileri ile kesikli zamanlarda kısa bir dönem için modelleme yapılabileceği ancak hidrolojik modellemelerle uzun dönemler için sürekli olarak modelleme yapılabildiği, radar verileri ile sadece yüzeyin 5-20 cm derinliğine kadar veri üretilebilirken hidrolojik modellemelerle toprağın daha fazla derinlikleri ile ilgili bilgiler üretilebildiği vurgulanmıştır. Bununla birlikte uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak elde edilen veri ve bilgiler ile (özellikle topoğrafya ve arazi örtüsü/kullanımı) havza model yazılımına girdi olarak sunulan verilerin kalitesi artırılabilir ya da model çıktılarının validasyonun sağlanabileceği belirtilmiştir.

Paçal (2017), Ergene Nehri Havzası'nın hidrolojik ve su kalite modellemesini SWAT yazılımını kullanarak modellemiştir. Ergene Nehir Havzası yönetimini değerlendirmek amacıyla, dağılmış yüzey akışı ve kirlilik taşınımı modellenmiştir. 48 yıllık sürekli günlük iklim verisi, arazi kullanımı, toprak özelliği, ve kirletici noktasal kaynağı girdi verisi olarak kullanılan çalışmada, su kalite modellenmesi, SWAT veri tabanında yer alan su kalite parametreleri başlangıç değerlerini ayarlayarak bir yıl için elle-manuel kalibre edilmiştir. Toplam akış 31 yıl için doğrulanmıştır. Aylık toplam akış model sonucu, gözlenmiş toplam akış ile oldukça uyumlu olmuştur fakat günlük toplam akış ve nütrient model sonuçları kabul edilebilir seviyede çıkmıştır. Çalışma sonucunda daha iyi bir günlük kalibrasyon için daha çok veriye ihtiyaç olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, modelin aylık toplam akış ve su kalite kalibrasyonu için daha uygun olduğu tanımlanmıştır.

Altürk (2017), Trakya Bölgesi'nde geleceğe yönelik arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliği ile birlikte olası iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisini tanımlamayı amaçladığı çalışmada geleceğe yönelik arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliği tanımlamalarını CLUE-S modeli ile gerçekleştirmiştir. RegCM3 Bölgesel İklim Modeli (A2 senaryosu) çıktılarından gelecek dönem modelleri hazırlanmıştır. Arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliği ve iklim değişikliğinin araştırma bölgesinin bir alt havzası olan Bakırca Havzası'nın su bütçesine etkisi SWAT modeli ile belirlenmiştir. Sektörel su tahsisinin de tanımlanmasının amaçlandığı modelde WEAP modeli kullanılmıştır.

Jouma (2019), SWAT modelini kullanarak dereli ovasında yer alan sulak alan Sultan sazlığı bölgesinin alan kullanımı ve iklim değişimine bağlı olarak değişimini

değerlendirmiştir. Çalışmada geleceğe dönük iklim parametreleri RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre farklı küresel iklim modellerinin hata olasılığını azaltmak amacıyla 17 GCM'den elde edilmiştir.

Rahmanlar (2019), arazi kullanımı ve iklim verilerini dikkate alan ve buna bağlı olarak geleceğe yönelik akış ve kirlilik tahmini yapılmasının amaçlandığı çalışmada SWAT modeli üzerine şekillenen çalışmada gelecek yılların yağış ve sıcaklık değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kullanılan RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryoları ile ortaya konulmuştur. ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) modeli ile su kalitesi parametrelerinin geleceğe yönelik tahminlemesi yapılmıştır. IDRISI programında CA_Markov modeli kullanılarak 2030 yılı arazi örtüsü verisi üretilmiştir. Üretilen veri SWAT modeli girdisi olarak kullanılmıştır ve SWAT modeli ile 2030 yılı için hidrolojik model üretilmiştir. Tablo 2.1'de havza modellerinin kullanıldığı örnek çalışmalar ve kullanılan yöntemler özetlenmiştir.

Tablo 2.1. *Havza modellerinin kullanıldığı örnek çalışmalar*

Yazar	Çalışma Alanı	Metot	Spesifik Amaç	Ek Uygulama
(Güzel, 2010)	Köyceğiz Dalyan Havzası	SWAT	yüzey ve yeraltı suyunda nitrat taşınımını simüle edilmesi	
(Akıner, 2012)	Melen havzasına	SWAT	su kütleindeki tahmini alikonum katsayısı kullanılarak besin maddesi (N ve P)taşınım katsayılarının modellenmesini	Nehir alikonum katsayısı: Sıklıkçı (Frequentist) ve Bayesci yaklaşımları içeren bir model ile belirlenmiştir.
(Göncü ve Güngör, 2013)	Aşağı Porsuk Havzası	SWAT	uygun su yönetimi stratejilerine karar verilmesi	
(Özdemir ve Leloğlu, 2014)	Sarısu-Eylikler Nehri Havzası	SWAT	iklim değişikliklerinin akımlar üzerindeki etkisini araştırmak ve sürdürülebilir bir havza yönetimi	3 farklı arazi örtüsü veri setini kullanarak (CORINE, GLCC ve GlobCover) SWAT ile akım debisi ve sediment verimi modellemiştir.

Tablo 2.1. (Devam) Havza modellerinin kullanıldığı örnek çalışmalar

Yazar	Çalışma Alanı	Metot	Spesifik Amaç	Ek Uygulama
Gölpınar(2017)	Çukurova Bölgesi, Aşağı Seyhan Ovası	SWAT	modelin tarımsal havzalara uygulanabilirliğini test etmek	
İmamoğlu(2017)		SWAT	Su bütçesi	RADARSAT-1 verileri ile toprak bileşenlerinden olan toprak nemi arasındaki ilişkiye bakılmıştır.
Paçal(2017)	Ergene Nehri Havzası	SWAT	hidrolojik ve su kalite modellemesi.	
Altürk(2017)	Trakya Bölgesi'nde yer alan Saray, Çorlu, Çerkezköy, Muratlı ve Lüleburgaz ilçeleri arasındaki sıcak nokta (hot spot) bölgesi	SWAT	arazi kullanım/arazi örtüsü değişimlerini ve farklı senaryolara göre 2023, 2030, 2050 yılları için arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliğini belirlemek; sektörler arası su tahsisinin mevcut (2015) ve gelecekteki durumunu (2023-2030) belirlemek; taşkın riskine karşı duyarlı alanları belirlemek	CLUE-S WEAP
Jouma, 2019	Develi ovası, Sultan Sazlığı	SWAT	Arazi kullanımı-arazi örtüsü ve iklim değişiminin hidrolojik döngüye olan etkilerinin SWAT modeli ile tanımlanması.	MarkSim DSSAT

Tablo 2.1. (Devam) Havza modellerinin kullanıldığı örnek çalışmalar

Yazar	Çalışma Alanı	Metot	Spesifik Amaç	Ek Uygulama
Cüceloğlu(2019)	Marmara havzası, Melen Havzası, Sakarya Havzası İznik ve Sapanca Gölü Havzaları	SWAT	yüzeysel kaynaklarının potansiyelini ortaya koymak, iklim değişikliğinin mevcut su kaynaklarına olası etkilerini araştırmak ve su temin sistemini su arz ve talepleri ile birlikte iklim değişikliği senaryoları altında incelemek	su WEAP
(Rahmanlar, 2019)	Ergene Havzası	SWAT	arazi kullanımı ve iklim verilerine bağlı olarak geleceğe yönelik akış ve kirlilik tahmini yapılması	ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average) IDRISI-CA_Markov

2.3. Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü Değişikliği ve Modellenmesi

CBS'nin başlıca veri kaynaklarından biri olan Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ile mekansal ve zamansal değişimi tanımlanabilirken, tanımlanan değişim matematiksel algoritmalarla tanıtarak gelecek modellemesi de yapılması mümkündür. Çeşitli matematiksel modeller vardır. Bu bağlamda çalışma alanının özellikleri, matematiksel modelin ihtiyaç duyduğu veriler ve erişilebilen veriler tanımlanarak model seçimi yapılmalıdır. Alan kullanımının zamansal ve mekânsal değişimini belirlemeye yönelik geliştirilmiş çeşitli modeller mevcuttur. Geliştirilen modeller kullanım amacına göre farklılık gösterebilmektedir. Örnek olarak SLEUTH (USGS U. S., 2016) kentsel gelişimin modellendiği çalışmalarda kullanılmaktadır. Kentsel gelişimin modellenmesi için kullanılan diğer modeller şunlardır; Avrupa kıtası için geliştirilen ve kentsel alanlar için uygun olan MURBANDY (Monitoring Urban Dynamics) (EEA, 2002), kent ve kent çevresindeki değişimlerin modellenmesi için geliştirilen MOLAND (Monitoring Land

Use Changes) (DECETI, tarih yok), kentsel gelişim ve ulaşım için geliştirilmiş URBANSIM (Waddell, 2002).

Bu modellere ek olarak, daha esnek yapıda zamansal ve mekansal değişimi belirlemeye yönelik modeller de mevcuttur. Arazi kullanımı –arazi örtüsü değişiminin özellikle ekosistem karbon döngüsü üzerine etkilerini değerlendirmek için geliştirilen LUCAS (Land Use and Carbon Scenario Simulator) (USGS U. S.), Tom Veldkamp ve Louise Fresco tarafından 1996 yılında yayınlanan ardından Wageningen Üniversitesi tarafından geliştirilen CLUE (Conversion of Land Use and its Effects) modeli ülkelerarasal ölçekte çalışmalarda kullanılmak üzere uygun bir modeldir. Grid bazlı olan model 7x7 km - 32x32km mekansal çözünürlüğe sahiptir. Bu model daha sonra farklı amaçlarla geliştirilerek türetilmiştir. Geliştirilen modellerden biri de yerel ve bölgesel ölçeklerdeki çalışmalar için uygun olan CLUE-S (Conversion of Land Use and its Effects at Small Regional Extent) modelidir. Grid bazlı olan modelin mekansal çözünürlüğü 1x1 km'dir (WUR). Bu modellerle geleceğe yönelik mekansal değişiklikler karar vericiler tarafından tanımlanan ekonomik, sosyal ve politik kararları içeren senaryo analizleri doğrultusunda şekillenmektedir. Karar verme problemlerinde belirsizliklere ilişkin olaylarla sıkça karşılaşmaktadır. Bu belirsizlik genelde, doğal olayın belirsizliğinden veya temel değişkenin akla gelmeyen değişim kaynağından ortaya çıkmaktadır. Markov Zincirleri (Markov Chain), tanımlanan sınıflar için önceki duruma ve geçiş olasılığına bağlı olarak gelecekteki değişiklikleri tahmin etmektedir. Markov modeli ile arazi kullanım sınıflarının değişiminin tahmin edilmesinin yanı sıra, sınıfların birbirleri arasındaki geçiş oranını ölçmek için de kullanılmaktadır. Markov zinciri, sınıfların dağılımı ve tanımlanan zamana bağlı olarak sınıfların değişikliklerini geçiş matrisi ve olasılıkların tahminine dayanarak tahmin etmektedir. Hidrolojik modelleme süreçlerinde önemli bir girdi olan farklı senaryolar doğrultusunda modellenen arazi kullanımı – arazi örtüsü modellerinin kullanıldığı örnek çalışmalardan bazıları şunlardır;

Zhou ve arkadaşları (2013), arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişimlerinin hidrolojik tepkilerini ölçmeyi amaçladıkları çalışmalarını Yangtze nehir deltasında, Çin'de hızla şehirleşmenin gerçekleştiği bir bölgede gerçekleştirmişlerdir. Çalışılan havzada kentsel alan 1985 yılında 37.8 km² iken 2008 yılında 105 km²'ye çıkmıştır. SWAT modelinin kullanıldığı çalışmada akarsu debisi, arazi örtüsü ve arazi kullanımı kullanılarak simüle edilmiştir. Çalışma sonucunda yüzey akışının kentleşmeden

etkilendiği, sel ve fırtına ihtimalinin arttığı, kentleşmenin su geçirmez alanları artıracağından yıllık su verimi üzerine küçük etkisi olacağı söylenirken yüzey akışı, pik debi ve taşkın hacminde dikkate değer bir artış olacağı tanımlanmıştır. Bölgede kentsel gelişmeyi planlarken sel baskını riskinin önlenmesi için su kaynaklarının yönetiminin önemine vurgu yapılmıştır.

Altürk (2017) tarafından yapılan ve Trakya bölgesinde arazi kullanımının su kaynaklarına olan etkilerini inceleyen çalışmada SWAT modeli kullanılmaktadır. Ülkemizde SWAT ile yapılan çalışmalar kapsamında, diğer çalışmalardan farklı olarak arazi örtüsünün geleceğe dönük modellemesini de sürece katan çalışmada Clue-s modeli kullanılmıştır. Çalışma ile ilgili daha ayrıntılı bilgi SWAT modeli ile yapılan literatür çalışmaları kapsamında verilmiştir.

Rahmanlar (2019), arazi kullanımı ve iklim verilerini dikkate alan ve buna bağlı olarak geleceğe yönelik akış ve kirlilik tahmini yapılmasının amaçlandığı çalışmasında IDRISI programında CA_Markov modeli kullanılarak 2030 yılı arazi örtüsü verisi üretilmiştir. Üretilen veri SWAT modeli girdisi olarak kullanılabilmiştir

2.4. Hidrolojik Modellerde İklim Modelleri

İklim modelleri, gelecek zaman dilimleri için iklimin tahmin edilmesin için geçmiş ve mevcut durumlar dikkate alınarak belli bir süre sonraki iklim şartları tanımlanmaya çalışılmaktadır. Hidrolojik modellerde ihtiyaç duyulan başlıca kriterlerden biri de iklim verileridir. Gelecekteki iklimin tahmin edilmesinde GCM kullanılmaktadır. Bu modeller sayesinde gelecekteki iklimin etki analizleri tanımlanabilmektedir. Birçok kurum ve kuruluş tarafından hazırlanmış iklim modelleri bulunmaktadır. SWAT programı esnek yapısı ile bu modellerin çıktıları ile entegre olarak çalışabilmektedir. Genel olarak günlük bazda hava sıcaklığı (minimum ve maximum değerler) ve yağış değerleri hesaplanan bu iklim değişikliği modellerinde tarihsel veri ve gelecek verisi mevcuttur. Ayrıca her veri setinde ise farklı emisyon senaryoları mevcuttur. Bu modeller ve veri setleri ile ilgili çalışma alanı için geleceğe ait senaryolar geliştirilebilmektedir (Hannah, 2015).

Eko-hidrolojik bir model olarak tanımlanan SWAT modeli kullanılarak iklim modelleme çıktılarının kullanılarak geleceğe dönük hidrolojik model oluşturan çalışmalar mevcuttur. Shrestha ve arkadaşları (2017), sürdürülebilir su kaynakları yönetimi bağlamında su miktarı ve su kalitesi planlaması için iklim parametreleri ve arazi

kullanımının değerlendirilmesinin önemini vurguladıkları çalışmalarında gelecek iklim koşulları ve arazi kullanımı etkilerinin havza akış ve besin yüklemesi özelliklerine olan etkilerini Güney Avustralya’da yer alan Mediterranean havzasında modelleyerek tanımlamışlardır. Altı farklı GCM ve 2 RCP altında çalıştırılmıştır. Yıllık ve sezonluk su miktarı ve arazi kullanımından kaynaklı besin yükü değişimleri modellendiğinde, senaryolar sonucunda azalan akış yaz aylarında besin zenginleşmesine sebep olacağı belirtilmiştir. Bu durum ağırlıklı olarak arazi kullanımından kaynaklanırken, içme suyu kaynaklarında alg patlamasına neden olabileceği belirtilmiştir.

Jouma (2019), MarkSim DSSAT meteorolojik veri dosyası oluşturucu (MarkSim DSSAT weather file generator) kullanarak SWAT için meteorolojik veri serileri oluşturmuştur. Uluslararası Tropikal Tarım Merkezi (International Center for Tropical Agriculture-CIAT) tarafından geliştirilen MarkSim. Mahsul modellemesi ve risk değerlendirmesi için yerel ölçeğe indirgenmiş iklim verilerini elde etmek için kullanılan bir modeldir (van de Steeg vd., 2009). IPCC tarafından GCM’ler kullanılarak geliştirilen iklim senaryoları için hem stokastik yağış simülatörü hem de iklim tiplemesi kullanan mekânsal boyutta basit bir enterpolasyon modeli olduğu (Alıntıl原因 Jouma, 2019; alıntıl原因 (Jones & Thornton, Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modelling applications, 2013), yağışın bir günde meydana gelme ihtimalini öngören üçüncü dereceden bir Markov yağış simülatörü olduğu (Alıntıl原因 Jouma, 2019; alıntıl原因 (Jones & Thornton, MarkSim: software to generate daily weather data for Latin America and Africa, 2000) belirtilmektedir. İlgili model ile SWAT modeli için 17 modelden RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları seçilerek günlük yağış, maksimum ve minimum sıcaklık ve güneş radyasyonu girdi dosyaları üretilmiştir. Birden fazla model çıktısının birlikte kullanılması modellerin doğruluğunu artırmaktadır.

Liu, vd.(2020) çalışmalarında SWAT modeli ile Kaliforniya bölgesinde iklim değişikliğinin yüzey suyuna olan etkisinin tanımlanmasının amaçlamışlardır. Dört farklı iklim modeli HadGEM_ES, CNRM-CM5, CanESM2 ve MIROC5) ve iki RCP’nin karşılaştırıldığı çalışmada ısınan iklim sebebiyle yağış-yüzey akışı sezonundaki artışın 2-4 ay daha önce olacağı, gelecekteki yüksek akışların geçmiş tarihli akışların 3-8 katı olacağı, RCP 8.5 senaryosunda karın, yüksek rakımlarda daha hızlı azalacağı tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın materyali bölümünde çalışma alanının özellikleri ve yöntemin uygulanması sürecinde kullanılan veri kaynakları tanımlanmıştır. Ardından çalışmanın yöntemi açıklanmıştır.

3.1. Çalışma Alanı

Bu bölümde çalışma alanı Porsuk Havzasının fiziksel coğrafyası ve demografik ve ekonomik durumu açıklanmıştır.

3.1.1. Fiziksel coğrafya

3.1.1.1. Havzanın konumu ve tanımı

Porsuk nehri havzası, Sakarya Nehrinin bir alt havzasını oluşturmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Kütahya ve Eskişehir illerinden geçerek Sakarya'ya ulaşmaktadır. 11325 km² 'lik bir alana sahiptir. Havzanın en önemli akarsuyu yaklaşık 460 km uzunluğundaki Porsuk çayıdır. Porsuk havzasını drene eden Porsuk çayı, Kütahya'nın Murat dağı eteklerinden doğmaktadır. Kütahya'yı geçtikten sonra Eskişehir ili sınırlarına İncesu Köyü'nün kuzey batısında yer alan Kalburcu Çiftlikleri mevkiinde dahil olan Porsuk çayı, önce Kunduzlar Çayını sonra Kargın Deresi'ni alır. Orman fidanlığından sonra eğimi Sakarya'ya karışincaya kadar azalır. Sarısu'yu alarak batı-doğu yönünde şehrin ortasından akmaya devam eder. Kent merkezinden sonra Sakarya'ya karışincaya kadar Porsuk'a katılan kollar kısa, debisi zayıf ve önemsizdir. Bunların birkaçı hariç tamamı ovanın kuzey ve güneyindeki yükseltilerden inen geçici sulardır. Kent merkezini geçtikten sonra Şeker Fabrikası Çiftliğinden Keskin-Muttalıp derelerini alır. Sakarya'ya kavuşmadan önce İlören kuzeyinden sağdan Sivrihisar dağları içinden gelen Pürtek Çayını da alarak Sazılar mevkiinde Kıranharmanı köyü yakınlarında 676 metre kotunda Sakarya nehrine dökülür (Güngör, 2011). Porsuk çayı, içme, kullanma amaçlı ve sanayide kullanılmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin de olduğu bölgede sulama suyu amacıyla ve balıkçılık, rekreasyon vb. çeşitli amaçlarla da kullanılmaktadır. Kullanılan evsel, endüstriyel ve tarımsal atıksular Porsuk çayına tekrar deşarj edilmektedir (Bakış, ve diğerleri, 2011). Havzanın en önemli yapısı havzayı ikiye bölen Porsuk barajıdır. Eskişehir ilini taşkından korumak, Eskişehir ve alpu ovasının sulanması ve içme-kullanma suyu temini amaçlı kurulan barajın 1966 yılında yapımına başlanmış ve 1972 yılında tamamlanmıştır. Ek olarak Musaözü, Sarıyar, Gökçekaya ve Dodurga barajları da tarım alanlarını sulamak için kullanılmaktadır (Anonim, 2016).

3.1.1.2. Toprak yapısı

Çalışma alanının büyük bir bölümünü içeren Eskişehir ili topraklarının büyük bir kısmı İç Anadolu Bölgesinin Yukarı Sakarya Bölümünde yer alır. Orta derecede yüksek sayılabilen dağlar görülür. Başlıca düzlükler Porsuk Çayı ile Sakarya Vadisinin yukarı çevresinde bulunmaktadır. Dağlar ve ovalar arasında dik vadi yamaçlarının yardığı hafif dalgalı yaylalar bulunur. Sakarya Vadisi sarp kısmı incelmış, geniş yüzü doğuya dönük bir yarımada gibi il topraklarını kuşatır. Yarımada ortasında Sakarya'ya ters yönde (Batı-Doğu) akan Porsuk Çayı vadisi geçmektedir. Porsuk ile Sakarya'nın yukarı kısmı arasında da Sivrihisar kütlesi yer alır. Batıda Bozdağ ile devam eden Sündiken Dağları vardır. Bu dağların metamorfik sişt ve mermerleşmiş kireç taşından oluşmuş bir ekseni vardır. Sivrihisar kütlesi Güneydoğu-Kuzeybatı doğrultusunda uzanır. Kütahya sınırı üzerinde Türkmen Dağı, güneybatıda ise Bayat yaylası yer alır. En önemli düzlüğünü Porsuk Çayı boyunca doğuya, Sarısu vadisi boyunca batıya doğru uzanan Eskişehir ovası oluşturmaktadır (Güngör, 2011).

Toprakların % 10.74'ü derin, % 16.70'i orta derin, % 65.33'ü sığ ve çok sığ topraklardan oluşmaktadır. Etüdü yapılan 1.298.023 hektar arazinin % 15,1'i düz, % 16,2'si hafif eğimli, %24,1'i orta eğimli , % 21,9'u dik, %19'u çok dik ve % 3,7'si sarp olarak tanımlanmıştır. 258.809 hektar arazide orta derecede, 280.925 hektar arazide şiddetli erozyon ve 565.613 hektar arazide çok şiddetli su erozyonuna maruz bulunmaktadır. Eskişehir ilinde tespit edilmiş 8 adet toprak grubu vardır. Buna göre, % 44,8 ile en fazla kahverengi topraklar, % 26.36 ile kahverengi orman toprakları ve % 12.70 ile kalkersiz kahverengi orman toprakları bulunmaktadır (Anonim, 2016).

3.1.1.3. Arazi örtüsü ve arazi kullanımı

Çalışma alanında derin ve orta derin toprakların olduğu tarımsal faaliyetleri kısıtlayıcı faktörler yoktur. Karasal iklime sahip olan Eskişehir çevresinde daha çok tahıl (Buğday, Arpa) ile Şeker Pancarı tarımı uygulanırken, Sakarya Vadisi ve Mihalgazi İlçelerinde mikroklima bölgeleri bulunmaktadır. Açıkta ve örtü altında sebzecilik ve seracılık faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Çalışma alanının büyük bir bölümünü tarım arazileri ve mera alanlar takip etmektedir (Güngör, 2011; Anonim, 2016). Çalışma alanına ait arazi kullanımı ile ilgili bilgiye 3.2.2 Arazi örtüsü / arazi kullanımı başlığı altında yer verilmiştir.

3.1.1.4. İklim

İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan çalışma alanı, yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve yağışlıdır. Karasal iklim özelliğine sahip olan çalışma alanında Ege ve Marmara bölgelerine yakınlığı nedeniyle bu bölgelerin iklim etkileri de hissedilmektedir. Genellikle Eskişehir'de kışlar parçalı bulutlu, kar yağışlı, baharlar orta derecede yağışlı, yazlar ise az bulutlu ve açık geçer (Anonim, 2016; Anonim, 2020).

3.1.1.5. Demografik ve sosyo-ekonomik yapı

Nüfus bilgisi ve değişim dinamiği, ekonomik gelişme sürecinin en temel belirleyeni olarak arazi kullanımının değişimi, su kaynaklarının kullanılma miktarı gibi hidrolojik döngüye dolaylı etkileri olan bir parametredir. Çalışma alanının modellendiği mevcut duruma göre Eskişehir ili nüfusu 2012 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) nüfus sayım sonuçlarına göre 789.750 kişidir. Türkiye genelinde nüfusu artan bölgelerdir. Şehirleşme oranının yüksekliği ile dikkat çeken Eskişehir'de 2012 yılında nüfusun yüzde 90'ı şehirde, geriye kalan %10'luk kısmı kırsal bölgede yaşamaktadır (Dağdemir, 2013). Eskişehir ilinin şehirleşme oranı, yıllık nüfus artış hızı, kişi başına gayri safi yurtiçi hâsıla ve sanayi iş kolunda çalışanların toplam istihdama oranları Türkiye ortalamalarının üstündedir. Tarım kolunda çalışanların toplam istihdama oranı Türkiye ortalamasının altındadır. Eskişehir'de mevcut sanayi içinde Metal ve Makine İmalat Sanayi ön plandadır (Anonim3, 2019). Murat Dağından doğan Porsuk nehri hem tarımsal hem evsel ve hem de endüstriyel kullanımlarla tüketilmektedir. Bir takım su yapılarının gerçekleşmesi ile Porsuk su potansiyeli daha verimli kullanılmaya çalışılan Porsuk havzasında su kirliliği konuları öne çıkmaktadır (Büyükerşen & Efelerli, 2008).

3.2. Verilerin Toplanması ve Analizi

Çalışmanın bu aşamasında tez kapsamında kullanılan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) bilgisi, arazi kullanımı haritası, toprak haritası, ait akım gözlem istasyonlarına ait bilgileri gibi çalışmada kullanılan veriler ve kullanılan yazılımların kaynakları ve kullanıldığı aşamalar açıklanmıştır. Tablo 3.1'de çalışmanın materyalleri, kaynakları ve kullanıldığı aşamalar verilmiştir.

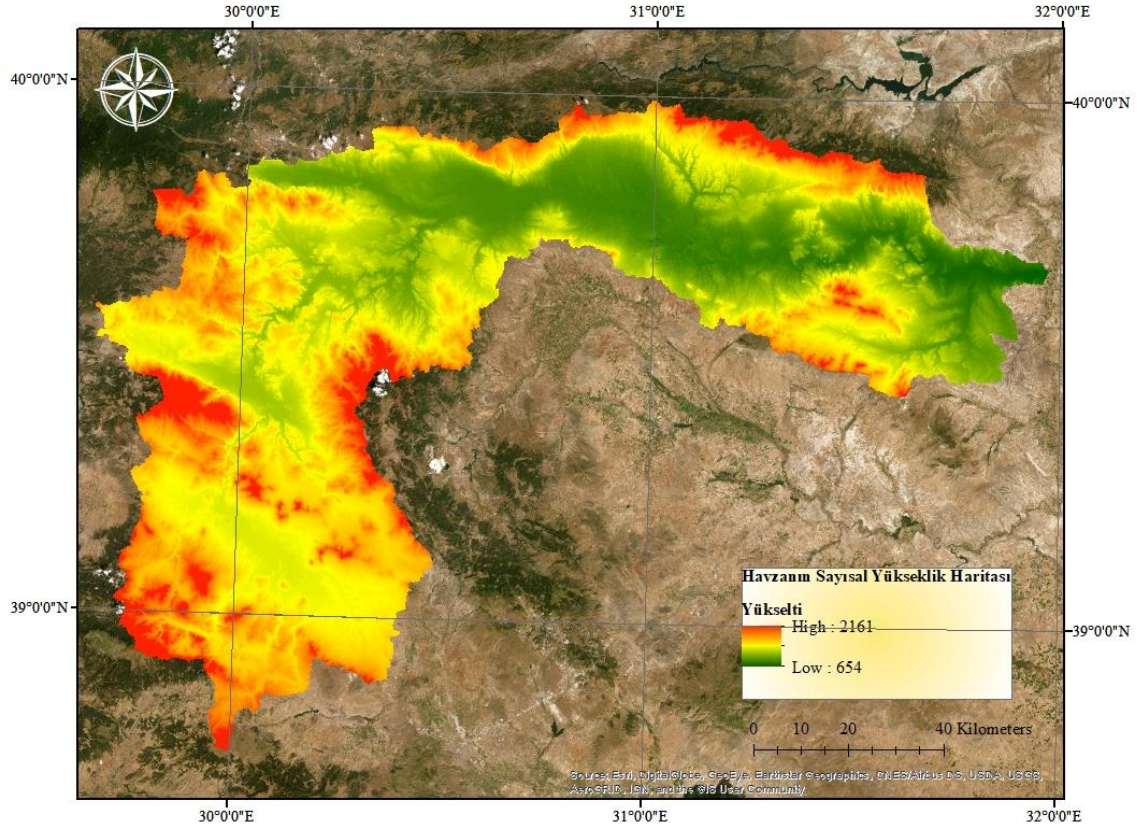
Tablo 3.1. Çalışmanın materyalleri

Veri adı	Kaynağı	Kullanıldığı aşama
Sayısal Yükseklik Verisi	ASTER DEM (http-1)	Hidrolojik modelleme
Arazi örtüsü	CORINE (2012;2006;2000;1990)	
Toprak verisi	FAO Digital Soil Map of the World (DSMW)	
Meteorolojik veriler (Günlük)	The National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)	
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Center -Water Weather Energy Ecosystem Technology and Data	
Akım gözlem istasyon verileri(Günlük)	DSİ (Devlet Su İşleri) Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE)	
Yazılım adı	Kaynağı	Kullanıldığı aşama
Arcmap 10.5.1	Eskişehir Teknik Üniversitesi	Veri sayısallaştırma, veri entegrasyonu ve modelleme aşamaları
ArcSWAT	Teknas A&M Üniversitesi	Yüzey sularının modellenmesi
IDRISI TerrSet	Clark Labs, Clark University	Markov zinciri analizi ile arazi kullanım modelleme süreçleri
Climate Change Toolkit (CCT)	Water Weather Energy Ecosystem Technology and Data	HadGEM2-ES küresel modeline göre gelecek (RCP4.5(2010-2099 yılları arası), ve RCP8.5 (2010-2099 yılları arası)) koşulları yağış ve sıcaklık verilerinin temini ve parametrelerin incelenmesi

3.2.1. Sayısal yükseklik modeli

Uydu verileri ile üretilen sayısal yükseklik modelleri (SYM) kullanılarak yeryüzü eğimi, yükseklik farkı gibi morfolojik parametreler elde edilebilmektedir. Böylelikle havza sınırları, drenaj yoğunluğu gibi hidrolojik modelleme süreçlerinde önemli olan bilgiler üretilmektedir (Sreekesh, 2014). Sayısal yükseklik verisi National Aeronautics and Space Administration (NASA)'nın Earth Observing System (EOS) çalışması kapsamında üretilen 30 metre çözünürlüklü Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) uydu verisi kullanılmıştır(http-1). Bu veri

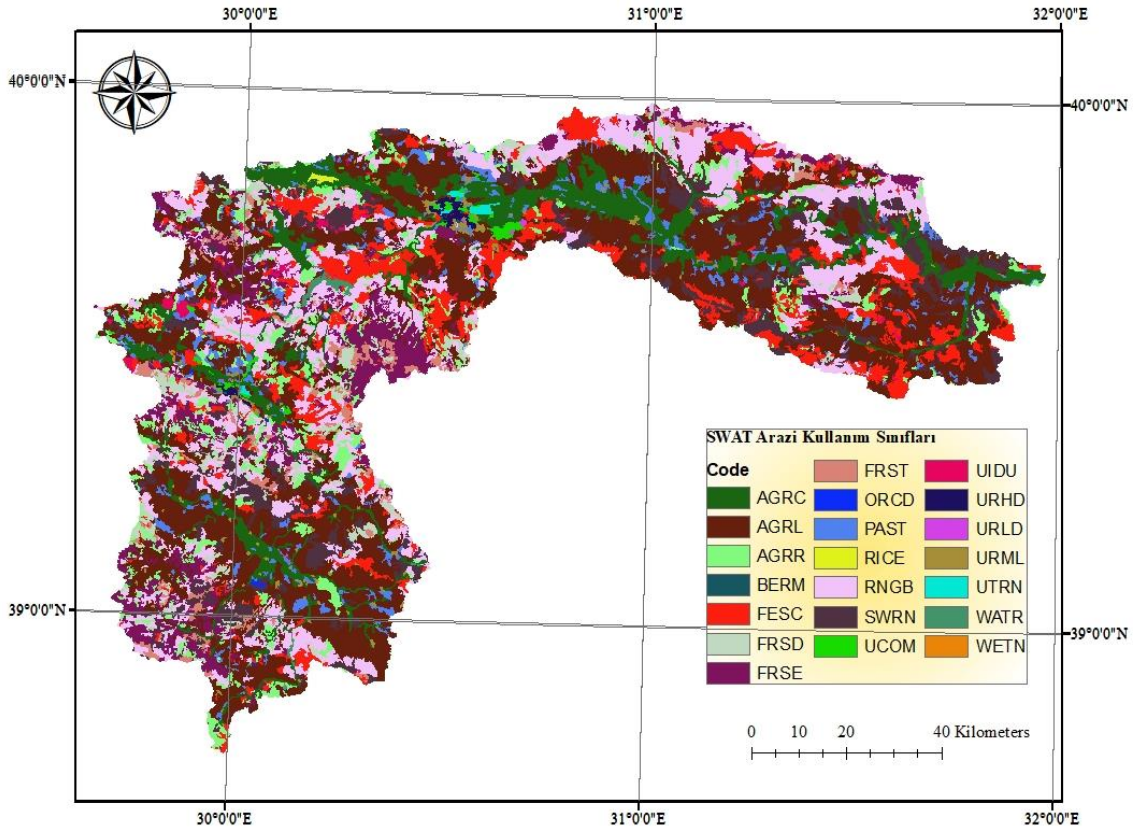
kullanılarak ArcSWAT programında havza sınırları çıkarılmıştır. Çalışma alanına ait SYM Şekil 3.1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.1. Çalışma bölgesi havzanın sayısal yükseklik haritası

3.2.2. Arazi örtüsü / arazi kullanımı

Arazi kullanımı-arazi örtüsü bilgisi Copernicus Land Monitoring Service tarafından üretilen 100 metre çözünürlüklü CORINE (Coordination of Information on the Environment) land cover verileri kullanılmıştır (Copernicus Land Monitoring Service , tarih yok). Çalışmada 1990, 2000, 2006 ve 2012 yılı arazi örtüsü verileri kullanılmıştır. Corine verisinin arazi örtüsü kodları SWAT modelinin arazi kullanım tanımlamalarına göre tanımlanarak girdi verisi olarak kullanılmaya hazır edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Arazi kullanımı haritası

Corine verisi elde edilen havza sınırlarına göre kesildikten sonra CORINE verisi tanımlamaları SWAT arazi kullanımı tanımlamalarına benzeyecek şekilde sınıflandırılmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Arazi kullanım verisi kodları

CORINE kodu	CORINE Açıklaması	SWAT kodu	SWAT kullanım anlamı	arazi kodu	SWAT arazi kullanım sınıfları
111	Continuous urban fabric	URHD	Urban High Density		Sürekli Kentsel Doku
112	Discontinuous urban fabric	URML	Urban Medium Density		Sürekli Kentsel Doku
121	Industrial or commercial units	UCOM	Urban Commercial		Sanayi, Ticari Alanları

Tablo 3.2. (Devam) Arazi kullanım verisi kodları

CORINE kodu	CORINE Açıklaması	SWAT kodu	SWAT kullanım anlamı	arazi kodu	SWAT arazi kullanım sınıfları
122	Road and rail networks and associated land	UTRN	Urban Transportation		Karayolu, Demiryolu ve İlgili Alanlar Ve Hava Limanları
124	Airports	UTRN	Urban Transportation		Karayolu, Demiryolu ve İlgili Alanlar Ve Hava Limanları
131	Mineral extraction sites	UIDU	Urban Industrial		Maden Çıkarma Alanları
132	Dump sites	RNGB	Range Shrubland		Orman-Çalılık Geçiş Alanları
133	Construction sites	URLD	Residential, density	low	İnşaat Alanları
141	Green urban areas	BERM	Bermuda Grass		Kentsel Yeşil Alanlar
142	Sport and leisure facilities	FESC	Tall Fescue		Doğal Otlak Alanlar ve Sert Yapraklı Bitki Örtüsü
211	Non-irrigated arable land	AGRL	Agricultural Generic	Land-	Karışık Tarımsal Alanlar
212	Permanently irrigated land	AGRC	Small Grains		Sürekli Sulanan Alanlar
213	Rice fields	RICE	Rice		pirinç
221	Vineyards	GRAP	Vineyard		Üzüm bağı
222	Fruit trees and berry plantations	ORCD	Orchard/Olive		Meyvelik
231	Pastures	PAST	Pasture		Çayırlar ve Meralar
242	Complex cultivation patterns	AGRL	Agricultural Generic	Land-	Karışık Tarımsal Alanlar
243	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	AGR	Row Crops		Doğal Bitki Örtüsü İle Bulunan Tarım Alanları
311	Broad-leaved forest	FRSD	Deciduous Forest		Geniş Yapraklı Ormanlar
312	Coniferous forest	FRSE	Evergreen Forest		İğne Yapraklı Ormanlar

Tablo 3.2. (Devam) Arazi kullanım verisi kodları

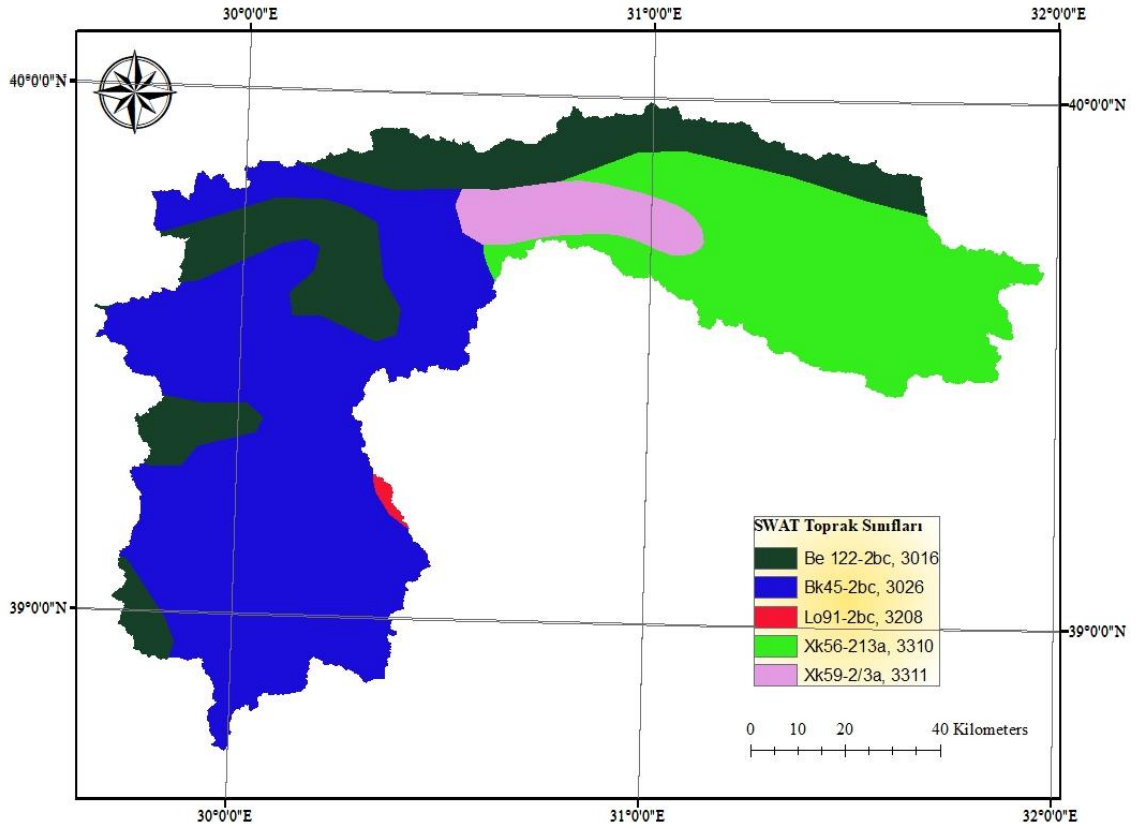
CORINE kodu	CORINE Açıklaması	SWAT kodu	SWAT kullanım anlamı	arazi kodu	SWAT arazi kullanım sınıfları
313	Mixed forest	FRST	Forest-Mix		Doğal Otlak Alanlar ve Sert Yapraklı Bitki Örtüsü
321	Natural grasslands	FESC	Tall Fescue		Doğal Otlak Alanlar ve Sert Yapraklı Bitki Örtüsü
323	Sclerophyllous vegetation	FESC	Tall Fescue		Doğal Otlak Alanlar ve Sert Yapraklı Bitki Örtüsü
324	Transitional woodland-shrub	RNGB	Range Shrubland		Orman-Çalılık Geçiş Alanları
332	Bare rocks	SWRN	South Western Range-Bare Rock		Seyrek Bitki Örtüsüyle Kaplı Alanlar
333	Sparsely vegetated areas	SWRN	South Western Range-Bare Rock		Seyrek Bitki Örtüsüyle Kaplı Alanlar
411	Inland marshes	WETN	Emergent/Herbaceous Wetlands		sulak alanlar
512	Water bodies	WATR	Water		Su Kütleleri

3.2.3. Toprak haritası

Food and Agriculture Organization (FAO) Digital Soil Map of the World (DSMW) verisinin kullanıldığı çalışmada çalışma alanı sınırlarında yer alan toprak verisi genel bilgileri Tablo 3.3'te verilmektedir. SWAT girdisi haline getirilen toprak verisinin haritası Şekil 3.3'te görüldüğü gibidir.

Tablo 3.3. FAO toprak verisine göre toprak sınıfı bilgileri

FAO Toprak Verisi Kodu	Vejetasyon	Litoloji
Be 122-2bc	Orman; tarla bitkileri; açık mera	Şist; kireçtaşı şist
Bk45-2bc	Orman; tarla bitkileri; açık mera	Şist; kireçtaşı marn
Lo91-2bc	Orman; açık mera	Andezit; granit; şist
Xk56-213a	Tarla bitkileri; açık mera (meyve bahçeleri)	Kil; marn; kalker
Xk59-2/3a	Tarla bitkileri; açık otlak	Silt-kil çökeltisi



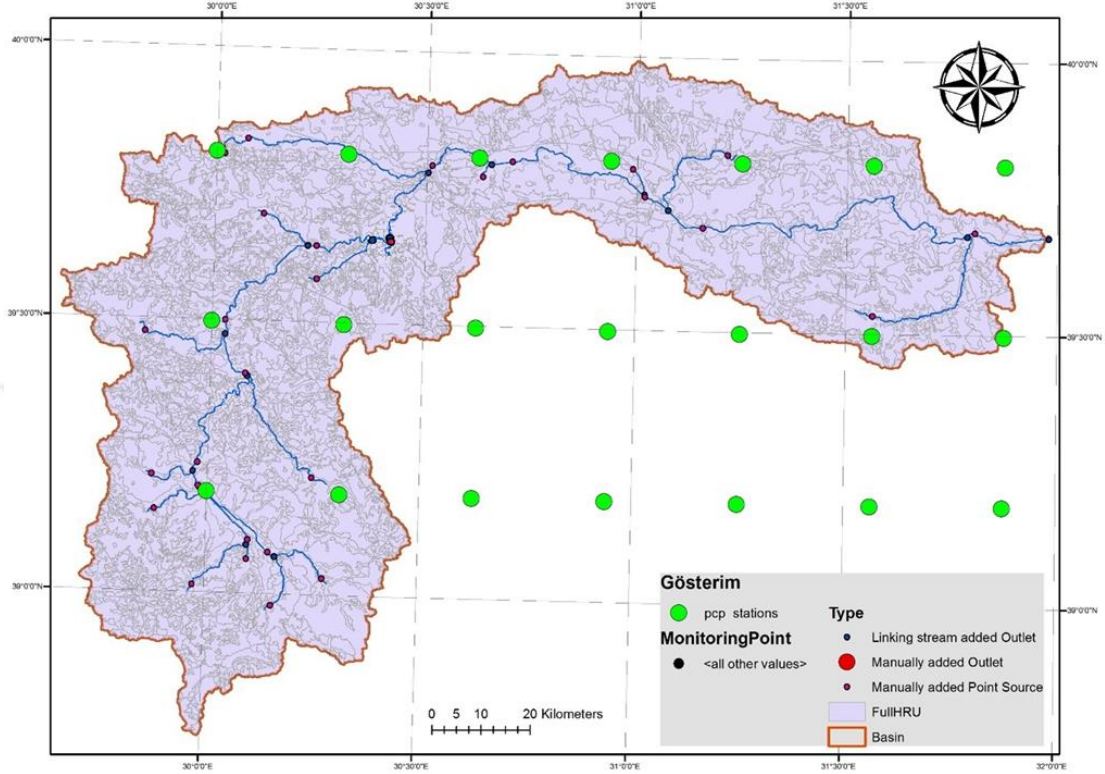
Şekil 3.3. Toprak sınıfları haritası

3.2.4. İklim verileri

Çalışmada iki farklı veritabanından iklim verisi kullanılmıştır. 1979-2013 yılları zaman periyodu için eksiksiz veri sağlayan ve çalışma alanı genelini homojen bir şekilde temsil eden Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) verisi kullanılmıştır. 2014-2099 yılları zaman periyodunu içeren geleceğe dönük iklim modellemesi sürecinde Met Office Hadley Center Enstitüsü tarafından üretilen GCM2-HadGEM2-ES modeli için RCP (4.5 ve 8.5) senaryoları çıktı verileri kullanılmıştır.

Global Weather Data for SWAT isimli web sayfasında NCEP CFSRSWAT formatında meteorolojik verileri 1979 yılından itibaren 2014 yılına kadar günlük olarak sağlamaktadır ((CFSR), 2019). SWAT2012 konumsal veritabanına tanıtılan meteorolojik parametrelerden yağış, solar, rüzgar, maksimum ve minimum sıcaklık, nisbi nem bilgileri girilerek iklim bilgileri modele tanıtılabilmektedir. İlgili çalışma alanı ve çevresinde 21 adet istasyon tespit edilmiştir. İstasyon dağılımları Şekil 4.4'te görüldüğü gibidir. Modele girdi sağlayan Global Weather data istasyon konumları fiziksel olarak gerçek değildir. Grid yapıda konumlandırılan bu istasyon bilgileri veri asimilasyon teknikleri ile alanda

bulunan mevcut istasyonlardan ve uydu verilerinden elde edilen bilgilerden üretilmektedir. Böylece çalışma alanı genelinde iklimin gerçeğe en yakın şekilde modellenmesine katkı sağlanmaktadır (Dile & Srinivasan, 2014; Saha, vd., 2010).



Şekil 3.4. Çalışma alanında tanımlanan istasyonların konumları

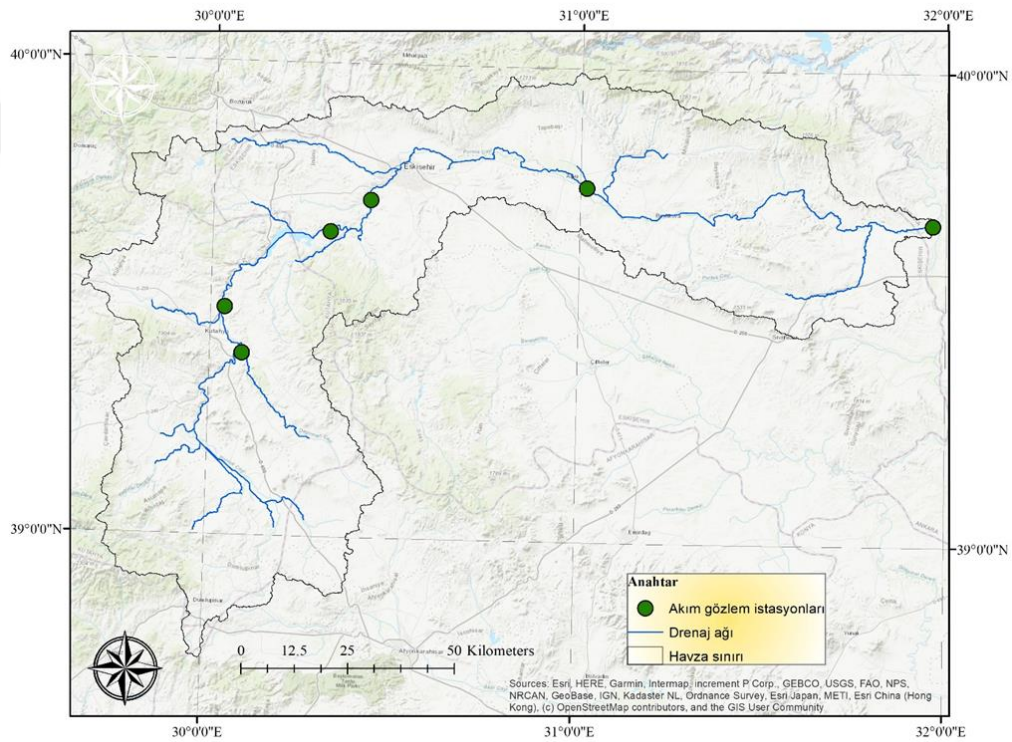
Geleceğe dönük iklim modellemesi sürecinde Met Office Hadley Center Enstitüsü tarafından üretilen GCM2-HadGEM2-ES modeli için RCP (4.5 ve 8.5) senaryoları çıktı verileri günlük yağış ve maksimum-minimum yağış bilgileri kullanılmıştır. Tez başlığı 3.3.3'te iklim senaryoları ve iklim değişikliği etkilerinin modele yansıtılması hakkında bilgi verilmiştir.

Tez kapsamında erişilebilen küresel iklim modellerinin çıktılarında yalnızca yağış, minimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık verilerinin bulunması nedeniyle potansiyel evapotranspirasyon hesabı için Hargreaves metodu kullanılmıştır.

3.2.5. Akım gözlem istasyon verileri

Çalışma alanında DSİ (Devlet Su İşleri) ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) tarafından işletilmiş Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) yer almaktadır. Modelin kalibre edilmesi için 6 farklı akım gözlem istasyonunun verileri kullanılmıştır. Ancak her istasyon için tüm zaman aralıkları için eksiksiz veri bulunması mümkün

olmayabilmektedir. Bu nedenle akım bilgisinin kalibrasyonu için çalışma alanı homojen bir şekilde kalibre edebilmek amacıyla akım gözlem istasyonları Yeşildon, Kıranharmanı, Eşenkara, Porsuk Baraj Çıkışı, Kütahya Yenibosna Çalça ve Porsuk Çiftliği istasyonlarının aylık akım verileri modelleme yapılan yıllar arasında, arazi örtüsü bilgisi yılına uyumlu olması gözetilerek ve sürekli veri temin edilebilen zaman aralıklarına göre belirlenmiştir. Şekil 3.5'te kalibrasyon ve doğrulama sürecinde kullanılan akım gözlem istasyonlarının konumları görülmektedir. Tablo 3.4'te model kalibrasyonunda kullanılan akım gözlem istasyonlarına ilişkin veriler yer almaktadır.



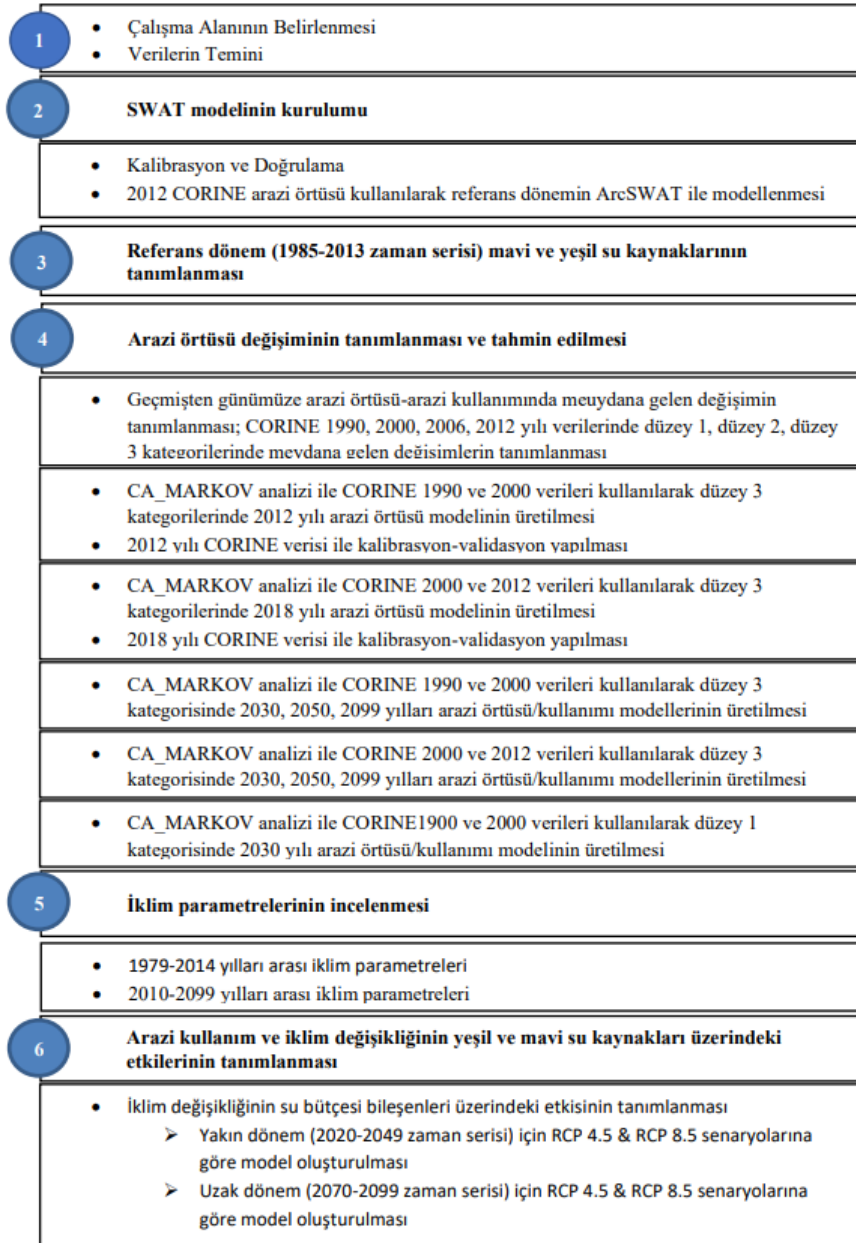
Şekil 3.5. Çalışma kapsamında kullanılan DSİ ve EİEİ akım gözlem istasyonları

Tablo 3.4. Çalışma alanında bulunan akım gözlem istasyonları

Althavza No	İstasyon Adı	AGİ no	Su toplama alanı (km ²)
7	Yeşildon (DSİ)	12-134	546,99
14	Kıranharmanı (EİEİ)	12-51	10,74
15	Eşenkara (DSİ)	12-54	128,28
22	Porsuk Baraj Çıkışı(DSİ)	12-34	76,62
28	Kütahya Yenibosna Çalça (DSİ)	12-181	10,14
34	Porsuk Çiftliği (DSİ)	12-33	209,68

3.3. Yöntem

Çalışmada CBS tabanlı çalışabilen SWAT yazılımı kullanılmıştır. Yeryüzüyle ilgili verilerin modele girilmesi ile çalışma alanı için havza modeli oluşturularak, akışı ve su kalitesini etkileyen parametrelerin değişiminin hidrolojik tepkilerinin anlaşılmasına çalışıldığı çalışmanın genel akış diyagramı Şekil 3. 6'daki gibidir.



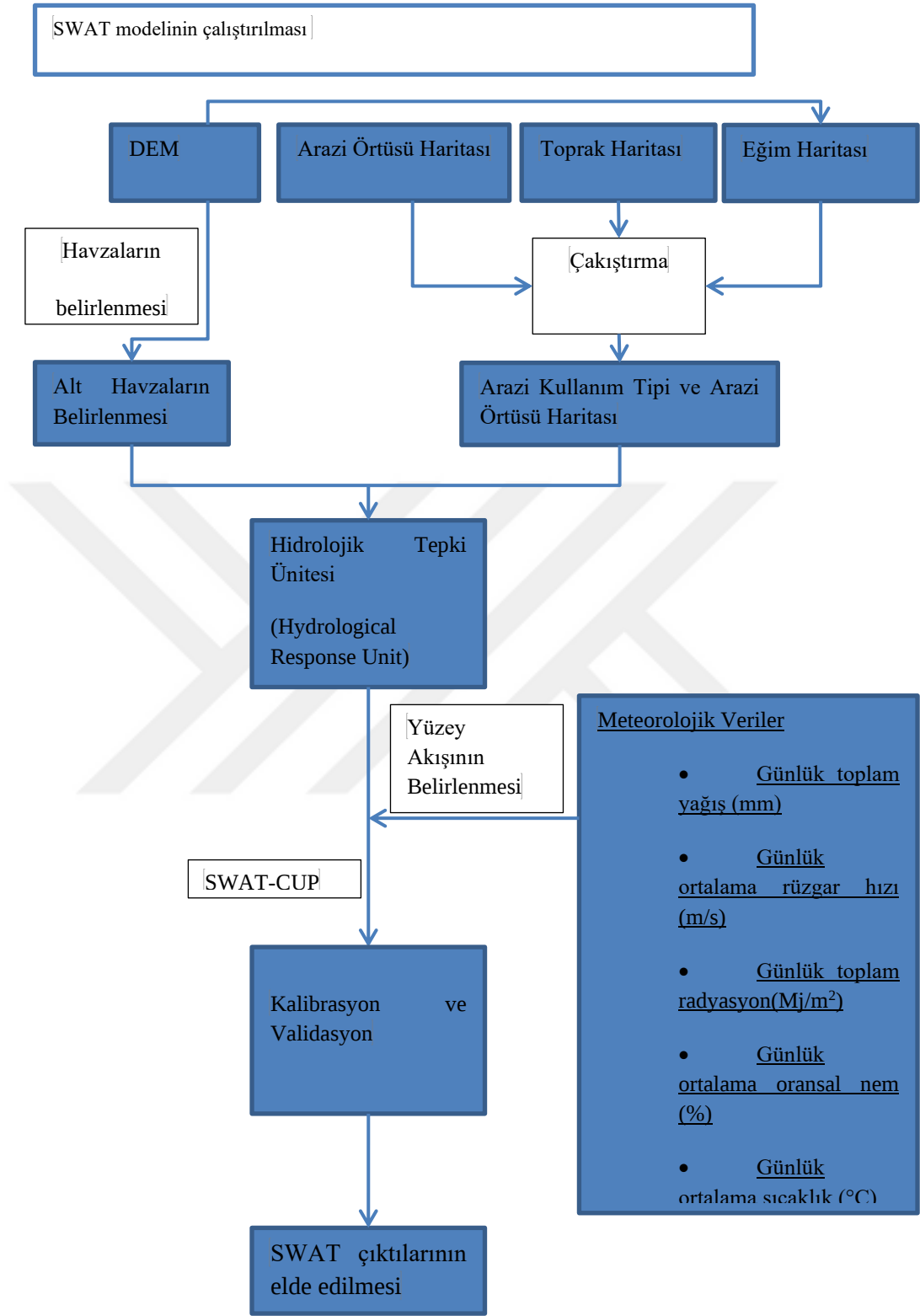
Şekil 3.6. Çalışmanın akış şeması

3.3.1. SWAT modelinde hidrolojik unsurlar ve swat modelinin çalıştırılması

Arazi yüzeylerinden kaynaklanan ve noktasal olmayan kirlilik yüklerinin simülasyonunda hidrolojik ve sediment taşınım modelleri kullanılmaktadır. Fiziksel,

deterministik ya da oldukça kapsamlı, karmaşık pek çok model matematiksel süreçlerle doğal fiziksel süreçleri gerçeğe en yakın şekilde ifade etmeye çalışılır. Soil & Water Assessment Tool (SWAT) modeli fiziksel bir modeldir ve USDA tarafından geliştirilmiştir. Model yüzey akışı, yeraltı akışı, evapotranspirasyon ve kanal akışı bilgilerini içeren hidroloji modelidir. SWAT ile evapotranspirasyon, infiltrasyon(sızma), perkolasyon, akış oluşumu, her bir hidrolojik birim için besin döngüsü ve taşınımı simüle edilebilmektedir. SWAT modeliyle akım gözlem istasyonunun olmadığı havzalar modellenilebilmektedir. Modelin bir diğer avantajı ise erişilebilen veri doğrultusunda model kalitesi artırılabilir. Modelin ihtiyaç duyduğu verilerin girilmesi ile tarla ölçeğinden büyük havza ölçeğine hidrolojik süreçlerde uzun süreli etkilerin tanımlanması mümkündür. SWAT modelinin temel girdilerini ve akış sürecini ifade eden diyagram Şekil 3.7'deki gibidir. SWAT modelinin temel girdi veri seti topografya, arazi kullanımı, toprak ve iklim verileridir. SWAT modeli ile model çıktısı günlük, aylık ve yıllık olarak elde edilebilmektedir. SWAT modeli ile her bir alt havza için yüzeysel akış, erozyon, suyun topraktaki hareketi, evapotranspirasyon, bitki büyümesi ve verimin, topraktaki besin ve karbon döngüsü, pestisit ve bakteri bozunması ve taşınımı hesaplanabilmektedir. Ayrıca SWAT modeli ile gübre uygulamaları, yeraltı drenajı, sulama, gölet ve sulak alanlar gibi tarımsal yapı ve arazi uygulamaları simülasyonları yapılabilir (J. G. Arnold vd., 2012; Neitsch vd., 2011). SWAT modelinin rezervuar bileşeninde su, sediment ve kirleticilerin akışı geciktirilmekte aynı zamanda bekletme süresi boyunca besin, pestisit ve bakterilerin bozunma süreçleri simüle edilebilmektedir (Neitsch vd., 2011).

SWAT modelinde hidrolojik simülasyon iki ana safhaya ayrılmaktadır. İlk safha "Land Phase" olarak adlandırılan kara safhasıdır. Hidrolojik döngünün kara safhası su miktarı, sediment, besin ve pestisit yüklemesini her bir alt havza için tanımlanmaktadır. Hidrolojik tepki birimleri (Hydrologic Response Units (HRUs)), modelin en küçük mekansal birimidir ve standart bir HRU tanımlama yaklaşımı, kullanıcının belirlediği eşik değerlere bağlı olarak, bir alt havza içindeki tüm benzer arazi kullanımlarını, toprakları ve eğimleri gruplandırır (Teshager vd., 2016). Daha sonra HRU'lar bazında tanımlanan su bütçesi elemanları ve kirletici yükleri alt havzaları oluşturmaktadır. "Water or Routing Phase" olarak adlandırılan ikinci safhada, alt havza bazında hesaplanmış olan su, sediment vb yükleri havza topolojisine göre kanal ve akarsu şebekesi boyunca havza çıkışına doğru tanımlandığı öteleme safhasıdır (Neitsch vd., 2011).



Şekil 3.7. SWAT Modelinin akış şeması

Modelde hidrolojik döngü hesaplamalarında temel alınan su bütçesi denklemi Denklem 3.1'deki gibidir (Neitsch vd., 2011).

$$SWt = SWo + \sum it (Rday - Qsurf - Ea - Wseep - Qgw) \quad (3.1)$$

Burada;

SWt : Son durumdaki toprak su içeriği(mm),

SWo : Başlangıçta toprağın su içeriği(mm),

i : 't' simülasyon periyodu için günlük zaman ,

Rday : Yağış miktarı (mm),

Qsurf : Yüzeysel akışa geçen su miktarı (mm),

Ea : Buharlaşma ve terleme (mm),

Wseep : Sızma (mm) ,

Qgw : geri dönüş akış su miktarı (mm)' dır.

SWAT modeli yüzeysel akışını SCS eğri numarası yöntemi ve Green-Ampt infiltrasyon denklemleri ile hesaplayabilmektedir (Neitsch ve diğ., 2011). Bu çalışmada SCS-Eğri Numarası yöntemi ile yüzey akışı belirlenmiştir. SCS-Eğri Numarası ampirik modeli, yağış miktarı bilgisini kullanarak yüzeysel akışı tanımlar. SCS-Eğri Numarası denklemi Denklem 3.2'deki gibidir.

Günlük yağış miktarı 0.2S'ten büyük ise;

$$Q_{(yüzeysel)} = \frac{(R_{gün} - 0,2S)^2}{(R_{gün} - 0,8S)} \quad (3.2)$$

Günlük yağış miktarı 0.2S'den küçük ise yüzeysel akış oluşmamaktadır.

Burada Q(yüzeysel), yüzeysel akışa geçen su miktarı(mm), Rgün = Günlük yağış miktarı (mm), S= Yağış sırasında yüzeysel akış başladıktan sonra havzada tutulabilecek potansiyel maksimum tutulma miktarı (gecikme faktörü) (mm)'dür.

S değeri, yüzeydeki bitki örtüsüne, arazi kullanımına, hidrolojik zemin grubuna ve yağışın başlangıcında zeminin nem içeriğine göre tanımlanan eğri numarası (Curve Number(CN))'a bağlı olarak belirlenmektedir. S'in formülü Denklem 3.3'te ifade edildiği gibidir (Neitsch vd., 2011).

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3.3)$$

Hidrolojik tepki birimi içerisinde su zemine ulaştıktan sonra zeminden bitki tarafından kullanılarak veya buharlaşma ile uzaklaşabilir; toprak profilinin en alt tabakasına kadar sızarak akiferi besleyebilir ya da su profili boyunca yatay yönde ilerleyerek akarsu akışına katkıda bulunabilir. Zemindeki suyun büyük kısmı bitki tarafından kullanılır. SWAT modelinde HRU'lara ulaşan yağışın yüzeysel akışa geçen kısmından kalan su miktarı sızma süreci ile zemin nemini beslemektedir (Cüceloğlu, 2019). Yüzeysel sular sızma/perkolasyon yoluyla yeraltı suyu deposuna sızarak yeraltı suyunu besleyebilir. SWAT modelinde su, toprak tabakaları içerisinde perkolasyon süreci ile hareket eder ve yeraltı suyu deposuna girer. Perkolasyon sürecinin denklemi Denklem 3.4'te görüldüğü gibidir.

$$W_{perk,ktmn} = SW_{ktmn,f} \left(1 - \exp \left[\frac{-\Delta t}{TT_{perk}} \right] \right) \quad (3.4)$$

Burada; $W_{perk,ktmn}$ = Bir altta bulunan toprak katmanına sızan toplam su miktarı (mm H₂O), $SW_{ktmn,f}$ = Toprak katmanında drene olabilen su miktarı (mm H₂O) , TT_{perk} = Perkolasyon seyahat süresi (saat), Δt = Zaman adımı (saat)'nı göstermektedir (Neitsch vd., 2011).

Evapotranspirasyon hesabı için SWAT model içerisinde Priestley-Taylor, Penman-Monteith ve Hargreaves yöntemleri yer almaktadır. Penman-Monteith yöntemi, Evapotranspirasyonu tahmin etmek için evrensel bir standart olarak kabul edilmiştir (Allen vd., 1998; Aouissi vd., 2016). Ancak bu çalışmada erişilebilen küresel iklim modeli verileri kapsamında (tez başlığı 3.3.3) yalnızca yağış ve minimum-maksimum sıcaklık verilerine erişilebildiğinden geçmiş yıllar ve gelecek yıllar için gerçekleştirilecek simülasyonların tutarlı olması için Hargreaves yöntemi tercih edilmiştir. Hargreaves yöntemi yalnızca minimum ve maksimum sıcaklık verisi ile çalışılabilmektedir. Hargreaves yöntemi denklemi Denklem 3.5'te gösterilmiştir.

$$\lambda E_0 = 0.0023 H_0 (T_{Maks} - T_{Min})^{0.5} (T_{ort} + 17.8) \quad (3.5)$$

Burada; Λ =Buharlaşma gizli ısısı (MJ kg⁻¹), E_0 = Potansiyel evapotranspirasyon (mm gün⁻¹), H_0 = Uzay radyasyonu (MJ m⁻² gün⁻¹), T_{maks} = İlgili gündeki maksimum hava sıcaklığı (°C), T_{min} = İlgili gündeki minimum hava sıcaklığı (°C) ve T_{ort} = İlgili gündeki ortalama hava sıcaklığı (°C)'nı ifade etmektedir.

3.3.1.1. SWAT modelinin kalibrasyonu ve doğrulaması

SWAT girdi parametreleri ölçüm yolu ile veya işleme dayalı elde edilir ve gerçekçi bir belirsizlik aralığında tutulmalıdır. Hidrolojik modellerde belirsizlik analizi ile hidrolojik parametrelerin güvenilirliğinin gösterilmesi gerekmektedir. SWAT'ta kalibrasyon ve doğrulama sürecindeki ilk adım, belirli bir havza veya alt havza için en hassas parametrelerin belirlenmesidir. Uzman görüşüne veya duyarlılık analizine göre hangi değişkenlerin ayarlanacağını belirlenir. Duyarlılık analizi, model girdi parametrelerinde değişikliklere göre model çıktısındaki değişim oranını belirleme sürecidir. Kalibrasyon sürecinde kullanılması gereken parametrelerin ve parametre duyarlılıklarını belirlemek gereklidir. Böylelikle ilgili bileşen için baskın süreçler belirlenir. Genel olarak iki tür duyarlılık analizi gerçekleştirilir: lokal ve global duyarlılık analizi (local and global sensitivity analysis) olarak adlandırılan bu yöntemlerde lokal duyarlılık analizinde değerler birer birer değiştirilirken, global duyarlılık analizinde tüm parametre değerlerinin değişmesine izin verilir. Ancak iki analiz farklı sonuçlar verebilir. Bir parametrenin değeri genellikle diğer ilgili parametrelerin değerine bağlıdır; bu nedenle, her seferinde bir analizle ilgili sorun, sabitlenen diğer parametrelerin doğru değerlerinin asla bilinmemesi anlamına gelecektir. Global duyarlılık analizinin dezavantajı ise çok sayıda simülasyona ihtiyaç duymasıdır. Bununla birlikte, her iki prosedür de parametrelerin duyarlılığın tanımlanması için yararlıdır (J. G. Arnold vd., 2012).

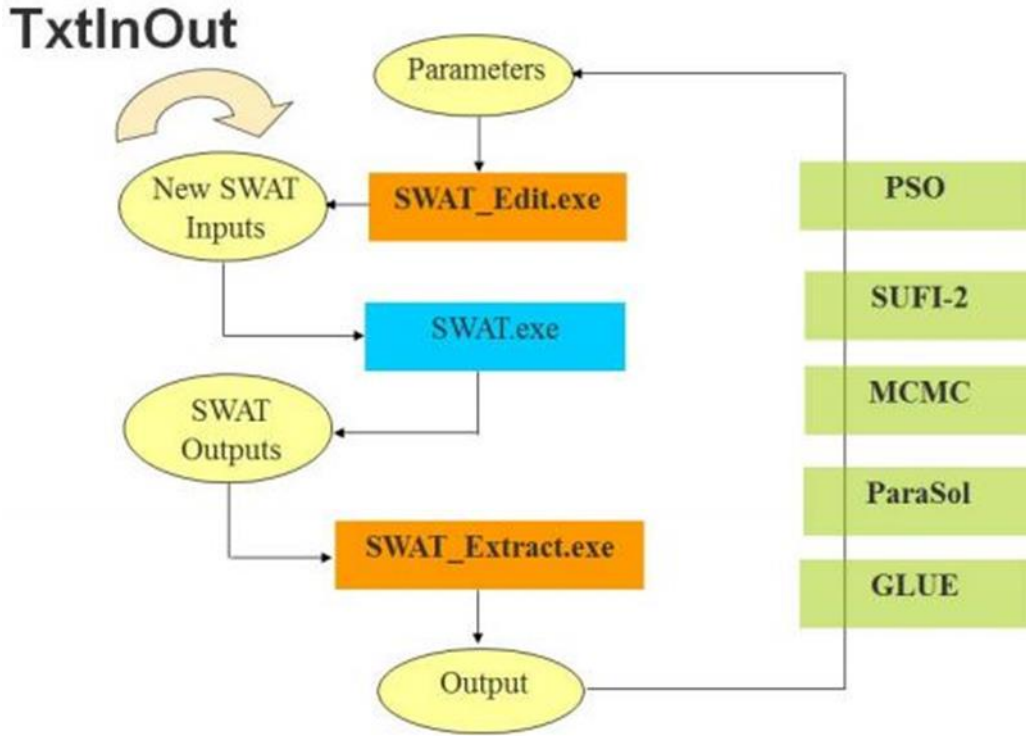
Duyarlılık analizinin ardından modelin tahmin belirsizliğinin azaltılması amacıyla, modeli belirli bir yerel koşullar kümesine göre daha iyi parametreleştirilmesi için kalibrasyon işlemi yapılır. Model kalibrasyonu, belirli bir varsayılan koşullar kümesi için model tahminlerini aynı koşullar için gözlemlenen verilerle karşılaştırılmasına dayanarak, model girdi parametrelerinin değerlerini ilgili belirsizlik aralıkları dahilinde dikkatlice seçilmesiyle gerçekleştirilir. Son adım modelin akarsu akışı, sediment birikimi vb. bilgiler kullanılarak doğrulanmasıdır. Model doğrulama, belirli bir sahaya özgü modelin yeterince doğru simülasyonlar yapabildiğini gösterme sürecidir, ancak

"yeterince doğru" kavramı proje hedeflerine göre değişir. Doğrulama, kalibrasyon işlemi sırasında belirlenen parametreleri kullanarak bir model çalıştırmayı ve kalibrasyonda kullanılmayan gözlemlenen verilere yönelik tahmin değerlerinin karşılaştırıldığı süreçtir. Genel olarak, iyi bir model kalibrasyonu ve doğrulaması şunları içermelidir: ıslak, ortalama ve kuru periyotları ((Gan vd., 1997)); çoklu değerlendirme teknikleri; değerlendirilen tüm bileşenlerin kalibre edilmesi; ve diğer önemli model çıktılarının makul olduğunun doğrulanması (J. G. Arnold vd., 2012).

SWAT aracı ile yapılan çalışmalarda kalibrasyon işlemi genellikle manuel olarak veya SWAT-CUP (K C Abbaspour vd., 2007) ile yapılmaktadır. Bu çalışmada kalibrasyon ve validasyon süreçlerinde SWAT-CUP programı kullanılmıştır. SWAT-CUP 5.1.6.2 sürümü kullanılmıştır. SWAT-CUP programı, SWAT modelinin girdi ve çıktı verileri ile uyumlu olarak çalışmaktadır. SWAT-CUP, kalibrasyon, duyarlılık analizi, belirsizlik analizi ve validasyon işlemleri için tasarlanmış belirsizlik olasılığı tahmini (GLUE, Generalized Likelihood Uncertainty Estimation), parametre çözümü (ParaSOL, Parameter solutions), sıralı belirsizlik kurma (SUFI, Sequential Uncertainty Fitting) gibi optimizasyon algoritmalarını barındıran bir programdır (Karim C Abbaspour vd., 2007). SWAT ve optimizasyon programları arasındaki bağlantının şeması Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Her yöntemin güçlü-zayıf yönleri mevcuttur. Seçilecek yöntem çalışmanın amacı ve yöntemi doğrultusunda farklılık gösterecektir (Karim C. Abbaspour, 2012). Bu çalışmada SWAT model kalibrasyonu ve validasyonu ile belirsizlik ve parametre hassasiyet analizleri SUFI-2 optimizasyon algoritması ile yapılmıştır.

SUFI-2 algoritması, Model simülasyonlarını ve gözlem verilerini %95 tahmin aralığı (95PPU) içerisinde tanımlanmaya çalışılır. 95PPU, Latin hiperküp örnekleme ile elde edilen bir çıktı değişkeninin kümülatif frekans dağılımının % 2,5 ve % 97,5 seviyesinde hesaplanır. Model performansı ve kalibre edilmiş modelin belirsizliği "P-faktörü" ve "R-faktörü" olarak adlandırılan iki indis ile tanımlanmıştır. Modelin mevcut belirsizliğini p-faktörü ve r-faktörü değerlerini gözeterek minimuma indirecek şekilde simülasyonlara devam etmektedir. Parametrizasyonu yapılmış modelin belirsizliği bu iki indis yardımı ile tanımlanmaktadır. P-faktörü gözlem verilerinin %95 güven aralığı (95PPU) içerisinde kalan yüzdesi ile ifade edilmektedir. P-faktörü, 0 ile 1 arasında değişir, model hatası olarak adlandırılabilir. Projenin ölçeğine ve girdinin ve kalibrasyon verilerinin yeterliliğine bağlı olmakla birlikte, deşarj için yeterli olması için $> 0,7$ veya

0,75'lik bir değer olması önerilmektedir. R faktörü, 95PPU bandının ortalama genişliğinin ve ölçülen değişkenin standart sapmasının oranıdır. Benzer şekilde, duruma bağlı olarak <1.5 değeri bu endeks için uygun olarak kabul edilmektedir (K. Abbaspour vd., 2017).



Şekil 3.8. SWAT ve optimizasyon programları arasındaki bağlantı şeması (Karim C. Abbaspour, 2012)

"P-faktörü" ve "R-faktörü", kalibrasyon ve doğrulamanın gücünü değerlendirmek için kullanılır. Bu iki faktör arasında bir denge sağlanmalıdır. Kabul edilebilir "P-faktörü" ve "R-faktörü", değerlerine ulaşılan son iterasyonda, parametre aralıkları kalibre edilmiş parametreler olarak alınır. Bu nedenle, genellikle ikisi arasında bir denge sağlanmalıdır. Kabul edilebilir "P-faktörü" ve "R-faktörü", değerlerine ulaşıldığında, parametre belirsizlikleri istenen parametre aralıklarıdır. Modelin daha fazla uyum iyiliği, gözlemler ve nihai "en iyi" simülasyon arasındaki istatistiksel ölçütler ile ölçülebilir (Karim C. Abbaspour, 2012). Model performansının değerlendirilmesi ve kabul edilebilir değerlere tartışıulmasında birçok istatistiksel ölçüt bulunmaktadır. Literatürde farklı indislerin model performansının değerlendirilmesinde kullanıldığı görülmektedir (Cüceloğlu, 2019; D. N. Moriasi vd., 2007; Güngör, 2011; Jouma, 2019). Model performansının değerlendirilmesi çalışmanın amacı, elde edilen veri kalitesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu çalışmada, benzer çalışmalar referans alınarak simülasyondaki belirsizlikleri dikkate alan p-faktörü ve r-faktörü, Nash-Sutcliffe Yeterliliği (NSE), Determinasyon katsayısı

(R2), Mevcut Sapma (PBIAS) ve Kling- Gupta Yeterliliği (KGE) model performans ölçütleri değerlendirilmiştir.

NSE (Nash ve Sutcliffe 1970), modelin gözlenen verileri ne düzeyde iyi tahmin ettiğini ölçmektedir (Nash ve Sutcliffe, 1970). NSE değeri $-\infty$ ile 1 arasında değişmektedir. NSE'nin 1 değerini alması simülasyon verisinin gözlem veri seti ile uyumlu olduğunu göstermektedir. NSE'nin 0 ile 1 arasında değişen değerler alması bulguların kabul edilebilir uyuma sahip olduğunu göstermektedir. 0 değerinden küçük değer elde edilmesi simülasyon çıktıları ile gözlem verilerinin uyumsuz olduğunu göstermektedir. Denklem 3.6'da görülen NSE, Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı; t Q_0 , t anındaki gözlem değeri; t Q_m t anındaki model değeri; Q_0 , gözlem değerlerinin ortalaması değerlerini ifade etmektedir (Karim C. Abbaspour, 2012).

$$NSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(Q_0^t - Q_m^t)^2}{(Q_0^t - \bar{Q}_0)^2} \right] \quad (3.6)$$

R2 varyansın, model tarafından öngörülebilir ve ölçülen verilerdeki oranını açıklamaktadır. Denklem 3.7'de gösterilen R^2 amaç fonksiyonu, varyansın, model tarafından öngörülebilir ve ölçülen verilerdeki oranını açıklamaktadır, 0'dan 1'e kadar değişmektedir. Q bir değişken (örneğin, deşarj) olduğunda belirleme katsayısı R^2 ; m ve s ölçülen ve simüle edilen anlamına gelmektedir. i ölçülen veya simüle edilen değerdir (Karim C. Abbaspour, 2012).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_i [(Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2} \right] \quad (3.7)$$

PBIAS (Gupta vd., 1999), simüle edilen ve gözlenen veriler arasındaki sapmaları hesaplar. Denklem 3.8'de gösterilen PBIAS amaç fonksiyonu formülünde, Q bir değişken (örneğin, deşarj) ve m ve s sırasıyla ölçülen ve simüle edilen değerler anlamına gelmektedir. Yüzde sapması, simüle edilen verilerin ortalama eğilimini gözlemler. Optimum değer sıfırdır ve sıfıra yakın değerler daha iyi simülasyonları ifade eder. Pozitif değerler, modelin eksik tahminini gösterir ve negatif değerler, tahmin değerlerinin ölçülen değeri aştığını gösterir (Karim C. Abbaspour, 2012).

$$PBIAS = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n (Q_m - Q_s)_i}{\sum_{i=1}^n Q_{m,i}} \quad (3.8)$$

KGE, simüle edilen ve ölçülen değerler arasındaki korelasyon ve değişkenliği dikkate alan bir performans ölçütüdür (Jouma, 2019). Denklem 3.9’da gösterilen KGE amaç fonksiyonunda $\alpha = \sigma_s / \sigma_m$, $\beta = \mu_s / \mu_m$ ve r simüle edilen ve ölçülen değer arasındaki doğrusal regresyon katsayısıdır. μ_s ve μ_m , simüle edilen ve ölçülen veriler anlamına gelmektedir. σ_s ve σ_m ölçülen ve simüle edilen değerlerin standart sapmasıdır.

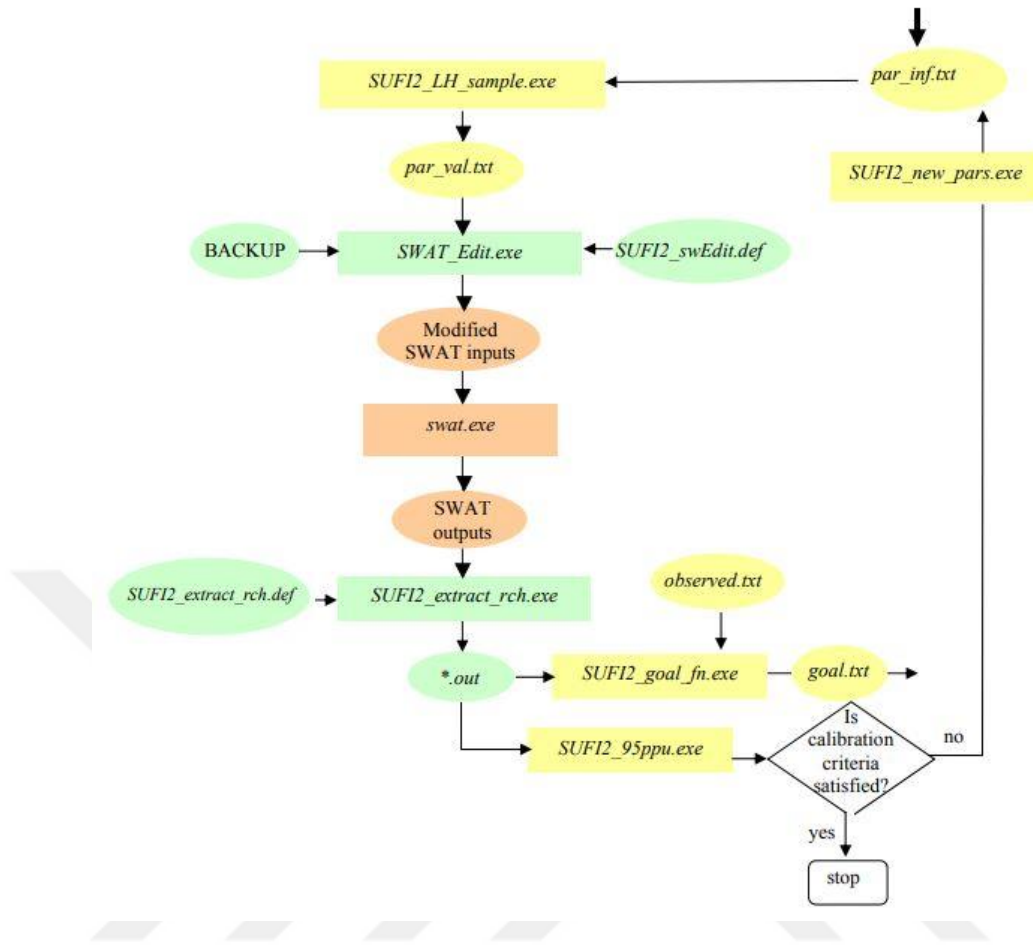
$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2} \quad (3.9)$$

Bu ölçütler doğrultusunda modelin gerçeğe en yakın olması amaçlanmaktadır. İyi bir kalibrasyon için, referans alınan kriterlerin değerlendirme sınıfları Tablo 3.5’te verilmiştir.

Tablo 3.5. Kalibrasyon ve doğrulama için seçilen performans kriterleri

Performans	R2	NSE	PBIAS	KGE
Çok iyi	0.75-1.00	0.75-1.00	0-±10	0.90-1.00
İyi	0.65-0.75	0.65-0.75	±10-±15	0.75-0.90
Yeterli	0.50-0.65	0.50-0.65	±15-±25	0.50-0.75
İyi Değil	0.50-0.00	0.50-0.00	>±25	0.50-0.00

Abbaspour(2012)’a göre Şekil 3.9’da SUFI-2 algoritmasının girdi dosyalarının oluşturulması süreci görülmektedir.

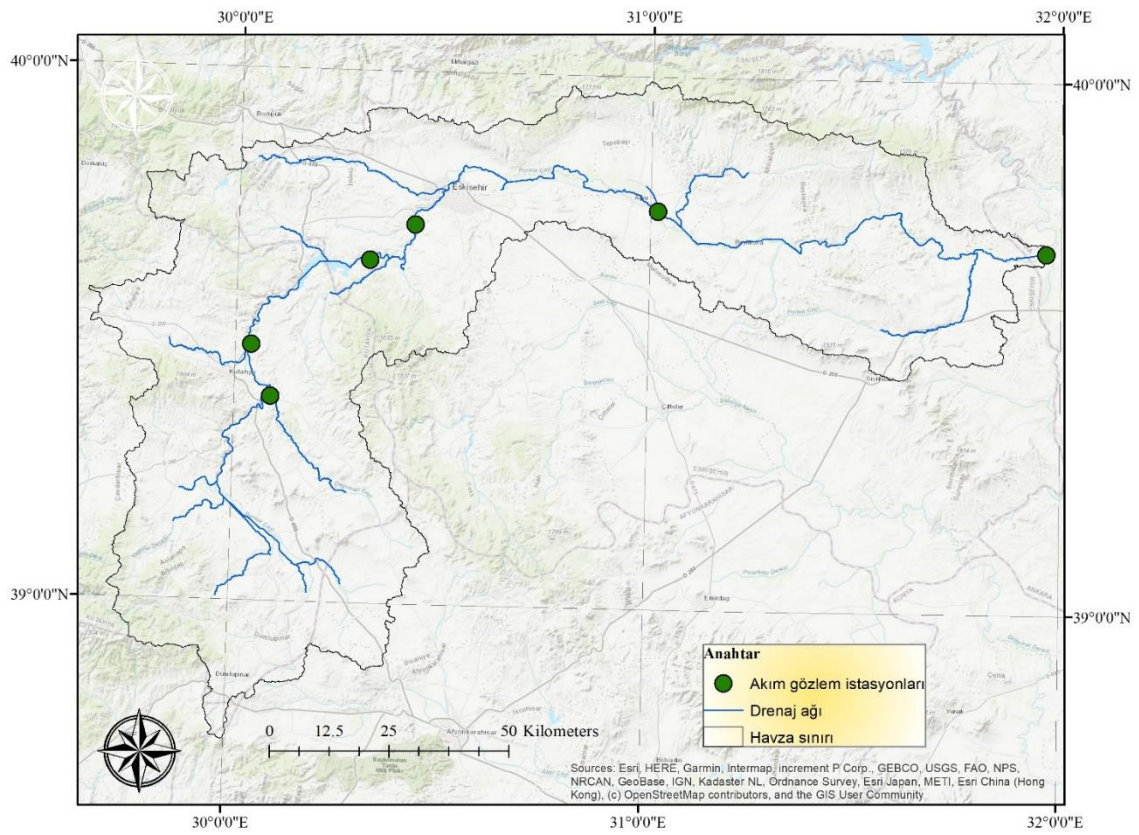


Şekil 3.9. SWAT-SUF12 girdi dosyalarının oluşturulması süreci

Çalışmada kullanılan akım gözlem verileri ve model parametrisasyonu

Model 1979-2013 dönemi için çalıştırılmıştır. İlk 6 yıl ısınma periyodu olarak tanımlanmıştır. Modelin kalibrasyonu ve doğrulanması için gözlem verilerinin sürekli olduğu ve modelin çalıştırıldığı periyoda uygun aralıklarda seçilmiştir. Çalışma alanında DSİ (Devlet Su İşleri) ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE)’ne ait akım gözlem istasyonları yer almaktadır. Her istasyon için tüm zaman aralıkları için eksiksiz veri bulunması mümkün olmayabilmektedir. Bu nedenle akım bilgisinin kalibrasyonu, çalışma alanının homojen bir şekilde kalibre edilmesi amacıyla Şekil 3.10’da görülen 6 adet akım gözlem istasyonu Yeşildon, Kıranharmanı, Eşenkara, Porsuk Baraj Çıkışı, Kütahya Yenibosna Çalça ve Porsuk Çiftliği istasyonlarının aylık akım verileri modelleme yapılan yıllar arasında, arazi örtüsü bilgisi yılına uyumlu olması gözetilerek ve sürekli veri temin edilebilen zaman aralıklarına göre belirlenmiştir.

Porsuk çiftliği ve Kütahya Çalça Yenibosna istasyonları rezervuardan önce yer alan istasyonlardır. Porsuk Çiftliği Kütahya ilinin membasında bulunmaktadır. Kütahya Yenibosna Çalça istasyonu Kütahya ilinin mansabında bulunmaktadır. Porsuk Barajı çıkışı drenaj ağı üzerinde yer alan porsuk barajının çıkışında yer almaktadır. Eşenkara istasyonu Eskişehir ili yakınlarında regülatörün membasında yer almaktadır. Yeşildon istasyonu ise Eskişehir ilinin mansabında yer almaktadır. Kıranharmanı istasyonu ise havzanın mansabında, Porsuk çayının Sakarya nehrine döküldüğü Kıranharman köyü yakınlarındadır.



Şekil 3.10. Çalışma kapsamında kullanılan DSI ve EİEİ akım gözlem istasyonları

Kalibrasyon ve validasyon için kullanılan gözlem verileri aynı olmamalıdır, benzer periyotlarda ve sürekli veri sağlanabilen aralıklarda seçilmelidir. Havzanın her alanında her türlü verinin temin edilmesi mümkün olmayabilir. Havzanın tek bir noktasında yapılan proses bazlı işlem sonucunda elde edilen bulgunun tüm havzayı temsil etmesi mümkün olmayabilir. Bu doğrultuda, havzanın bütünü temsil edecek noktalarda gözlem verisi temin edilerek kalibrasyon ve validasyon işlemi uygulanmalıdır(J. G. Arnold vd., 2012).

Modelde çalışmanın 3.2.4. başlığında ifade edilen CFSR reanaliz meteoroloji verisi kullanılmıştır. CFSR reanaliz verisi çalışma alanı hakkında mekansal ve zamansal olarak sürekli veri sağlayabilen iklim verisi kaynağıdır. Çalışma alanında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait istasyonlar mevcuttur ancak daha çok şehir merkezlerinde bulunmaktadır. Gözlem istasyonlarına yakın bulunan istasyonlar mevcuttur. Ancak SWAT modelinin ihtiyaç duyduğu verilerin uzun zaman periyotları için sürekli temin edilememektedir. Bu nedenle çalışma alanında 1977-2013 yılları için CFSR verisi iklim verisi CFSR veri kaynağı kullanılarak su havzalarındaki meteorolojik koşulları belirlenmiştir. Kalibrasyon sürecinde kullanılan parametreler literatürde yer alan çalışmalar incelenerek yaygın olarak kullanılan parametreler belirlenmiştir (K. C. Abbaspour et al., 2015; Cüceloğlu, 2019; Du et al., 2018; Güngör, 2011; J. G. Arnold et al., 2012; Jouma, 2019). Bu incelemeler doğrultusunda Tablo 3.6'da kalibrasyon sürecinde kullanılması amaçlanan parametreler görülmektedir.

Kalibrasyon ve doğrulama sürecinde girdi, model ve parametre belirsizlikleri süreç ve mekân temelli öngörülmelidir. Kalibrasyonun süreç tabanlı ele alınması bağlamında, duyarlılık testinde kullanılmasına karar verilen bütün parametrelerin eş zamanlı kalibre edilmemelidir. Örnek olarak Kar-erime bilgisi ile ilgili parametreler ve canopy storage ile ilgili parametrelerin kalibrasyonu eş zamanlı yürütülmemelidir (K. Abbaspour et al., 2017). Bu kapsamda öncelikle dağlık bölgeler içeren havza modelleme çalışmalarında yükseklik bandı uygulaması kullanılarak yükseltisi fazla olan bölgelerde orografik yağışa bağlı gerçekleşen yüksek yağış değerlerinin düzeltilmesi uygulaması yapılmaktadır ((Cüceloğlu, 2019; Güngör, 2011; Rahman et al., 2013). SWAT modeli ile orografik etki simüle edilebilmektedir. Bu amaç doğrultusunda beş yükseklik bandı (elevation band) oluşturulmuştur. Yapılan 360 simülasyon sonucunda kurulan bölgesel modelde yağış için sapma oranı (Precipitation lapse rate (PLAPS)) 105.000000 mm/km ve sıcaklık için (Temperature lapse rate (TLAPS)) -4.5 °C/km olarak tanımlanmıştır.

Yağış düzeltme faktörü tanımlandıktan sonra 360 adet simülasyon ile kar parametreleri belirlenmiştir. Kar erimesi sıcaklığı (SMTMP) -3.78, Kar yağışı sıcaklığı (SFTMP) 4.34, 21 Haziran için kar erimesi faktörü (SMFMX) 1.14. Aralık için kar erimesi faktörü (SMFMN) 5.11, Kar örtüsünün sıcaklık gecikme faktörü (TIMP) 0.46 olarak belirlenmiştir.

Ardından, akım gözlem istasyonu verileri kullanılarak model parametrisasyonu yapılmıştır. Model kalibrasyonunda yaygın olarak kullanılan parametrelerin kullanılmasına karar verilmiştir. Tablo 3.6 'da görülen akım kalibrasyonu için seçilen 24 parametre ve aralıkları, parametrelerin farklı kombinasyonları farklı simülasyon sayıları ile simüle edilerek parametrelerin en uygun değer aralıkları belirlenmiştir. Bu işlemlerin ardından kalibrasyon süreci tamamlanmıştır.

Tablo 3.6. Akım kalibrasyonu için seçilen 24 parametre ve aralıkları

Model parametreleri	Parametre açıklaması	Alt sınır değer	Üst sınır değer	Kalibrasyon türü
SFTMP.bsn	Kar yağışının gerçekleştiği sıcaklıktır (°C)	-5	5	v
SMTMP.bsn	Kar erimesi baz sıcaklığıdır (°C).	-5	5	v
SMFMX.bsn	Haziran 21'de kar erime faktörüdür (mm/C_day).	0	7	v
SMFMN.bsn	Aralık 21'de kar erime faktörüdür (mm/C_day).	0	7	v
TIMP.bsn	Kar örtüsünün sıcaklık gecikme faktörüdür.	0	1	v
ALPHA_BF.gw	Taban akımı geri çekilme katsayısı olup, yeraltı suyunun beslenmeye karşı olan tepkisinin bir ifadesidir. (gün)	0.05	0.15	v
CN2.mgt	Yüzey Akışı Eğri Numarası	-0.2	0	r
SOL_AWC().sol	Bitkinin kullanabileceği su miktarı olup tarla kapasitesi ve solma noktası arasındaki farktır. Toprak nem içeriği ile ilgili parametredir (mm H2O/mm toprak)	-0.2	0.4	r
ESCO.hru	Toprak evapotranspirasyon karşılama faktörüdür	0.8	1	v
REVAPMN.gw	Sığ akiferden buharlaşma eşik derinlik değeridir (mm)	0	500	v
GWQMN.gw	Geri dönen suyu kontrol eden sığ akiferin eşik derinlik değeridir (mm)	0	5000	v
GW_REVAP.gw	Sığ akiferden doymun olmayan bölgeye su akışını kontrol etmektedir	0.02	0.2	v
SOL_K().sol	Doymun hidrolik iletkenlik ise toprakta suyun akış hızını kontrol etmektedir. Toprak nem içeriği ile ilgili parametredir.	-0.8	0.8	r
SOL_BD().sol	Islak toprak yoğunluğudur (g/cm3) kontrol eder (Yüzeysel akış gecikme süresi).	-0.5	0.6	r
SURLAG.bsn	Yüzey gecikme katsayısı; Bir günde erişime giren suyun fraksiyonunu	0.05	24	v
GW_DELAY.gw	Suyun topraktan çıkışı ve sığ akifere geçişi sırasında meydana gelen gecikmedir (gün)	0	200	v
CH_N2.rte	Nehir için Manning katsayısı	0	1	v
SOL_Z().sol	Toprak yüzeyinden tabakanın dibine kadar olan derinlik.	0	3000	r
CH_K2.rte	Etkili hidrolik iletkenlik değerlerİ (mm/hr)	0	150	v
RCHRG_DP.gw	Akifer perkolasyon katsayısı	0	1	v

Tablo 3.6'da r, parametrenin 1 + r ile çarpıldığı anlamına gelir, v, parametrenin v değeri ile değiştirildiği anlamına gelir. r hem de v, alt ve üst sınırlar arasındaki sayılardır.

3.3.2. CA_Markov analizi ile potansiyel arazi kullanım değişim

Cellular Automata (CA) sistemi ve Markov-Zincir modellemesi birçok alanda kullanılan kavramlardır. CA ve Markov modelleri, yer bilimlerine ve uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin ilerlemesiyle birlikte yer bilimlerinde mekansal ve çevre modelleme çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Arazi örtüsü / Arazi kullanımı, orman alan değişimi, kentsel büyüme, sulak alan peyzajı, bitki büyümesi ve havza yönetimi modellenmesi, uygun alan seçimi, kıyı bölgesi yönetimi vb. benzeri dinamikleri karakterize etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ghosh vd., 2017; Henriques & Tenedório, 2009; Kushwaha vd., 2021; Perez & Dragicevic, 2012).

Markov modeli, tahmin ve optimal kontrol teorisi yöntemi için Markov rastgele süreç sistemlerinin oluşum sürecine dayanan bir teodir. Markov modeli, yalnızca arazi kullanım türleri arasındaki dönüşüm durumlarının niceliğini açıklamakla kalmaz, aynı zamanda farklı arazi kullanım türleri arasındaki aktarım oranını da ortaya çıkarabilir. Günümüzde mekansal araştırmalarda önemli bir tahmin yöntemi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bayes koşullu olasılık formülüne dayalı olarak, arazi kullanımı değişikliklerinin tahmini Denklem 3.10 ile hesaplanır;

$$S(t + 1) = P_{ij} \times S(t) \quad (3.10)$$

Burada S(t), S(t+1), t veya t +1 anındaki sistem durumudur; P_{ij}, Denklem 3.11'deki gibi hesaplanan bir durumda geçiş olasılığı matrisidir.

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$0 \leq P_{ij} < 1 \text{ ve } \sum_{j=1}^n P_{ij} = 1, (i, j = 1, 2, \dots, n) \text{ (Sang vd., 2011).}$$

Markov zincirinin çalışma prensibinde komşu hücrelerdeki değişim, her kategorinin mekansal dağılımı dikkate alınmaz. Dolayısıyla, değişimin büyüklüğünü doğru bir şekilde tahmin etmesine rağmen, büyüme yönü tahmin edilememektedir. CA sistemi ise genel olarak ızgara benzeri bir yapıda düzenlenmiş hücreler topluluğudur. Tüm hücreler durumlarını aynı anda, yani başlangıçta sabitlenebilen veya zaman zaman değişebilen bir kurala göre aynı anda değiştirir. Bu kurallar, her hücre için önceki

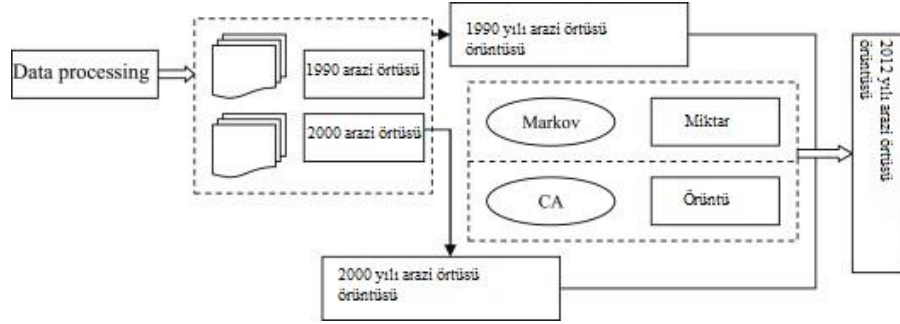
durumuyla aynı olabilen veya olmayabilen yeni bir duruma yol açar. Kurallar, komşu hücrelerin durumlarını dikkate alınarak oluşturulur. Hücrenin çevresindeki her olası durum kombinasyonu için bir kural vardır.

CA modellerinin davranışı, model elemanları, yapılar, model girdisi olarak kullanılan veri kaynaklarının kalitesi arasındaki etkileşimden kaynaklanan belirsizliklerden etkilenir. Temel olarak, farklı zamansal ve mekansal bağlantı özellikleri ve mekansal güçlü hesaplama yeteneği ile hücrelerin etkileşimlerine odaklanır. Arazi örtüsü/arazi kullanımı değişikliği simülasyonlarında CA kullanımı, yalnızca toprak, iklim, topografya gibi doğal faktörleri dikkate almaz. Ayrıca politika, ekonomi, teknoloji gibi diğer insan faktörlerini ve arazi kullanımının tarihsel eğilimlerini dikkate alabilmektedir. CA modeli Denklem 3.12'deki gibi ifade edilebilir;

$$S(t, t + 1) = f(S(t), N) \quad (3.12)$$

Burada S, sınırlı ve ayrı hücresel durumlar kümesidir, N, Hücresel alandır, t ve t + 1, farklı zamanları belirtir ve f, yerel uzaydaki hücresel durumların dönüşüm kuralıdır CA modeli, verinin yönünü hesaba katmak için uygulanmaktadır. CA'da, durum değişiklikleri sadece önceki durumuna değil, aynı zamanda söz konusu hücreye hemen komşu olan hücrelerin durumuna da bağlıdır. Hücreler arası geçiş kuralları, sistemin genel performansına karar verir. (Sang et al., 2011; Zhang et al., 2020).

Markov zinciri analizine geçişlerin olası mekansal dağılımının bilgisinin yanı sıra bir mekansal bitişiklik unsuru ekleyen birleşik bir Hücresel Otomata Markov Zinciri Çok Kriterli Çok Amaçlı arazi örtüsü tahmin yöntemidir. Markov modeli, arazi kullanımı değişiklikleri için tahminlerdeki miktarı tanımlar. Bu modelde mekansal parametreler zayıftır ve çeşitli arazi kullanım değişikliklerinin türlerini bilmemektedir. Markov ve CA teorilerini birleştiren CA-Markov modeli, miktar ve mekandaki arazi kullanımı değişikliklerinin zamansal ve mekansal modelleri için daha iyi simülasyon sağlanması için kullanılır. IDRISI32 yazılımındaki CA-Markov modülü, arazi kullanımı değişikliklerinin durumlarını tahmin etmek için dönüşüm tablolarını ve dönüşüm haritasının koşullu olasılığını kullanarak hücresel otomat filtresi ve Markov süreçlerinin işlevlerini bütünleştirir ve arazi kullanımı değişiklik simülasyonları gerçekleştirilir. CA_Markov analiz süreci Şekil 3.11'de açıklanmaktadır (Sang vd.,2011).



Şekil 3.11. Arazi kullanımı simülasyonunun akış şeması

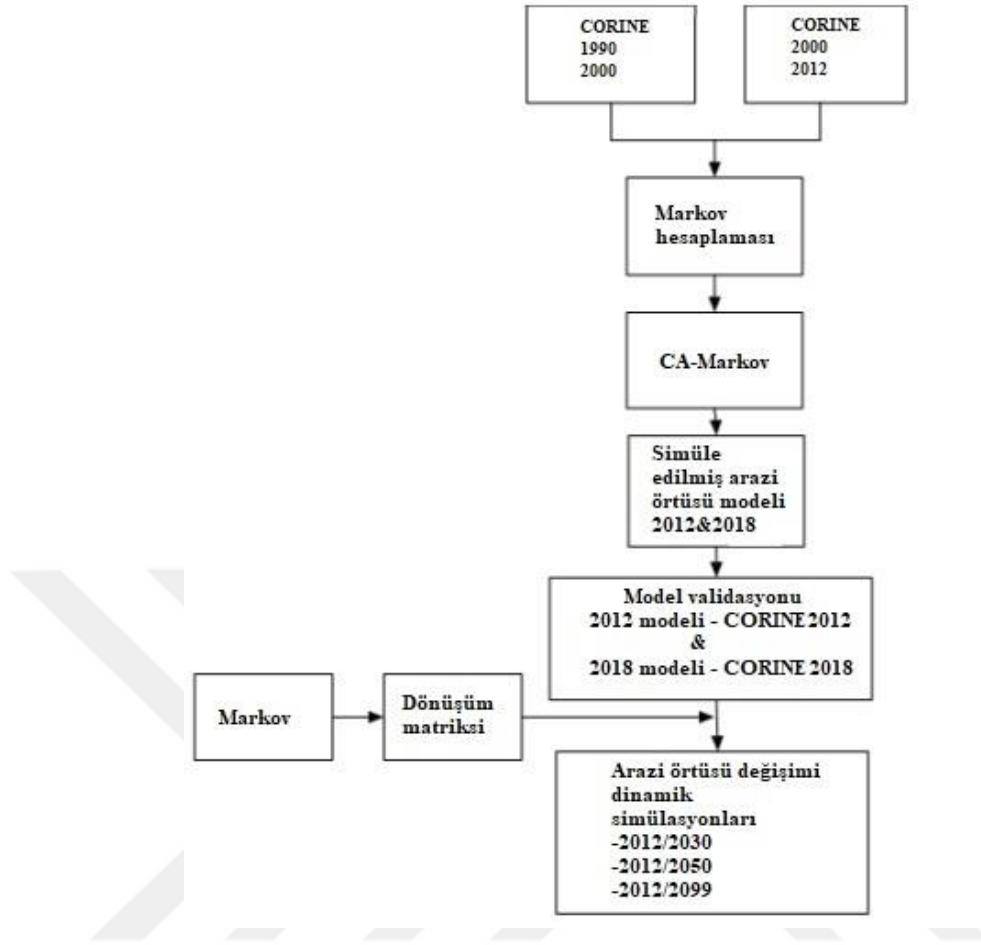
Açıklanan yöntem CA-Markov ile çalışmada yapılması planlanan arazi örtüsü/arazi kullanımı modellemesin amaçlanmıştır. Model ile mekana ve zamana bağlı olarak arazi örtüsü/arazi kullanımının potansiyel değişimi şehir merkezine, ana yollara, nehirlere uzaklık gibi etki haritaları kullanılarak 2012, 2018, 2030, 2050 ve 2099 yılları için arazi kullanım haritaları üretilmiştir. Bu çalışmada modelleme aracı olarak IDRISI TerrSet yazılımı kullanılmıştır. IDRISI TerrSet yazılımı ile CA-Markov analiz yöntemi kullanılarak arazi örtüsü modeli değişimi yapılması amaçlanmıştır. IDRISI TerrSet, Arazi Değişikliği Modelleyicisi (Land Change Modeller (LCM)) içermektedir. Aracın amacı, özellikle değişimin görselleştirilmesi ve model üretilmesidir (ClarkLabs, 2010). İstikrarlı arazi örtüsü değişiminin modellenmesi için uygundur (Megahed vd., 2015). Araç kapsamında farklı arazi örtüsü/arazi kullanımı kategorilerinin nicel değerlendirmesi, her arazi örtüsü/arazi kullanımı sınıfının net değişimi ve her arazi örtüsü/arazi kullanımı kategorisi tarafından deneyimlenen net değişime katkıda bulunanlar tanımlanabilmektedir. Ayrıca, arazi örtüsü/arazi kullanımı değişim analizi, geçiş potansiyeli modellemesi ve arazi örtüsü/arazi kullanımı değişim tahmini, arazi örtüsü/arazi kullanımı haritalarının tarihsel değişimine dayalı olarak gelecekteki arazi örtüsü/arazi kullanımı öngörülebilmektedir.

IDRISI TerrSet yazılımı iki tarihsel arazi örtüsü katmanı kullanılarak, artan ve azalan arazi kullanım sınıfları, net değişim ve her geçişte katkıda bulunanların tanımlanması dahil olmak üzere arazi değişiminin grafikleri ve haritaları oluşturulabilmektedir. LCM, trend yüzey analizini kullanarak karmaşık geçişleri tanımlanabilmektedir. Zamana bağlı mekansal görselleştirme anlamına gelen spatiotemporal visualization) spatiotemporal süreç, değişim ya da olayların incelenmesi mümkün kılar . Zaman-mekan kübü (space-time cube) özellikle karmaşık zaman-mekansal (spatiotemporal) eğilimleri belirlemede faydalı olduğu düşünülen bir

görselleştirme yöntemidir (Keskin et al., 2015). Trend enterpolasyonu, fiziksel bir süreci tanımlayan düşük dereceli polinomları kullanarak kademeli olarak değişen bir yüzey oluşturur. Bununla birlikte, polinom ne kadar karmaşıksa, ona fiziksel bir anlam yüklemek o kadar zor olur. Ayrıca, hesaplanan yüzeyler, özellikle kenarlarda, aykırı değerlere (son derece yüksek ve düşük değerler) karşı oldukça hassastır. Polinom eğilim yüzey analizi (polynomial trend surface analysis) üçüncü dereceden polinom ile tarım alandan, orman alandan ve diğer arazi örtüsü sınıflarından kentsel alana dönüşen alanların zamansal değişim potansiyelleri katman olarak üretilmiştir.

Modelleme süreci için önemli bir aşama kalibrasyon ve doğrulama işlemleridir (Singh vd., 2015). Modelin doğrulanmasının temel amacı, tahminlerin doğruluğunun değerlendirilmesidir. Doğrulama sürecinde, tahmin edilen arazi örtüsü ile uydu görüntülerinden elde edilen gözlemlenen arazi örtüsü haritası arasında bir karşılaştırma yapılır. Bu çalışmada uydu görüntüsü yerine doğruluğu kabul edilmiş CORINE arazi örtüsü/arazi kullanımı verileri kullanılmıştır. Arazi örtüsü değişimi senaryoları için uygulanan metodolojinin akış şeması Şekil 3.12’de görüldüğü gibidir.

Çalışmada öncelikle manuel olarak Arcmap ortamında 1990,2000,2006,2012,2018 arazi örtüsü verileri incelenmiştir. Tanımlanan arazi örtüsü/arazi kullanımı sınıfları ve değişimlerinin incelenmesinin ardından, arazi örtüsü sınıflarının benzerliği sebebiyle 1990, 2000, 2012 ve 2018 arazi örtüsü/arazi kullanımı verileri ile arazi örtüsü modelleme işlemlerinin yapılmasına karar verilmiştir. CORINE 1990 ve 2000 arazi örtüsü verisi kullanılarak arazi örtüsü/ arazi kullanımı sınıflarındaki değişim incelenmiştir. Ardından 2012 arazi örtüsü modeli üretilmiştir. Sonrasında mevcut CORINE 2012 arazi örtüsü verisi ile üretilen model doğrulaması yapılmıştır. Daha sonra aynı işlemler CORINE 2000 ve 2012 arazi örtüsü verisi kullanılarak 2018 arazi örtüsü modeli üretilmesi amacıyla yapılmıştır. Mevcut CORINE arazi örtüsü verisi ile üretilen model doğrulaması yapıldığında doğruluk oranı daha yüksek olması gerekçesi ile 2012 arazi örtüsü modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. 1990 ve 2000 yılları arazi örtüsü modeli kullanılarak 2030,2050, 2099 yılları arazi örtüsü modelleri üretilmiştir.



Şekil 3.12. Arazi örtüsü senaryoları için uygulanan metodolojinin akış şeması

3.3.3. İklim senaryoları ve iklim değişikliği etkileri

1979 yılından 2019 yılına kadarki zaman dilimi için iklim modeli CFSR verileri, sayısal yüksekli modeli, arazi örtüsü ve toprak verisinin birleştirilmesiyle SWAT modeli oluşturulmuştur. SWAT modeli meteorolojik iklim girdi verilerinin temin edilemediği dönemler için mevcut verilerin ortalamasına göre simülasyon yapılabilme yeteneğine sahiptir. Ancak 2010-2099 yılları için yapılacak iklim projeksiyonları için RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre Atmosphere Ocean General Circulation Modelleri (GCMs)'nin verileri 0.5° grid formatında günlük yağış ve maksimum-minimum yağış bilgileri Met Office Hadley Center Enstitüsü tarafından üretilen GCM2- HadGEM2-ES modeli için RCP (4.5,8.5) senaryoları verileri 2005-2099 yılları için temin edilerek geleceğe dönük hidrolojik model simülasyonu yapılması amaçlanmıştır.

3.3.3.1. İklim projeksiyonları

Küresel ölçekte projeksiyonlar çeşitli modellere dayanmaktadır. IPCC Beşinci Değerlendirme Raporu (Assessment Report5) (AR5) tarafından tanımlanan Temsili Konsantrasyon Rotaları (Representative Concentration Pathways) RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 ve RCP 8.5 senaryoları mevcuttur. Çalışmada kullanılan 2100 yılına kadar CO2 konsantrasyonunun 940 ppm'e erişeceğini göz önüne alan ve kötümser senaryo olarak adlandırılan RCP8.5 ile çok düşük CO2 konsantrasyonu RCP2.6 arasındaki konsantrasyonları temsil etmektedir. RCP'lerin (2.6, 4.5, 6.0 ve 8.5) sayısal değerleri, 21. yüzyılın sonunda yayılan zorlama yolu ve seviyesini (Radiative forcing pathway and level) temsil eden değerlerdir. Demografik, sosyal, ekonomik faktörler, arazi kullanımından kaynaklı gelecekteki değişiklikler ve sera gazı emisyonları gibi itici güçler temelinde geliştirilmiş değerlerdir (Van Vuuren, ve diğerleri, 2011). Gelecek yıllar için tanımlanan sera gazı emisyonları ve sıcaklık anomalileri Tablo 3.7'de gösterilmektedir (Rogelj vd., 2012).

Bu çalışmada, çalışma alanı için 2005 yılından 2099 yılına kadar günlük sıcaklık ve yağış iklim parametreleri HadGEM2-ES modeli için elde edilmiştir. SWAT ile RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarına göre arazi örtüsü değişimi ve iklim değişikliğine bağlı havza bazlı su potansiyelindeki tepkiler modellenmiştir. Veriler Water Weather Energy Ecosystem 2w2e GmbH (www.2w2e.com) kaynağından temin edilmiştir. İlgili veri kaynağından SWAT modeli girdisi formatında temin edilebilmektedir (Vaghefi, Abbaspour, Kamali, & Abbaspour, 2017) (Abbaspour, Vaghefi, Yang, & Srinivasan, 2019).

Tablo 3.7. RCP'ler için tahmin edilen sıcaklıklar ve CO2 konsantrasyonları

İsim	Radyatif Zorlama (W/m ²)	Sıcaklık Anomalisi °C	Rota	CO2 (ppm)
RCP 8.5	8,5	4,9	Yükselişte	1370
RCP 6	6	3	Stabil	850
RCP 4.5	4,5	2,4	Stabil	650
RCP 2.6	3 ve 2,6	1,5	Pik değerler ve iniş	490

4. BULGULAR

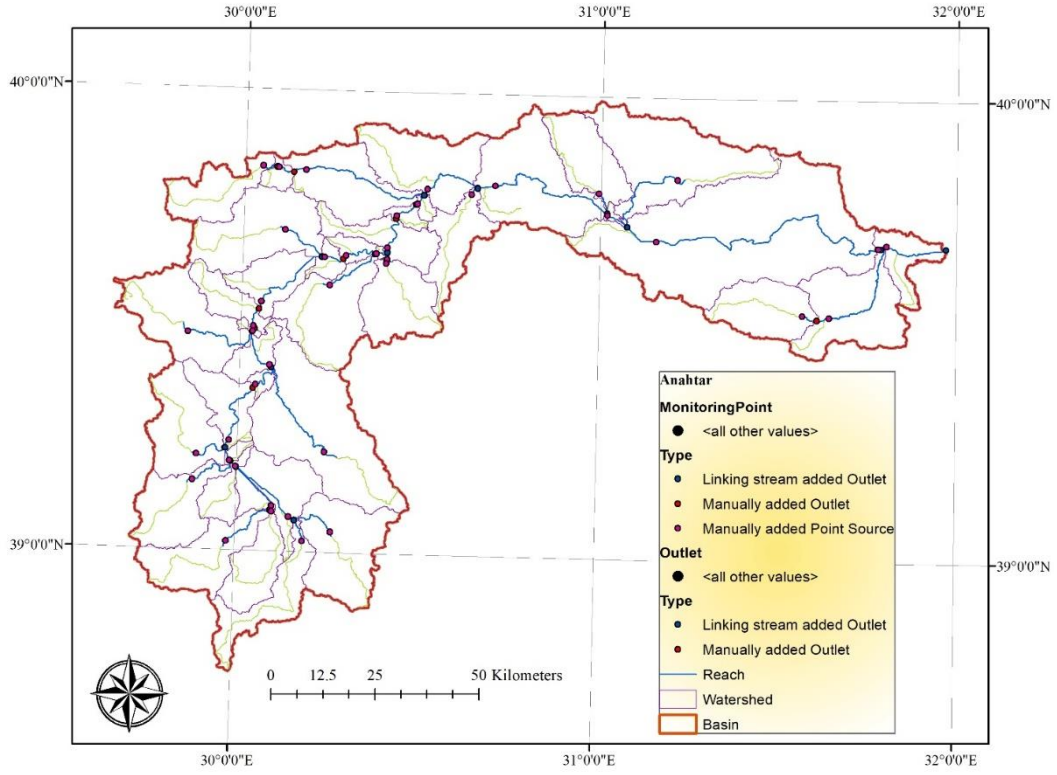
Bu bölümde çalışmanın amacı doğrultusunda geliştirilen yöntemin bulguları sunulmuştur. SWAT modeli kurulumu, modelin kalibrasyonu ve doğrulanması, kalibre edilmiş model çıktılarının bulguları, arazi örtüsü modeli sonuçları ve arazi örtüsü değişimi bulguları, çalışma kapsamında oluşturulan simülasyonlarda kullanılan iklim parametrelerinin değişimi ve arazi örtüsü-iklim değişikliğinin havzada mavi ve yeşil su kaynakları üzerindeki etkileri sunulmuştur.

4.1. SWAT Modeli Kurulumu

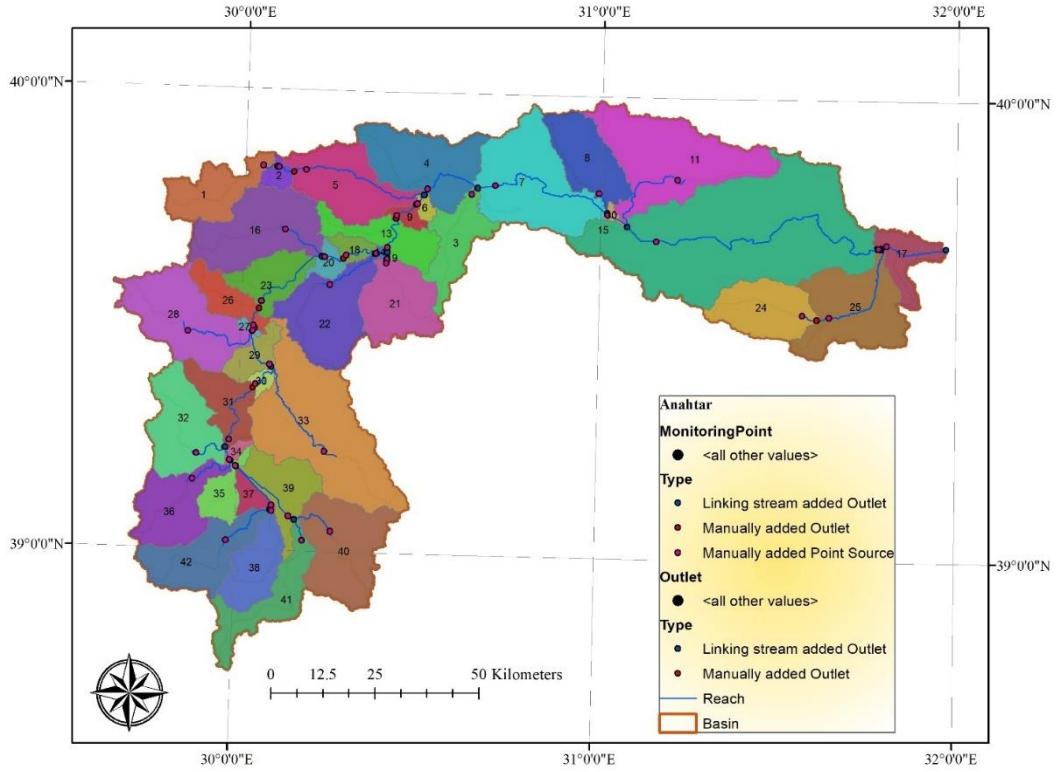
SWAT modelinde, CFSR meteorolojik verilerinden yağış ve sıcaklık verileri günlük periyotta girilmiştir. Tez kapsamında erişilebilen küresel iklim modellerinin çıktılarında yalnızca yağış, minimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık verilerinin bulunması nedeniyle potansiyel evapotranspirasyon hesabı için Hargreaves metodu kullanılmıştır. Modelin ilk 6 yılı ısınma periyodu olarak tanımlanmıştır. 2012 arazi örtüsü CORINE verisi kullanılmıştır. Referans dönem olarak tanımlanan 1985-2013 yılları periyodu yıllık olarak modellenmiştir.

4.1.1. Drenaj ağları ve alt havzalar

SWAT watershed delineation aracı ile yapılan analizde 30 metre çözünürlüklü ASTER DEM sayısal yükseklik verisi kullanılarak havza sınırları çıkarılmıştır. Seçilen çalışma sahasında 42 adet alt havza tanımlanmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Havza sınırlarının belirlenmesi ve havza karakterizasyonu



Şekil 4.2. Porsuk havzasında tanımlanan alt havzalar

4.1.2. Hidrolojik etki birimlerinin hesaplanması

Hidrolojik etki birimleri (Hydrological Response Units, HRUs), 2012 arazi kullanımı/örtüsü, toprak, eğim sınıfları birleştirilerek oluşturulmuştur. toplam 42 alt havza ve 325 HRU ile sonuçlanmıştır. HRU'lar, arazi kullanımı, toprak ve eğim için %5'lik eşik değer tanımlaması yapılmıştır. Model 1979-2013 arasında yıllık ortalama periyoduna göre çalıştırılmıştır. Isınma süresi altı yıl olarak seçilmiştir. Potansiyel evapotranspiration hesabı için Hargreaves yöntemi tercih edilmiştir. Akım eğri numarası (curve number) yöntemi ile hesaplanmıştır.

4.2. Kalibrasyon ve Validasyon Sonuçları

Çalışmanın 3.3.1. başlığında SWAT modelinin kalibrasyon süreci, kullanılması amaçlanan performans ölçütleri ve parametreler gösterilmiştir. Kalibrasyon sonucunda kullanılan parametrelerin nihai değerleri ve parametrelerin hassasiyetini ifade eden t ve p değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Kalibrasyonda kullanılan parametreler için global sensitivity analysis yöntemi ile p ve t değerleri kullanılarak hassasiyetleri tanımlanmıştır. t-Stat değerinin mutlak büyüklük değeri ilgili parametrenin daha hassas bir parametre olduğunu, büyük p değerleri (p-Value) de daha az hassas parametre olduğunu ifade etmektedir. Tablo 4.1'de sunulan parametreler hassasiyeti yüksek olan parametreden, hassasiyeti diğer parametrelere göre daha az olan parametreler şeklinde sıralanmıştır. Kullanılan parametrelerden yüzey akışı eğri numarasını ifade eden CN2 parametresinin diğer parametrelerde daha hassas olduğu görülmüştür. Bu bulguya paralel olarak, literatürde yer alan çalışmalarda SWAT modeli için CN2 parametresinin en hassas parametrelerden biri olduğu belirtilmiştir (K. C. Abbaspour vd., 2015; Cüceloğlu, 2019). Sırasıyla ESCO, SOL_K, CH_N2 parametreleri diğer parametrelere göre daha hassas olan üç parametredir.

Çalışma alanında bulunan akım gözlem istasyonlarından eş zaman periyodunda sürekli veri temin edilememektedir. Bu nedenle havzayı en iyi şekilde temsil etmesi için seçilen AGİ'lerden elde edilebilen verilerin zaman periyodu doğrultusunda kalibrasyon ve doğrulama periyotları belirlenmiştir. Aylık zaman adımı girdi verileri kullanılarak kalibrasyon ve doğrulama yapılan akım gözlem istasyonlarının model performans ve belirsizlik analizi sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kalibrasyonda tanımlanan parametre değerleri ve hassasiyet analizi sonuçları

Parametre adı	Kalibrasyon Değeri	t-Stat	P-Value
1:R__CN2.mgt	-0.081	-6.807642969	0.020903569
3:V__ESCO.hru	0.8212	-5.660201127	0.029823764
7:R__SOL_K(..).sol	0.3368	5.437346851	0.032199317
12:V__CH_N2.rte	0.1516	4.969407993	0.038189391
16:V__SFTMP.bsn	4.34	4.458779419	0.046797344
8:V__SOL_BD(..).sol	1.5012	4.337610017	0.049255659
22:V__PLAPS.sub	92	-4.332615458	0.049361011
20:V__TIMP.bsn	0.46	-4.051700263	0.055859965
13:R__SOL_Z(..).sol	0.407	2.736266056	0.111637137
6:A__REVAPMN.gw	152	2.269126385	0.151331613
2:R__SOL_AWC(..).sol	-0.181	-2.265275522	0.151735279
4:A__GWQMN.gw	2300	1.853786804	0.204941525
14:R__GW_DELAY.gw	0.0132	1.536858524	0.264141452
18:V__SMFMX.bsn	1.14	1.342534992	0.311511482
10:V__SURLAG.bsn	5.164	1.268809834	0.332194103
9:V__ALPHA_BF.gw	0.6372	0.831101955	0.493336981
17:V__SMTMP.bsn	-3.78	0.738412282	0.537157257
21:V__TLAPS.sub	-4.5	0.616105021	0.600603642
19:V__SMFMN.bsn	5.11	0.253895677	0.823293814
15:V__RCHRG_DP.gw	0.6452	0.111451107	0.921435757
5:A__GW_REVAP.gw	0.0957	-0.042938302	0.96965202
11:V__CH_K2.rte	69.44	-0.023462211	0.983411994

Tablo 4.2. AGİ'lerin için model kalibrasyonu ve doğrulaması için performans ölçütleri

AGİ	Kalibrasyon						Validasyon					
	p-factor	r-factor	R2	NS	PBIAS	KGE	p-factor	r-factor	R2	NS	PBIAS	KGE
7:Yeşildon	0.06	1.92	0.46	-	-141	4.27	0.18	1.38	0.6	-	-66.5	0.17
14:Kıranharman	0.17	1.29	0.61	-2.87	-111	1.97	0.21	1.03	0.5	-	-	1.73
15: Eşenkara	0.27	0.96	0.1	-2.48	-83.5	-0.23	0.13	0.49	0.26	0.05	-49.2	0.28
22: Porsuk Baraj Çıkışı	0.35	0.55	0.35	-0.09	-27.2	0.48	0.13	0.61	0.14	-	-62.9	0.11
28: Kütahya Yenibosna Çalça	0.52	0.51	0.74	0.71	4.3	0.85	0.43	1.37	0.66	0.35	11.3	0.63
34: Porsuk Çiftliği	0.56	0.72	0.82	0.65	-35.4	0.62	0.70	0.92	0.88	0.82	-20.8	0.78

Doğrulamanın gücünü değerlendirmek için kullanılan parametreler olan "P-faktörü" ve "R-faktörü" kriterlerine göre model hatası olarak adlandırılan P-faktörünün yalnızca havzanın membasında bulunan Porsuk çiftliği istasyonu için 0.7'den büyük olduğu görülmektedir. %95'lik belirsizlik düzeyindeki alan ve ölçülen değişkenin standart sapmasının oranını ifade eden R faktörüne göre Porsuk barajının çıkışından sonra

yer alan Yeşildon istasyonunun kalibrasyon periyodu(r -factor=1.92) dışında validasyon periyodunda ve diğer istasyonların kalibrasyon ve validasyon periyotları için yeterli uygunluğu göstermiştir.

Havzanın membasından Porsuk Barajı'na kadar olan bölümünde Kütahya ili içmesuyu ihtiyacı, Kütahya sulaması gerçekleşmektedir. Kütahya ilinin membasında bulunan Porsuk Çiftliği AGİ verileri incelendiğinde 2000-2005 zaman periyotlarındaki veriler kullanılarak yapılan kalibrasyonda, model ve gözlem verilerini iyi bir şekilde temsil ettiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.3-a). Kalibrasyon analizi sonucunda performans ölçütü R^2 (0.82) performans ölçütüne göre “çok iyi”, NS (0.65) ölçütüne göre “iyi”, KGE (0.62) ölçütüne göre “yeterli” düzeyde havzayı temsil ediyor olarak tanımlanmıştır. 2007-2013 zaman periyodu verileri kullanılarak yapılan doğrulama analizi sonucunda ise 2010 yılından sonra debinin artış gösterdiği (Şekil 4.3-b), R^2 (0.88) ve NS (0.82) performans ölçütüne göre “çok iyi”, PBIAS (-20.8) ve KGE (0.78) ölçütlerine göre “iyi” olarak havzayı temsil ettiği bulgusuna erişilmiştir.

Porsuk nehri üzerinde, memba Kütahya ve Porsuk Barajı arasında yer alan Kütahya Yenibosna Çalça AGİ 1999-2007 zaman periyotları kullanılarak yapılan kalibrasyon ve doğrulama analizleri sonucunda genel olarak model verilerinin gözlem verileriyle uyumlu olduğu (Şekil 4.3-c, Şekil 4.3-d) gözlemlenmiştir. Kütahya ilinin mansabında bulunan ve içmesuyu, endüstriyel ve sulama suyu amacıyla su çekilen ve geri deşarj edilen bir bölgede yer alan istasyon için R^2 (0.74), NS (0.71) ve KGE(0.85)performans ölçütüne göre “iyi”, PBIAS(4.3)performans ölçütüne göre “çok iyi” temsiliyet sonucuna erişilmiştir. 2008-2013 su yılı verileri kullanılarak gerçekleştirilen validasyon periyodunda R^2 (0.66) ve NS(11.3) performans ölçütlerine göre “iyi”, KGE (0.63) ölçütüne göre ise “yeterli” olarak tanımlanmıştır.

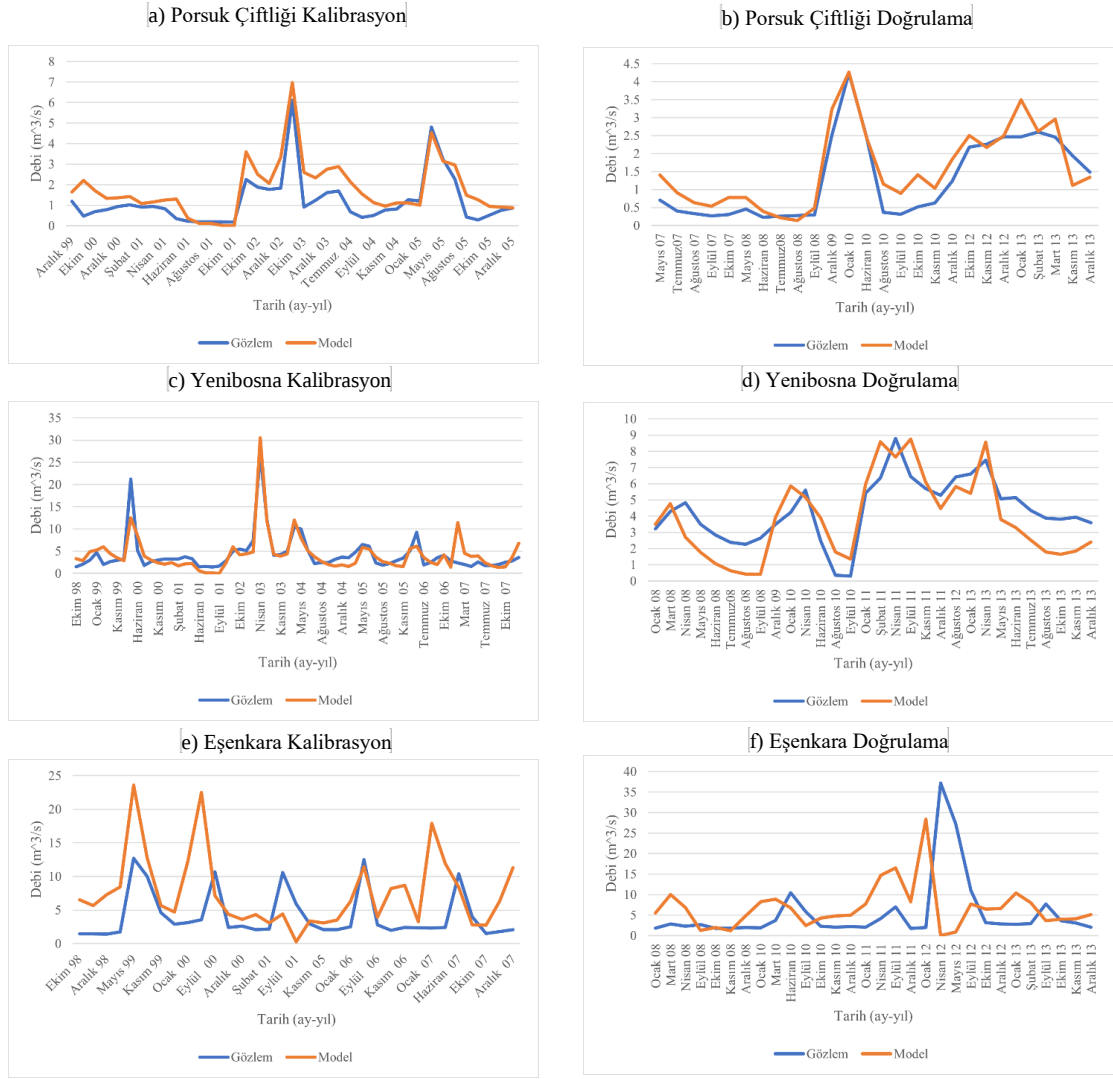
Eskişehir ili yakınlarındaki regülatörün membasında bulunan Eşenkara AGİ'nin 1999-2007 zaman periyotlarında yer alan verileri kullanılarak kalibrasyon işlemi yapılmıştır. İncelenen zaman periyodunda genel olarak model verileri gözlem verilerinden yüksek tanımlanmıştır (Şekil 4.3-e, Şekil 4.3-f). Kalibrasyon ve doğrulama periyotlarında seçilen performans ölçütlerine göre yeterli temsil etmediği tespit edilmiştir.

Havzayı ikiye bölen ve Eskişehir ilinin taşkından korunması, Eskişehir ve Alpu ovalarının sulanması, içme ve kullanma suyu temini amaçları ile inşaa edilen Porsuk

barajının çıkışında yer alan Porsuk barajı çıkışı AGİ'nin 1998-2001 zaman periyodu verileri kullanılarak kalibrasyon (Şekil 4.4-a), 2005-2013 zaman periyodu kullanılarak da doğrulama analizi(Şekil 4.4-b), kalibrasyon ve doğrulama periyotları için de hiçbir performans ölçütü için yeterli temsiliyet tanımlamasına erişilememiştir.

Porsuk barajından Mayıs ayından Eylül ayı sonuna kadar sulama şebekesine su aktarılmaktadır. Eskişehir ovasının tarımsal su ihtiyacını karşıladıktan sonra Alpu ilçesi Yeşildon mevkiinde kanal tekrar Porsuk nehrine bağlanmaktadır (Güngör, 2011). Tarım arazilerinin yoğun olduğu bölgelerde modele tarım arazileri için kullanılan su miktarı tanımlanamamıştır. Yeşildon AGİ kalibrasyonu için 1995-1996, doğrulama için 1997-1998 yılları periyotları verileri kullanılmıştır. Model verilerinin gözlem verilerine göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.4-c, Şekil 4.4-d). Ancak antropojenik faaliyetlerin eksiksiz bir şekilde modele yansıtılamaması sebebiyle yalnızca validasyon periyodu için $R^2(0.6)$ performans ölçütüne göre modelin havzayı “iyi” temsil ettiği sonucuna erişilmiştir. Referans alınan diğer performans ölçütlerine göre yeterli uyumu gösterememiştir.

Porsuk nehri Sakarya nehrine dökülmeden önce havza çıkışında, Kıranharman köyü yakınlarında yer alan Kıranharman AGİ için 1996-2001 zaman periyodu verileri kullanılarak kalibrasyon analizi, 2004-2010 yılları zaman periyodunda yer alan ölçüm verileri kullanılarak doğrulama analizi yapılmıştır. Model sonuçlarının gözlem verilerine göre daha yüksek olduğu gözlemlenen istasyonda (Şekil 4.4-e, Şekil 4.4-f), kalibrasyon periyodunda yalnızca $R^2 (0.61)$ performans ölçütüne göre “iyi”, doğrulama periyodunda ise yine yalnızca $R^2 (0.5)$ performans ölçütüne göre “yeterli” sınıfında modelin havzayı temsil ettiği bulgusuna erişilmiştir.

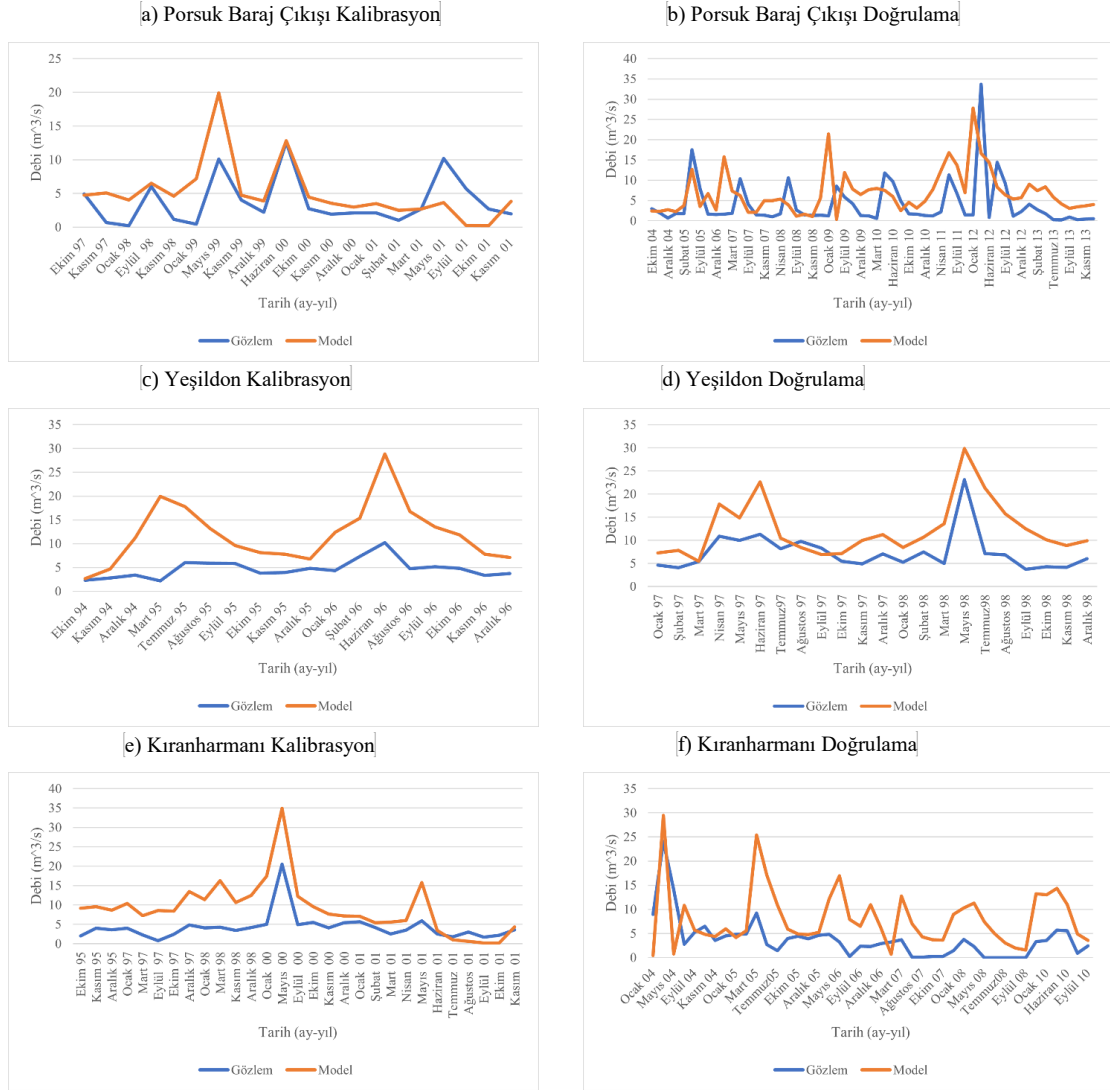


Şekil 4.3. AGİ'ler Aylık model ve gözlem sonuçları – I

Kalibrasyon ve doğrulama analizleri sonucunda her istasyon ve performans ölçütü için model ve gözlem sonuçları arasında çok iyi bir ilişki olmadığı görülmüştür. Havza modelinin en iyi şekilde temsil edilmesi için mevcut AGİ verilerinden havzanın memba – Kütahya ili bölümünde yer alan Porsuk Çiftliği, Yenibosna Çalça istasyonları, havzayı ikiye bölen Porsuk barajı çıkışında yer alan Porsuk baraj çıkışı istasyonu ve Porsuk barajından sonra yer alan Yeşildon istasyonu ve havzanın mansabında yer alan Kırınharmanı istasyonları değerlendirilmiştir.

Model ile en yüksek uyumu gösteren istasyon havzanın membasında yer alan Porsuk çiftliği ve ardından en yüksek uyumu gösteren istasyon Kütahya Yenibosna Çalça iken, havzayı ikiye bölen Porsuk baraj çıkışında yer alan Porsuk Baraj Çıkışı istasyonu ve Porsuk barajının çıkışında yer alan ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu Yeşildon

istasyonları havzayı en az temsil eden istasyonlar olarak tanımlanmıştır. Değerlendirilen AGİ'lerin tamamında her bir performans ölçütü için yeterli temsil ettiği bilgisine erişilemese de erişilebilen veriler, kullanılan performans ölçütleri ve parametreler doğrultusunda en iyi sonuca erişilmeye çaba gösterilmiştir.



Şekil 4.4. AGİ'ler Aylık model ve gözlem sonuçları - II

4.3. Yeşil ve Mavi Su Potansiyeli

Su bütçesi elemanları Mavi Su, Yeşil Su Deposu ve Yeşil Su Akışı bilgisi ve yağış bilgisi, uzun yıllar ortalama değerleri alınarak alt havza bazlı haritalanmıştır. Şekil 4.5'te çalışma bölgesi için elde edilen alt havza bazlı yağış ve mavi su değerleri dağılımı görülmektedir. Çalışma alanının kuzey batısı Kütahya mansabından Eşenkara alt havzasına kadar olan bölge ve havzanın mansabına doğru Dümrek ve İlören bölgesinde daha fazla yağış aldığı görülmektedir. Yağış bilgisinin daha fazla olduğu bu bölgelerde

mavi su potansiyelinin de daha olduğu, İnönü ve Sobran alt havzalarının en yüksek mavi su potansiyeline sahip alt havzalar olduğu görülmüştür. Havzanın mansabında bulunan Kırınharmanı alt havzası ise en düşük mavi su potansiyeline sahip alt havzadır.

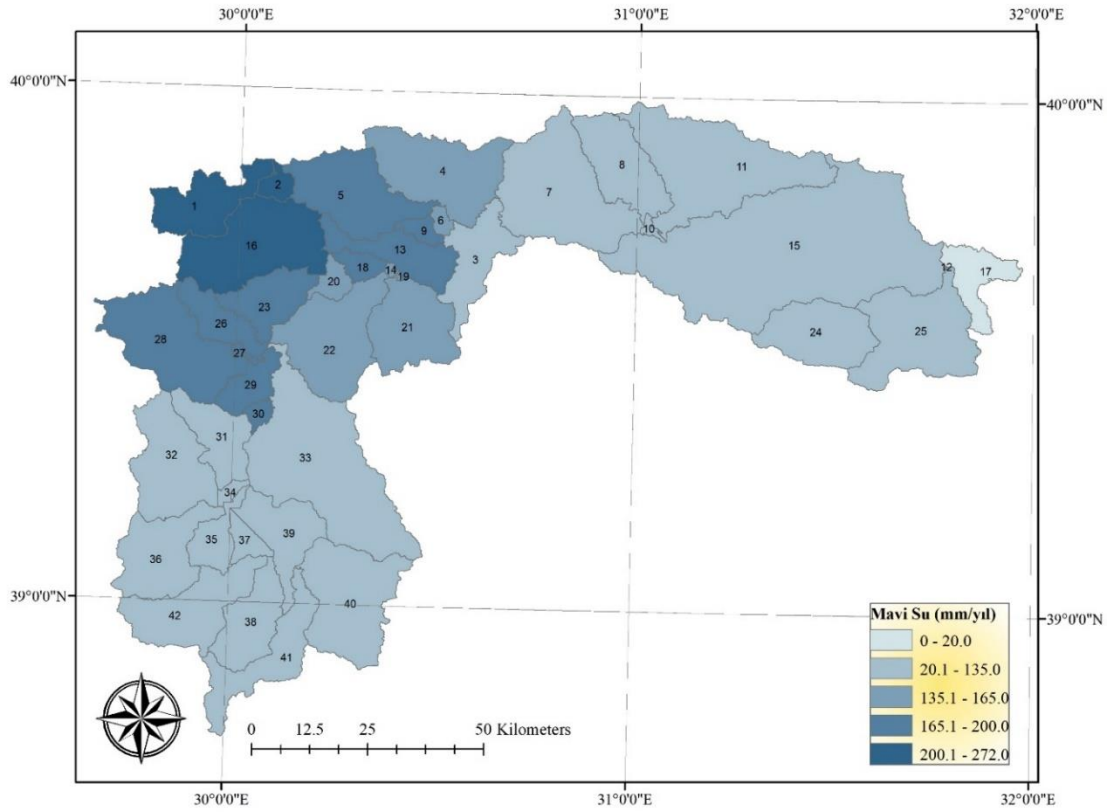
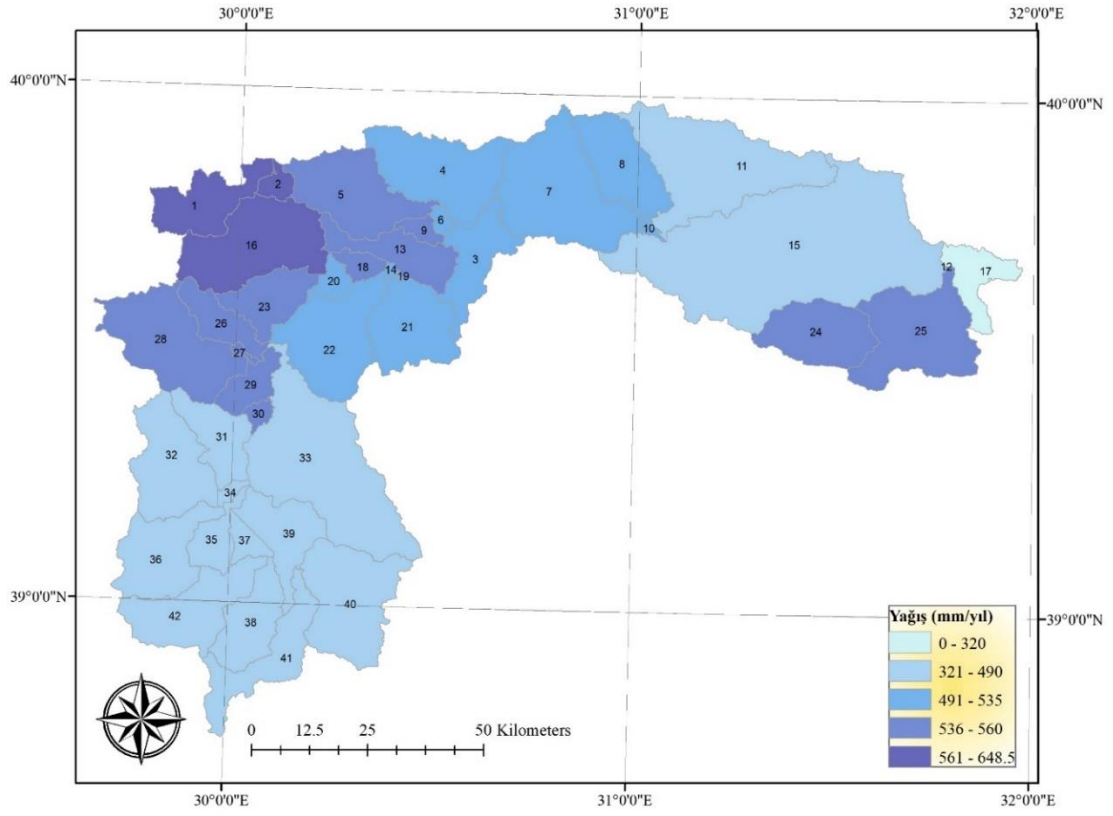
Yeşil su deposu iklim parametrelerine ek olarak toprak yapısı ve arazi örtüsüne bağlıdır. Şekil 4.6’da yeşil su deposu ve yeşil su akışı dağılımı görülmektedir. Havzanın ikinci yarısı Sarısongur, porsuk çayı boyunca tarımsal faaliyetlerin fazla olduğu Alpu ovası, Beylikova, Dümrek ve İlören bölgelerinde toprak nemini ifade eden yeşil su deposu değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Toprak neminin yüksek olduğu bölgelerde ve ek olarak porsuk barajının bulunduğu alt havzada toprak nemi ve bitki örtüsüne bağlı terleme ve buharlaşmaya bağlı artan gerçek evapotranspirasyonu ifade eden yeşil su akışı değerlerinin fazla olduğu görülmektedir.

Çalışmada haritalanan parametrelerin değişkenler arasında anlamlı bir bağımlılık ifade edip etmediğini anlamak amacıyla değerlerin güvenilirliğini gösteren Correlation Coefficient (CV) Korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Korelasyon katsayısının düşük olması ilgili parametre çıktılarının çok daha az değişkenlik gösterdiğini ifade etmektedir. Korelasyon katsayısının denklemi Denklem 4.1’de verilmiştir.

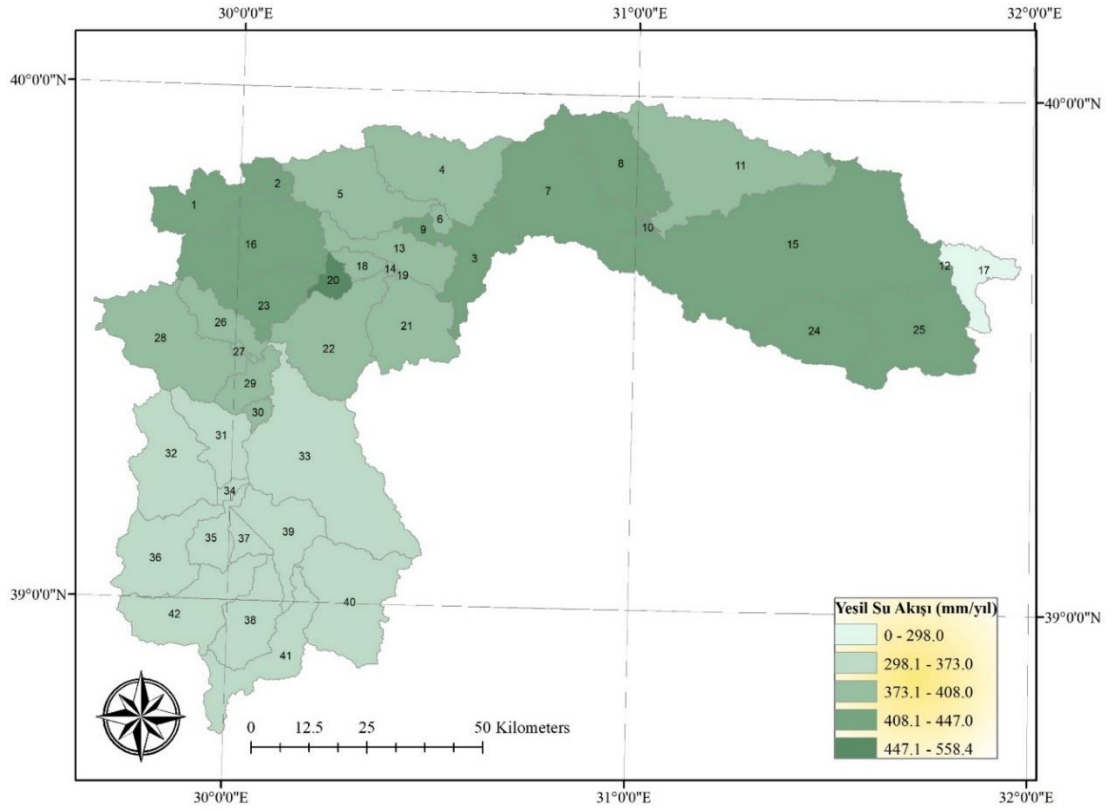
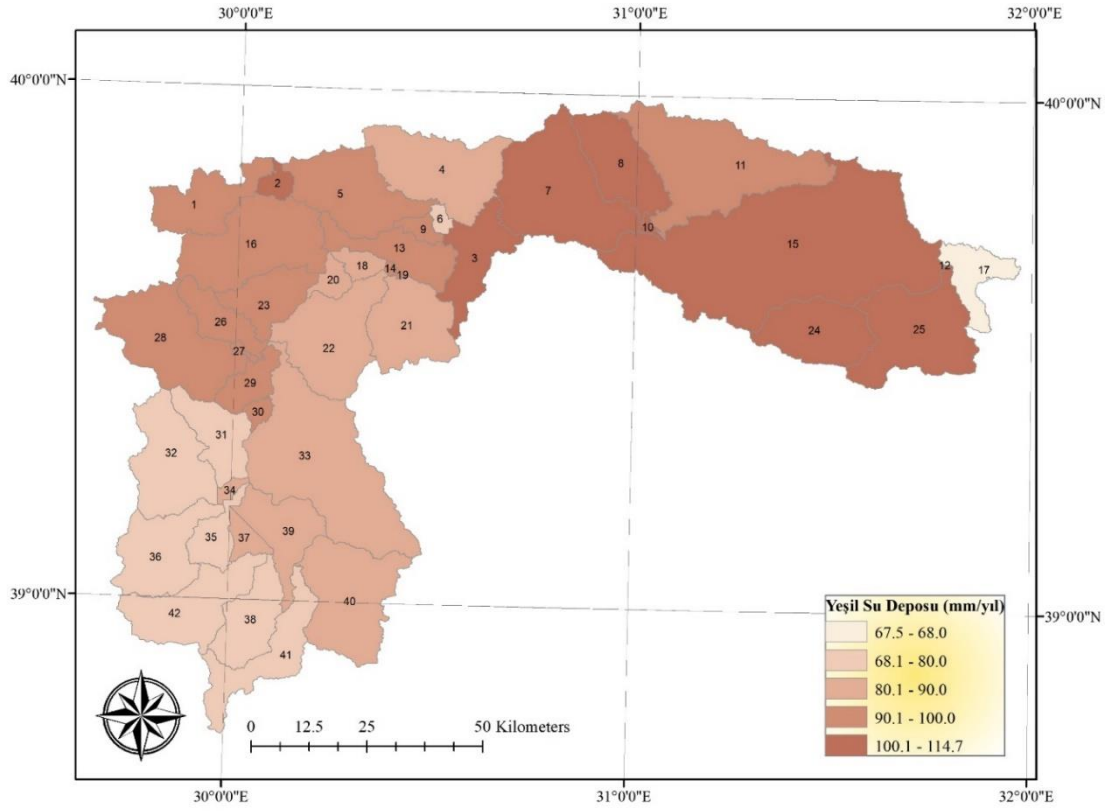
$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100 \quad (4.1)$$

Burada; σ , model çıktısı zaman serisinin standart sapması, μ , uzun dönem ortalama değeridir.

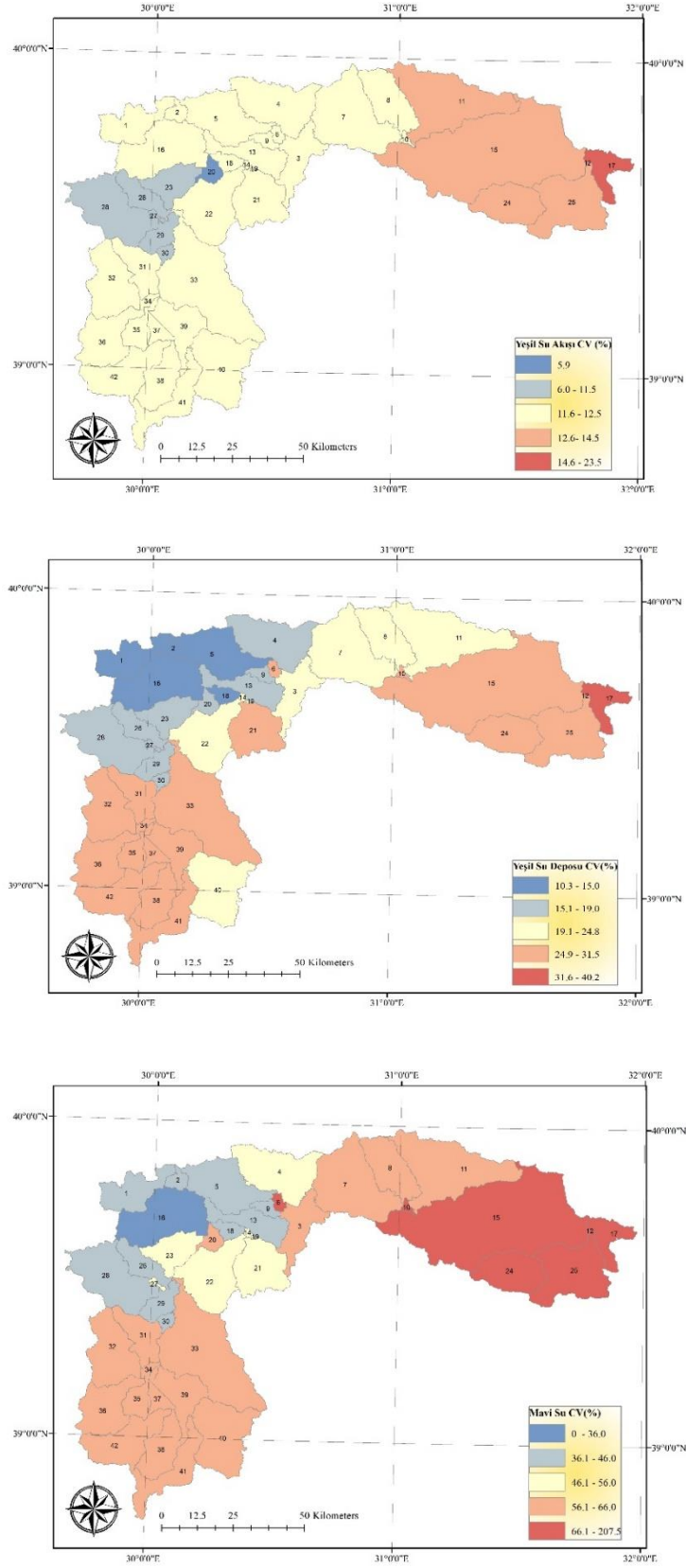
Korelasyon katsayısı haritaları Şekil 4.7’de görüldüğü gibidir. Elde edilen bulgulara göre Kütahya ilinin mansabından Eskişehir ili kent merkezine kadar olan bölgenin su temini açısından daha güvenli olduğu bilgisi ortaya çıkmaktadır. Alt havza bazlı değerlendirilen havzanın su potansiyeli bileşenleri Tablo 4.3’te alt havza numarasına göre verilmiştir.



Şekil 4.5. Referans dönem yağış değerleri ve mavi su değerleri dağılımı



Şekil 4.6. Referans dönem yeşil su akışı ve yeşil su deposu değerleri dağılımları



Şekil 4.7. Referans dönem mavi su, yeşil su deposu ve yeşil su akışı için korelasyon katsayısı mekansal dağılımı

Tablo 4.3. Referans dönem yağış, mavi su ve yeşil su bilgileri

Alt havza no	Yağış (mm)	Yeşil su depo (mm)	Yeşil Su Akış (mm)	Yüzeysel Akış (mm)	Akifere Sızma (mm)	Mavi su (mm)	SWAT %	Alan (Km ²)
1	649	99	432	161	102	263	2	232
2	649	103	435	158	99	258	0	43
3	534	101	421	86	43	129	2	218
4	534	86	394	104	61	164	4	402
5	562	92	405	113	79	192	3	354
6	534	78	397	118	34	152	0	22
7	524	104	421	77	48	125	5	547
8	524	102	415	81	50	131	3	269
9	562	98	414	108	70	178	0	38
10	524	115	447	58	34	92	0	12
11	493	93	390	78	43	121	6	614
12	318	68	299	14	7	21	0	0
13	562	96	409	110	79	189	2	195
14	519	92	395	91	58	150	0	6
15	493	105	415	58	36	94	14	1503
16	649	94	422	165	108	273	4	449
17	318	67	298	15	7	22	1	146
18	562	86	398	117	80	198	0	51
19	519	93	395	92	58	150	0	2
20	519	83	558	103	54	157	0	51
21	519	86	396	91	60	151	3	294
22	519	85	391	95	61	156	4	388
23	542	92	441	113	58	172	2	182
24	538	112	439	75	43	118	3	281
25	538	112	439	74	45	119	4	436
26	542	95	393	111	67	178	1	135
27	542	93	392	114	59	173	0	10
28	542	95	393	113	62	174	4	438
29	542	92	388	116	66	182	1	104
30	542	92	388	115	70	185	0	28
31	475	77	357	93	44	138	2	188
32	475	76	364	87	48	135	3	337
33	479	84	374	79	47	126	7	782
34	475	80	368	85	41	127	0	20
35	475	78	373	80	43	122	1	105
36	475	77	366	87	43	130	3	287
37	475	83	370	83	42	124	1	54
38	475	80	372	81	43	124	2	214
39	475	80	372	82	42	124	2	216

Tablo 4.3. (Devam) *Referans dönem yağış, mavi su ve yeşil su bilgileri*

Alt havza no	Yağış (mm)	Yeşil su depo (mm)	Yeşil Su Akış (mm)	Yüzeysel Akış (mm)	Akifere Sızma (mm)	Mavi su (mm)	SWAT %	Alan (Km ²)
40	479	86	372	80	48	128	4	423
41	475	80	371	82	43	125	2	253
42	475	77	363	89	40	130	3	316

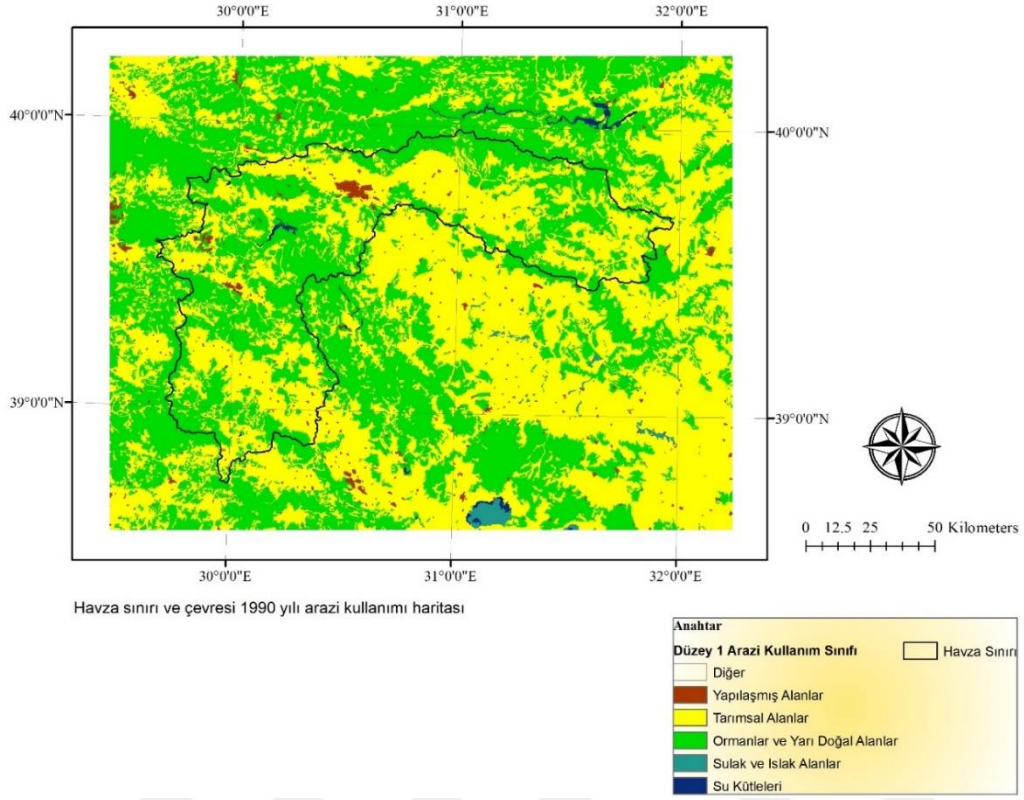
4.4. Porsuk Havzası Arazi örtüsü değişiminin tanımlanması ve tahmin edilmesi

Arazi örtüsünün hidrolojik döngüye olan etkilerinin tanımlanmasının amaçlandığı bu aşamada öncelikle çalışma alanında arazi örtüsü-kullanımında geçmişten günümüze meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Ardından IDRISI yazılımı yardımı ile arazi örtüsü-kullanımının modellenmesi amaçlanmıştır.

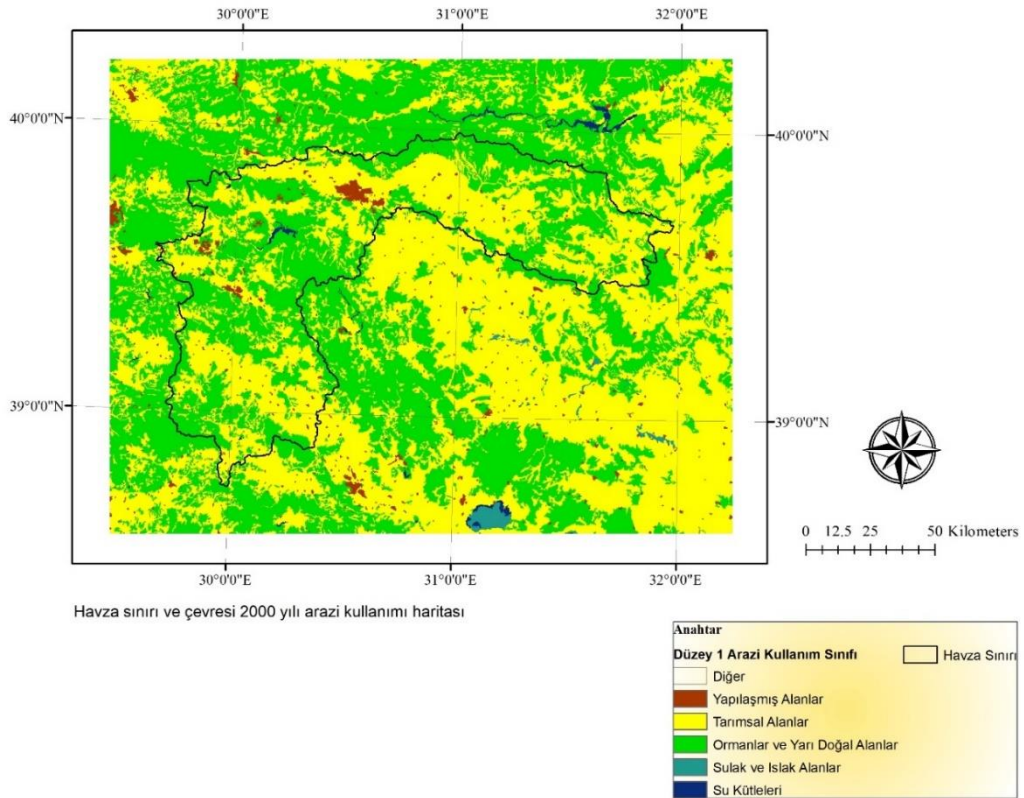
4.4.1. Geçmişten günümüze arazi örtüsü-arazi kullanımında meydana gelen değişimin tanımlanması

CORINE 1990, 2000, 2006, 2012 yılı verileri Düzey 1, Düzey 2, Düzey 3 kategorilerinde sınıflandırılarak arazi örtüsü-arazi kullanım tiplerinin büyüklükleri EK-1’de sunulmuştur.

İlgili yıllar incelendiğinde çalışma alanında bazı alan tanımlamalarının yıllar içinde değiştiği ve çeşitli alt sınıfların önceki yıllarda varken daha sonraki yıllarda olmadığı ya da tanımlamasının değiştiği görülmüştür. Bu nedenle arazi örtüsü modelleme aşamasında 1990 yılı, 2000 yılı ve 2012 yılı CORINE arazi örtüsü verilerinin kullanılmasına ve CORINE arazi örtüsü Düzey 1’ye göre sınıflandırılarak değerlendirilmesine karar verilmiştir. 1990 yılı, 2000 yılı arazi örtüsü haritaları Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Şekil 4.8. CORINE Düzey 1 sınıflandırmasına göre havza sınırı ve çevresi 1990 yılı arazi örtüsü haritası



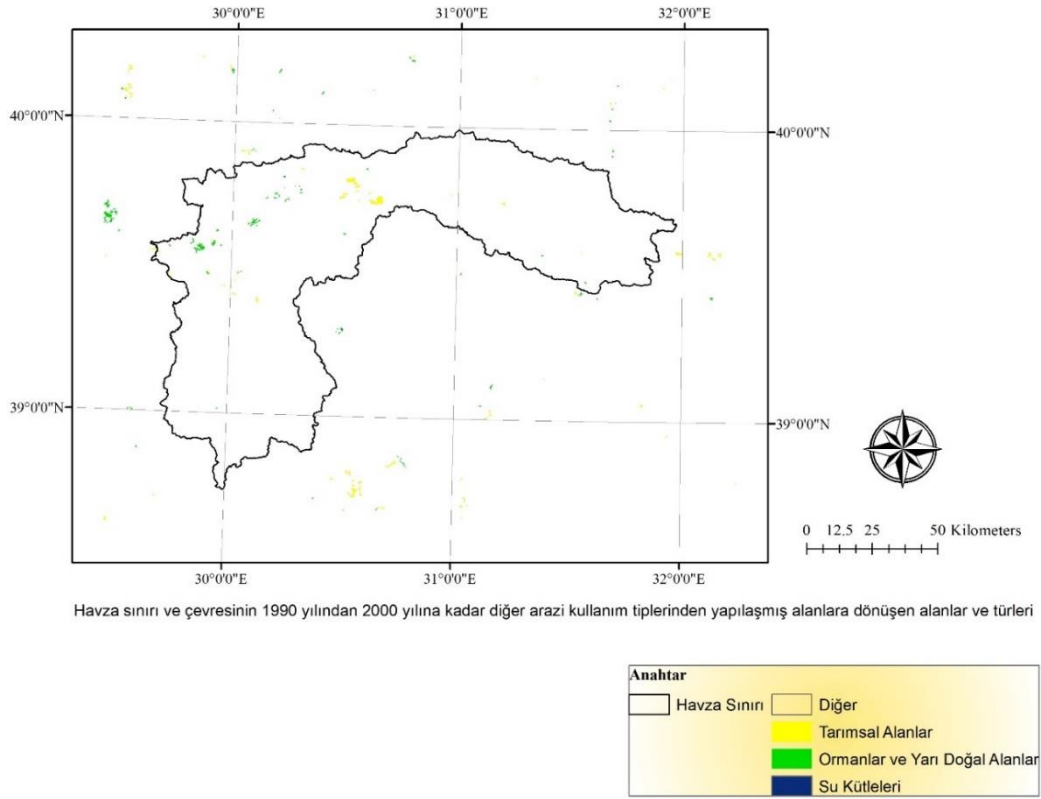
Şekil 4.9. CORINE Düzey 1 sınıflandırmasına göre havza sınırı ve çevresi 2000 yılı arazi örtüsü haritası

Tablo 4.4. Havza sınırları için CORINE düzey 1 sınıflamasına göre 1990 yılı arazi örtüsü ve 2000 yılı arazi örtüsü bilgileri

1990 yılı CORINE Düzey 1 sınıfları alansal büyüklük değerleri(m ²)(P ₁)	2000 yılı CORINE Düzey 1 sınıfları alansal büyüklük değerleri(m ²) (P ₂)	Fark (m ²) (P ₂ -P ₁)	% Fark (Percentage Difference) (P ₂ -P ₁)*(100)/(P ₁)	İçerdiği düzey 2 sınıfları	Düzey 1 sınıfları
22021.21	25959.8	3938.59	17.9	1.1, 1.2 , 1.3, 1.4	1. Yapılaşmış Alanlar
543574.34	541200.41	- 2373.93	-0.4	2.1,2.2, 2.3,2.4	2. Tarımsal Alanlar
506405.21	504708.13	- 1697.08	-0.3	3.1, 3.2, 3.3	3. Ormanlar ve Yarı Doğal Alanlar
176.05	176.05	0	0	4.1	4. Sulak ve Islak Alanlar
2720.87	2854.77	133.9	4.9	5.1	5. Su Kütleleri

Tablo 4.4'te CORINE düzey 1 sınıflamasına göre 1990 yılı arazi örtüsü ve 2000 yılı arazi örtüsü değişimi bilgileri verilmektedir. 1990 yılı ve 2000 yılı CORINE verisi düzey 1 sınıflaması doğrultusunda karşılaştırıldığında yapılaşmış alanın %17.9 arttığı, tarımsal alanın % 0.5 azaldığı, ormanlar ve yarı doğal alanların % 0.3 azaldığı, sulak alan bilgisinin değişmediği ve su kütlelerinin %4.9 arttığı görülmektedir.

Arazi kullanımında meydana gelen değişimin mekânsal olarak tanımlanması için IDRISI TerrSet Land Change Modeller aracı ile 1990 yılı ve 2000 yılı corine verisi karşılaştırılmıştır. Bu işlem yapılırken arazi kullanımının kesişimlerinin tanımlanması için çakıştırma yöntemi kullanılmıştır. Şekil 4.10'da diğer arazi kullanım tiplerinden yapılaşmış alanlara dönüşen alanlar ve türleri görülmektedir.



Şekil 4.10. Havza sınırı ve çevresinin 1990 yılından 2000 yılına kadar diğer arazi kullanım tiplerinden yapılaşmış alanlara dönüşen alanlar ve türleri

4.4.2. Gelecek yıllar için arazi kullanımının tahmin edilmesi

Arazi karşılaştırması için IDRISI programında CA_MARKOV modeli uygulanmıştır. CA_MARKOV modeli ile yer yılın arazi kullanım haritaları karşılaştırılarak dönüşüm matrisi belirlenmiştir. Hücresel Otomata sistemi (The Cellular Automata system) yakın yerler ile merkezi yer arasında bir ilişki kurmuş ve dönüşüm matrisine göre bir değişiklik olup olmayacağını öngörmüştür. İlk olarak, belirli zamanların iki haritasını karşılaştırarak bir değişim matrisi oluşturulmuştur. Bu karşılaştırmanın bir sonucu olarak, arazi tipi dönüşüm olasılığı tespit edilmiştir. Daha sonra itici faktörler kullanılarak gelecekteki eğilimlerin tahmini elde edilmiştir.

Değişime etki ettiği kabul edilen itici faktörler kendi içinde her dönüşüm için karşılaştırılarak korelasyon matrisi ve haritalar oluşturulmuştur. Bu verilerle dönüşüm ve korelasyon matrisleri geliştirilmiştir. Oluşturulan dönüşüm matrisleri ile katmanların birbiri ile olan ilişkisi de tanımlanabilmiştir.

4.4.2.1. Arazi kullanımı/örtüsü değişiminde itici güce sahip değişkenlerin (alt model değişkenlerinin) analizi

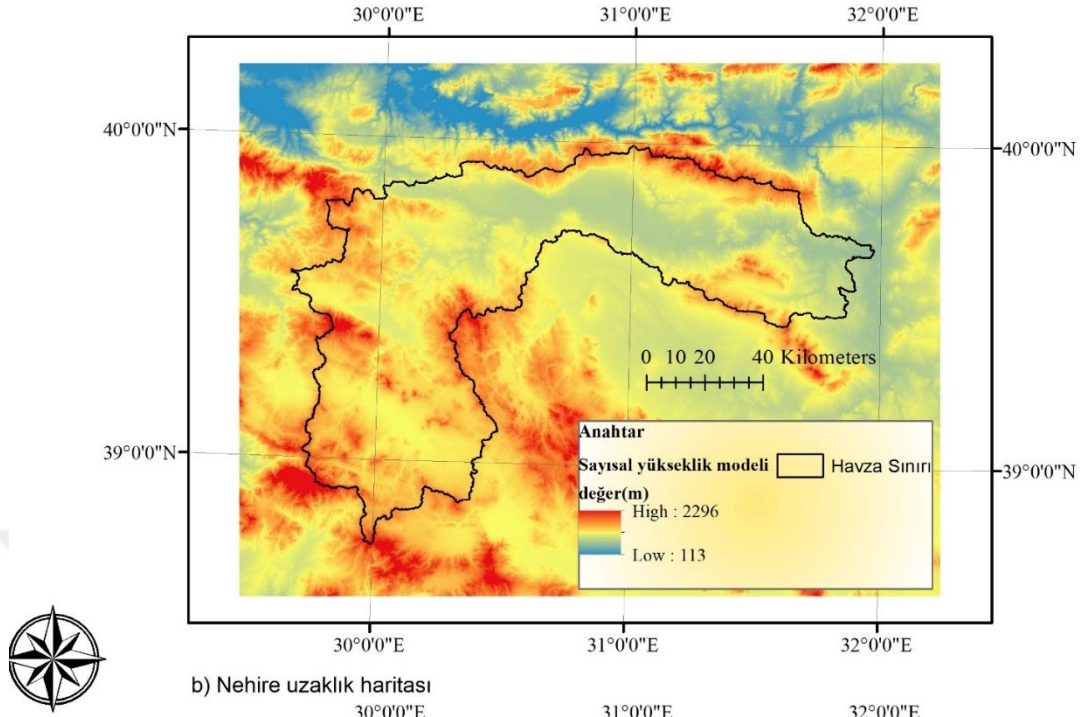
1990 yılından 2000 yılına düzey 1 sınıfları doğrultusunda arazi örtüsündeki değişim bilgilerine ve literatürde yer alan çalışmalara dayanılarak çalışma alanının arazi örtüsünün değişiminde etkili olan itici güçlerin eğim, bakı, yol ağına uzaklık, nehre uzaklık, kentsel alana uzaklık parametrelerinin olduğu kabul edilmiştir. Bu kapsamda sayısal yükseklik verisi, OpenStreetMap kaynağından çalışma alanının yol verisi, ArcSWAT çıktısı nehir bilgisi ve 1990 yılı CORINE verisinden yerleşim alanları bilgileri itici güç olarak tanımlanmıştır. Ek olarak sulak alanların yerleşim alanına dönüşmediği ve su kaynağından yerleşim alanına dönüşen alan konumu, kentsel alandan tarımsal alana, su kaynağına, sulak alana ve ormana dönüşen alanların konumları tespit edilmiştir.

Yapılaşmış alan dışındaki diğer arazi örtüsü-kullanım sınıflarından, orman alandan ve tarımsal alandan yapılaşmış alana dönüşme trendleri haritalanmıştır. Bu etkinin tanımlanması orman alandan yerleşim alanına dönüşme trendi ve tarımsal alandan yerleşim alanına dönüşme ve tüm arazi kullanım türlerinden yerleşim alanına dönüşme trendi 3rd order polynomial trende göre katman haline getirilmiştir. Arazi kullanımı/örtüsü değişiminde itici güce sahip olduğu kabul edilen değişkenler şunlardır;

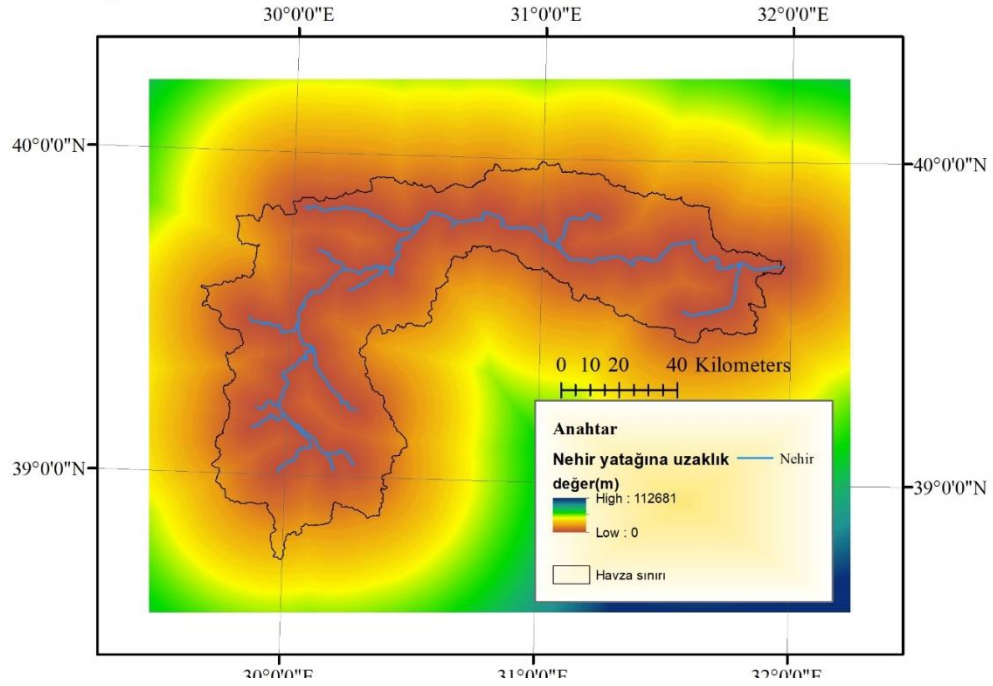
- Sayısal Yükseklik Verisi
- Nehre uzaklık verisi
- Karayollarına uzaklık verisi
- 1990 yılı kentsel alana uzaklık
- Orman ve yarı doğal alan kullanım tiplerinden kentsel alana dönüşme trendi(3rd)
- Tarımsal alandan kentsel alana dönüşme trendi (3rd)
- Diğer arazi kullanım tiplerinden kentsel alana dönüşme trendi(3rd)

İtici güce sahip değişkenler Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te görüldüğü gibidir.

a) Havza sınırı ve çevresi sayısal yükseklik bilgisi haritası

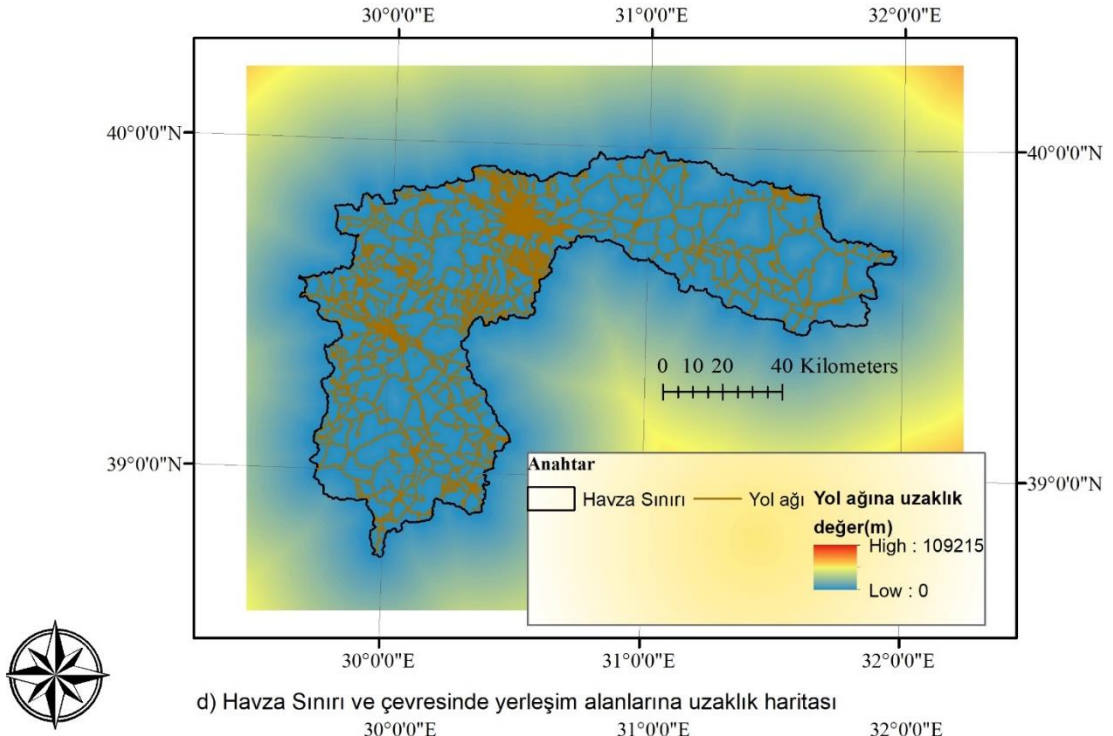


b) Nehire uzaklık haritası

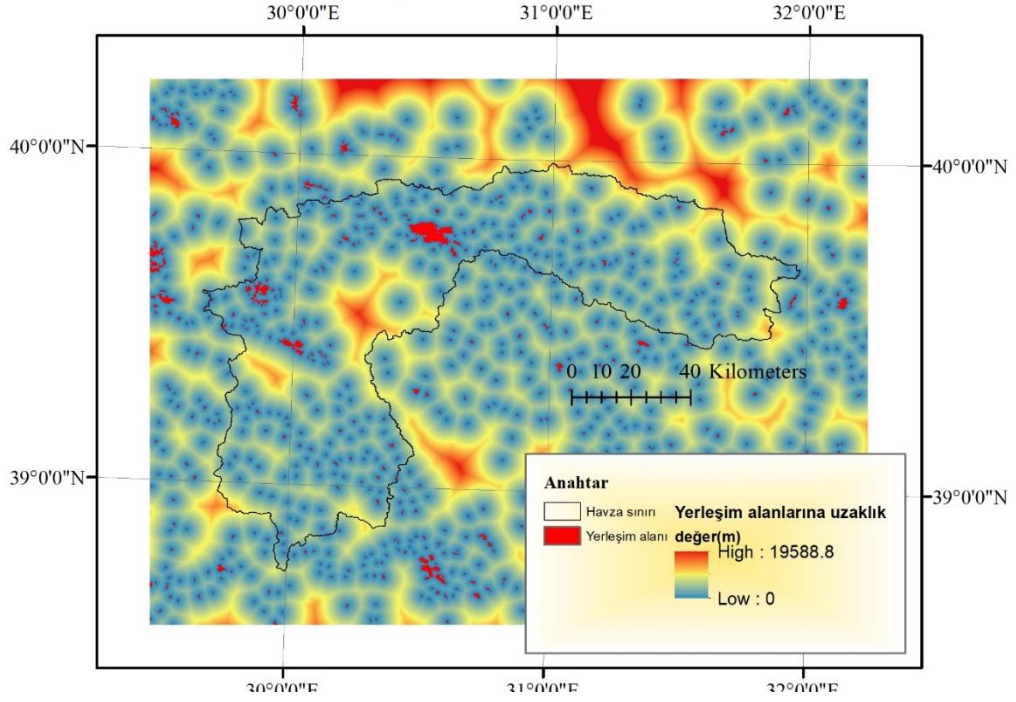


Şekil 4.11. Porsuk havzası arazi örtüsü değişiminde itici güce sahip olan değişkenler; a) sayısal yükseklik bilgisi, b) nehire uzaklık bilgisi

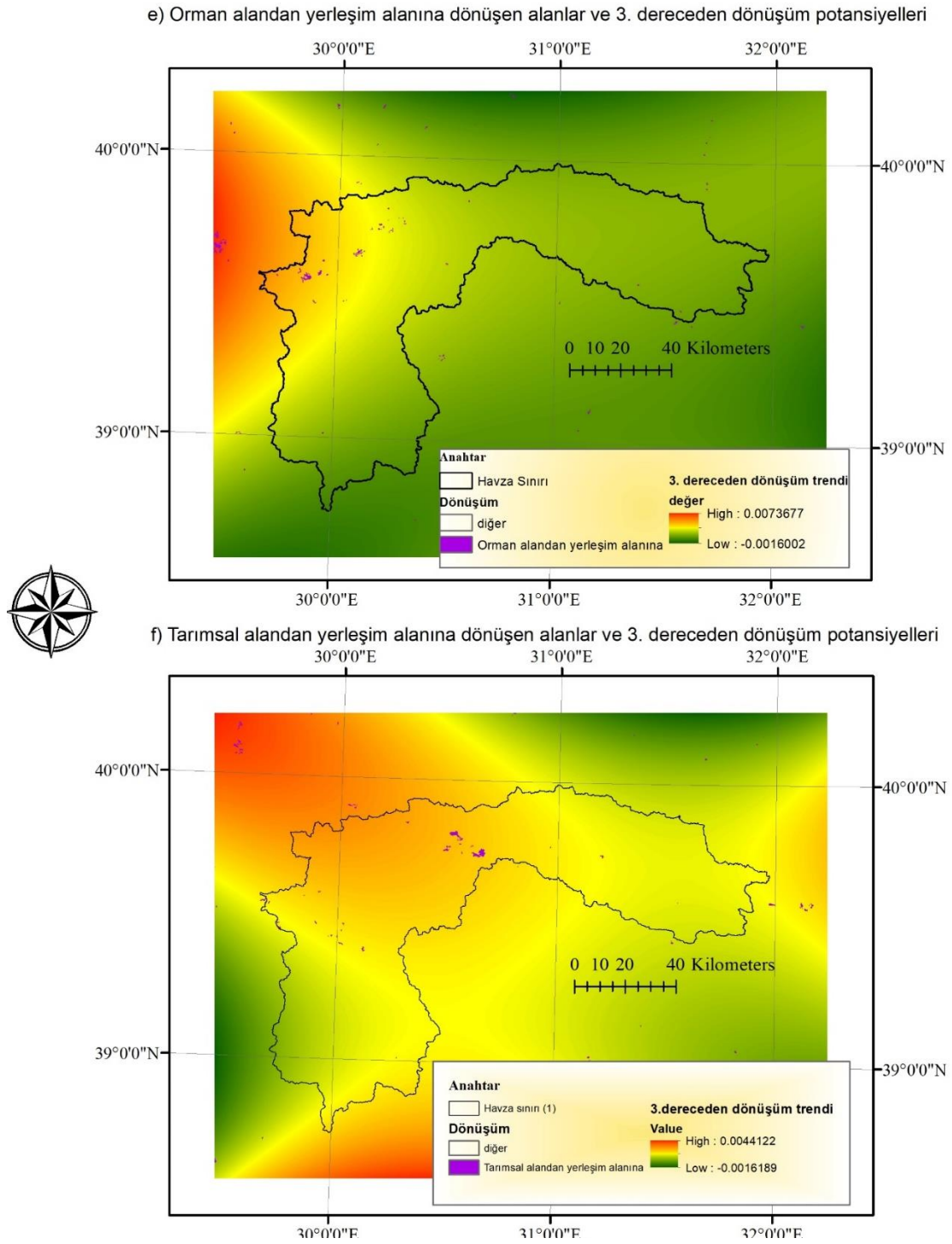
c) Havza sınırında bulunan yol ağına uzaklık haritası



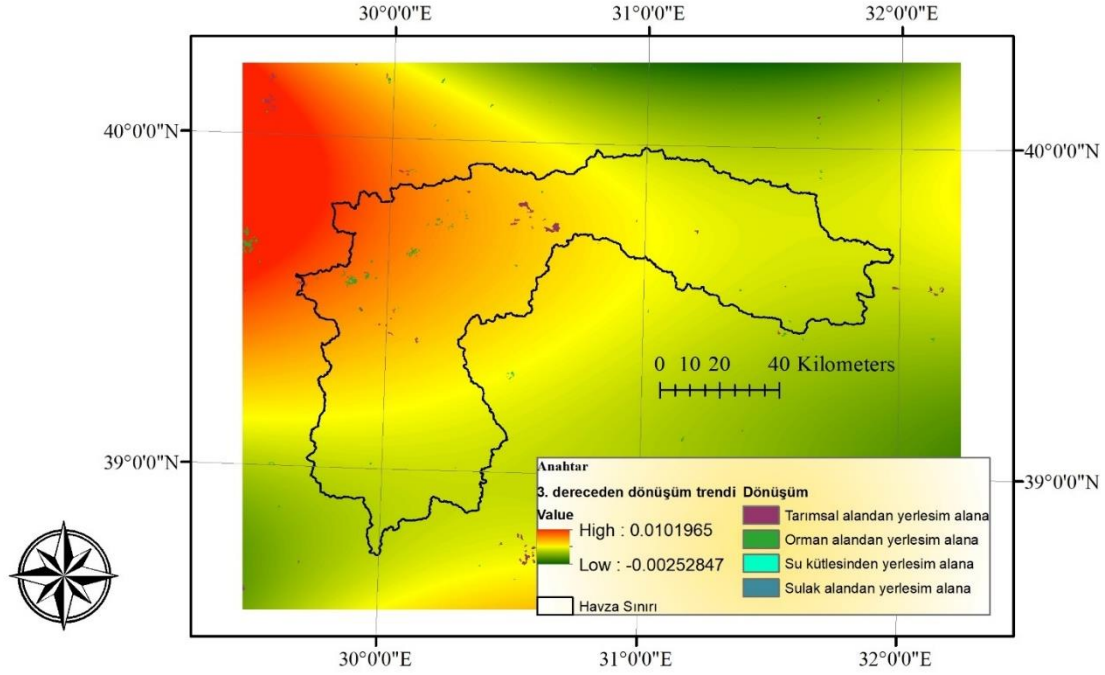
d) Havza Sınırı ve çevresinde yerleşim alanlarına uzaklık haritası



Şekil 4.12. Porsuk havzası arazi örtüsü değişiminde itici güce sahip olan değişkenler; c) yol ağına uzaklık bilgisi, d) yerleşim alanına uzaklık bilgisi



g) Diğer arazi kullanım türlerinden yerleşim alanına dönüşen alanlar ve 3. dereceden dönüşüm potansiyelleri



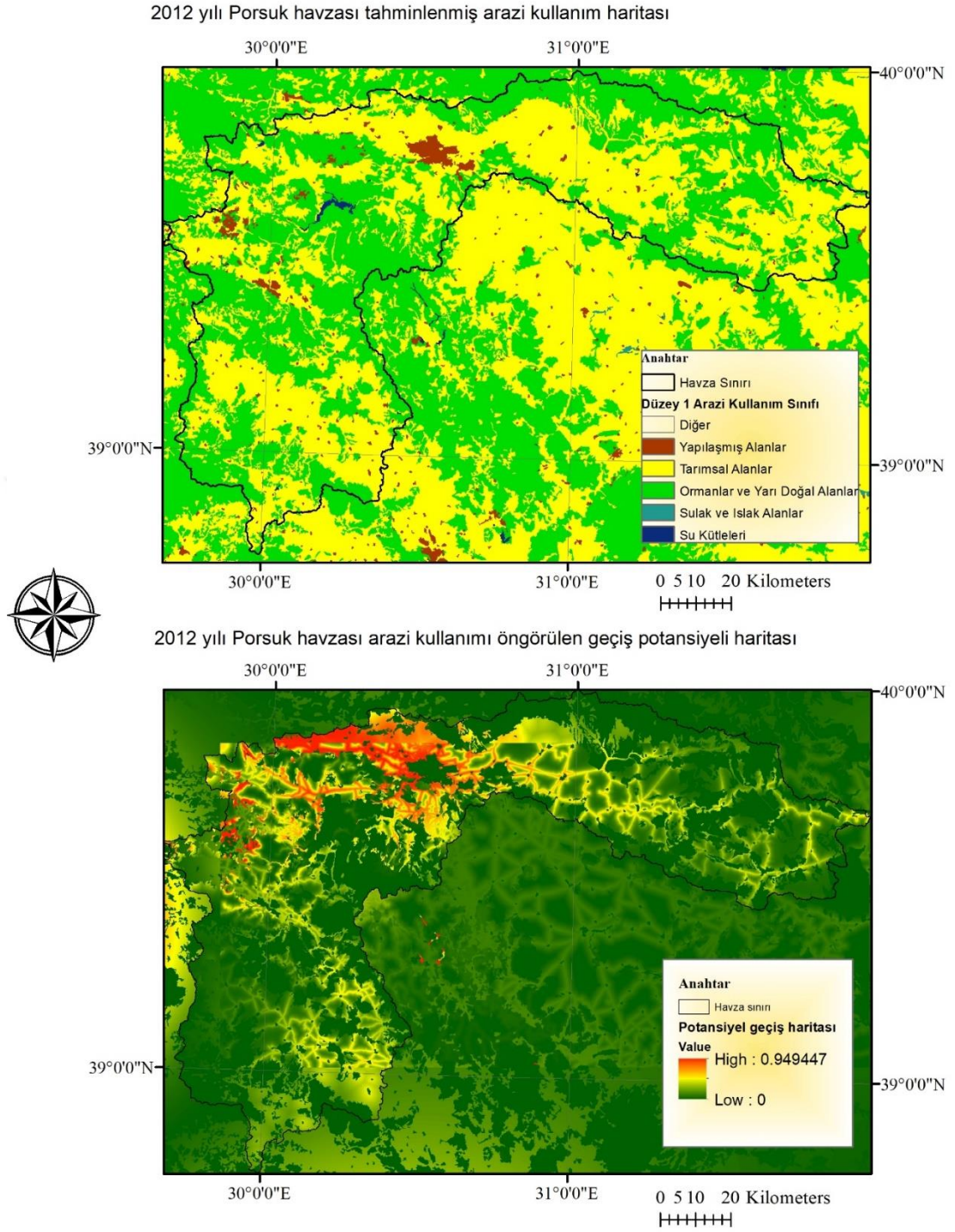
Şekil 4.14. Porsuk havzası arazi örtüsü değişiminde itici güce sahip olan değişkenler; g) diğer arazi kullanım türlerinden yerleşim alanına dönüşen alanlar ve 3. Dereceden dönüşüm trendi

4.4.2.2. CORINE 1990 ve CORINE 2000 verileri kullanılarak 2012, 2030, 2050, 2099 yılları arazi kullanım modelinin tahminlenmesi

Tablo 4.5'te görülen geçiş matrisi ile 1990 ve 2000 yılı verilerinden oluşturulan 2012 yılı arazi kullanım modeli ve itici güce sahip değişken faktörlerine göre oluşturulan potansiyel bir geçiş haritası Şekil 4.15'te görüldüğü gibidir.

Tablo 4.5. 1990-2000 Arazi Kullanım Geçiş Matrisi

1990-2000 Arazi Kullanım Geçiş Matrisi		2012				
		Urban	Agriculture	Forest	Wetland	Water
1990-2000	Urban	0.9789	0.0007	0.0199	0.0000	0.0005
	Agriculture	0.0032	0.9962	0.0001	0.0000	0.0006
	Forest	0.0027	0.0027	0.9945	0.0000	0.0001
	Wetland	0.0000	0.0315	0.0054	0.9631	0.0000
	Water	0.0031	0.0000	0.0049	0.0000	0.9920



Tablo 4.6’da oluşturulan model ve CORINE 2012 arazi kullanımı modeli ile karşılaştırılmıştır. Bazı noktalarda model ile gözlemlenen veriler arasında bir uyum gözlemlenmektedir. Model ile 2012 yılı CORINE verisi arasındaki tutarlılık incelendiğinde sulak ve ıslak alanların ve su kütlelerinin doğruluğunun %75’in altında olduğu görülmektedir.

Tablo 4.6. 2012 yılı arazi kullanım modeli ve CORINE 2012 arazi kullanımı modelinin karşılaştırılması

Sınıf No	Sınıf Adı	Corine2012 (km ²)	Model 2012(km2)	Fark	Yüzde Fark	Doğruluk
1	Urban	293.02	269.63	-23.39	-7.98	92.02
2	Agriculture	5521.56	5368.2	-153.36	-2.77	97.22
3	Forest	4790.22	4978.81	188.59	3.93	96.06
4	Wetland	2.81	1.75	-1.06	-37.72	62.277
5	Water	39.32	28.54	-10.78	-27.42	72.59

Tablo 4.7. 1990-2000 Arazi Kullanım verisi ile 2030 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi

1990-2000 Arazi Kullanım Geçiş Matrisi		2030				
		Urban	Agriculture	Forest	Wetland	Water
1990-2000	Urban	0.9482	0.0017	0.0488	0.0000	0.0012
	Agriculture	0.0078	0.9905	0.0003	0.0000	0.0014
	Forest	0.0066	0.0068	0.9863	0.0000	0.0003
	Wetland	0.0002	0.0763	0.0131	0.9103	0.0000
	Water	0.0075	0.0000	0.0123	0.0000	0.9802

Tablo 4.8. 1990-2000 Arazi Kullanım verisi ile 2050 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi

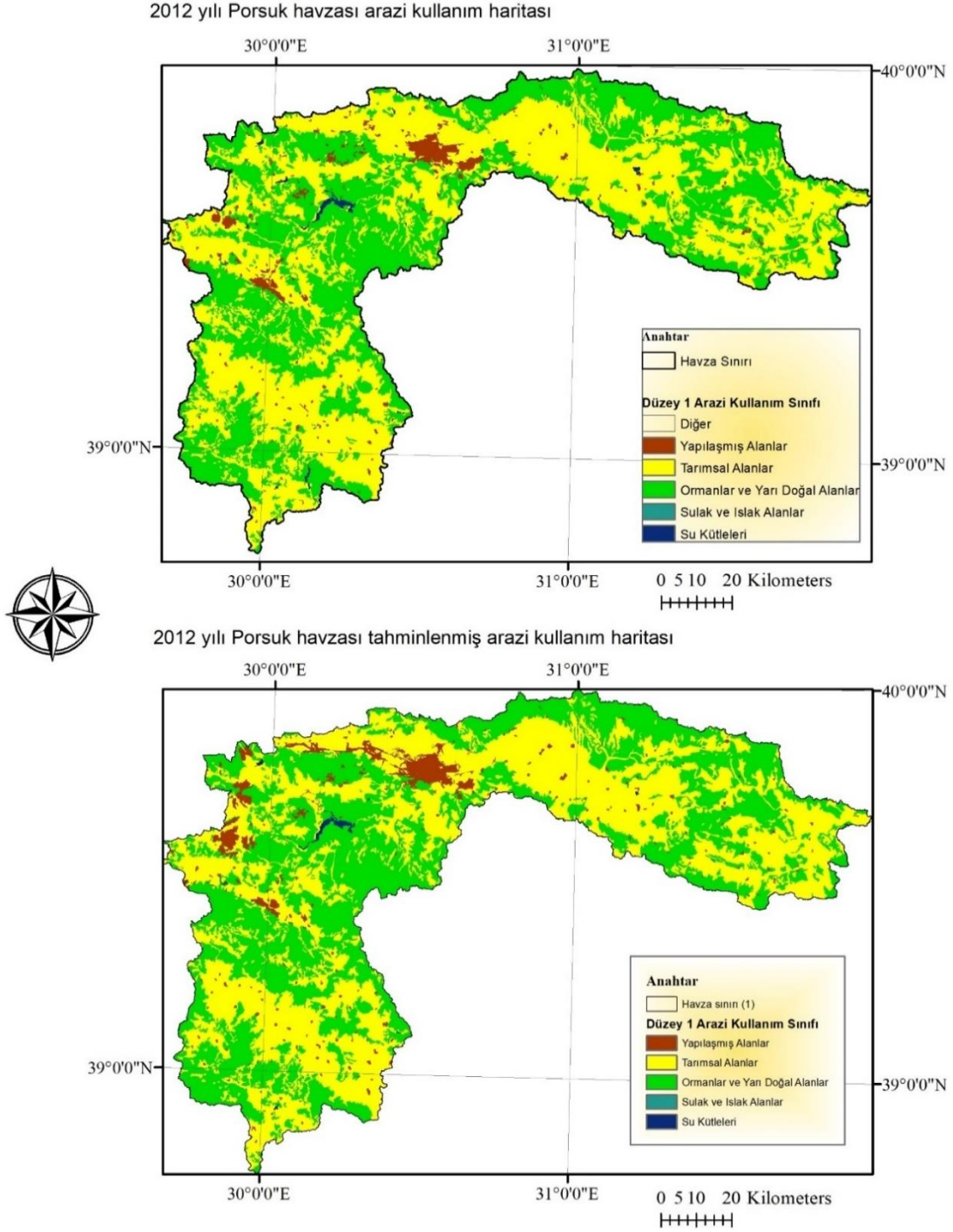
1990-2000 Arazi Kullanım Geçiş Matrisi		2050				
		Urban	Agriculture	Forest	Wetland	Water
1990-2000	Urban	0.9154	0.0030	0.0796	0.0000	0.0020
	Agriculture	0.0127	0.9843	0.0007	0.0000	0.0023
	Forest	0.0108	0.0112	0.9775	0.0000	0.0004
	Wetland	0.0008	0.1230	0.0211	0.8550	0.0001
	Water	0.0123	0.0001	0.0205	0.0000	0.9672

Tablo 4.9. 1990-2000 Arazi Kullanım verisi ile 2099 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi

1990-2000 Arazi Kullanım Geçiş Matrisi		2099				
		Urban	Agriculture	Forest	Wetland	Water
1990-2000	Urban	0.8404	0.0065	0.1493	0.0000	0.0038
	Agriculture	0.0239	0.9691	0.0025	0.0000	0.0045
	Forest	0.0205	0.0218	0.9568	0.0000	0.0009
	Wetland	0.0031	0.2247	0.0385	0.7333	0.0005
	Water	0.0231	0.0005	0.0403	0.0000	0.9361

Tablo 4.10. 1990 ve 2000 CORINE verileri ile projekte edilmiş yıllar bazında alansal değişimler

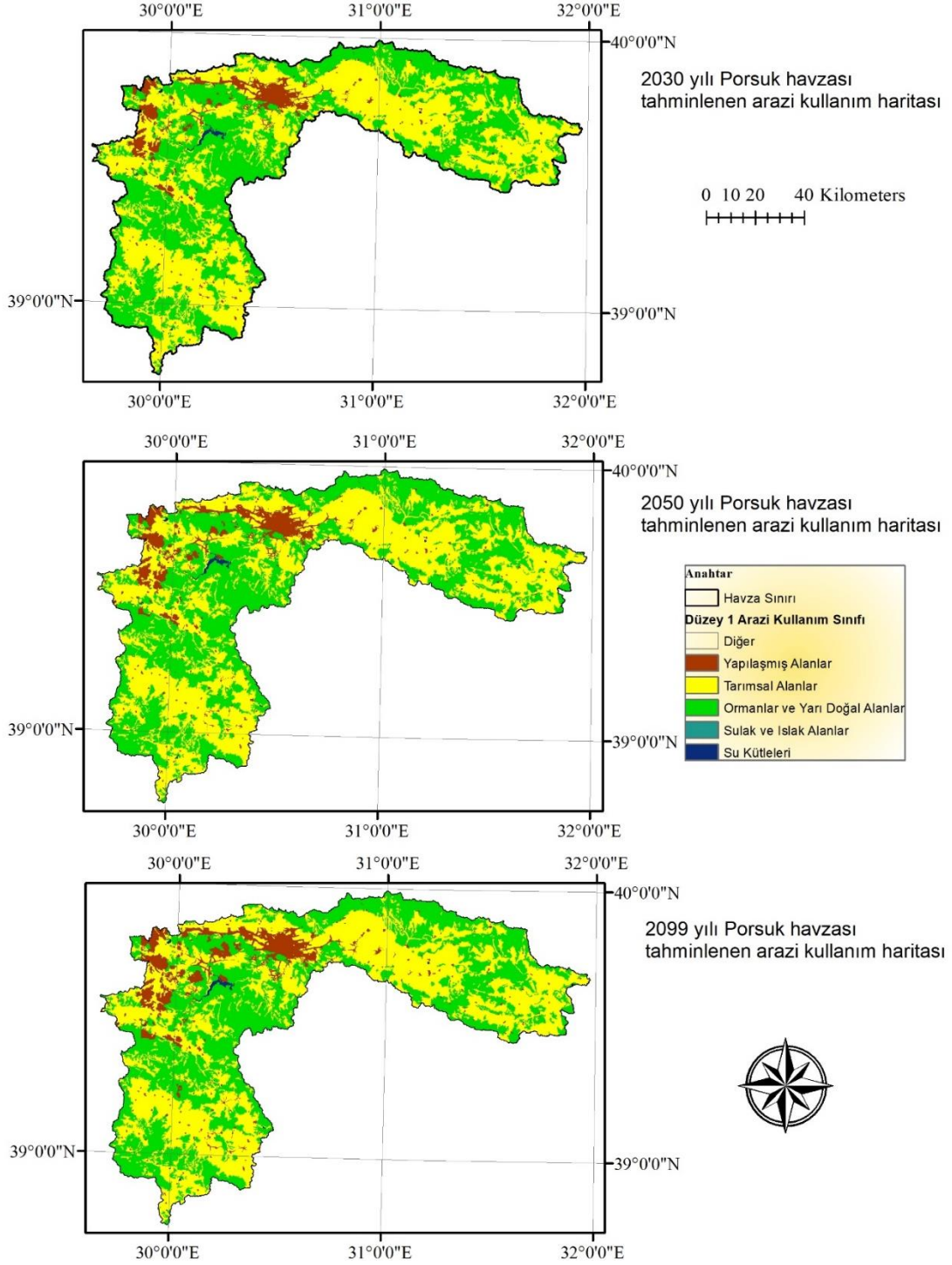
sınıf no	sınıf adı	2012 projeksiyon(ha)	2030 projeksiyon(ha)	2050 projeksiyon(ha)	2099 projeksiyon(ha)
1	Urban	38736	56744	66479	79553
2	Agriculture	529543	519404	516389	512070
3	Forest	493385	485516	478796	470041
4	Wetland	175	175	175	175
5	Water	2854	2854	2854	2854



Şekil 4.16. CORINE 2012 yılı arazi örtüsü ve tahminlenmiş 2012 arazi kullanım modeli

%90 üstü doğrulukla tahmin edilen 2012 arazi örtüsü projeksiyonu referans alınarak Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9’da görülen geçiş matrislerine göre 2030,2050 ve 2099 yılları kent alan, tarımsal alan ve orman alan kategorileri değerlendirildiğinde Tablo 4.10’da verilen sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre, 2030 yılı projeksiyon verisine göre kent alanın %46.5 artacağı, tarımsal alanın %2 azalacağı, orman alanın %1.6 azalacağı tespit edilmiştir. 2050 arazi örtüsü projeksiyon verisine göre kent alanı %70 artarken,

tarım alanı %2.5 , orman alanı ise %3 azalmaktadır. 2099 yılı arazi örtüsü projeksiyonuna göre ise kent alanının %105 artacağı, tarımsal alanın %3.2, orman alanının %5 azalacağı görülmüştür. Şekil 4.17’de 1990 ve 2000 CORINE arazi kullanım modeli kullanılarak yapılan projeksiyonlara göre 2030, 2050, 2099 yılları arazi örtüsü/arazi kullanımı sınıfları mekansal dağılım haritaları görülmektedir.



Şekil 4.17. 1990 ve 2000 CORINE arazi kullanım modeli kullanılarak yapılan projeksiyonlar

4.4.2.3. CORINE 2000 ve CORINE 2012 verileri kullanılarak 2018, 2030, 2050,2099 yılları arazi kullanım modelinin tahminlenmesi

Bir sonraki aşamada modelin doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla CORINE 2000 ve corine 2012 verileri ve 2012 yılı yerleşim alanlarına yakınlık katmanı farklı olmak üzere aynı itici güç seti kullanılarak Şekil 18’de görülen 2018 yılı arazi örtüsü modellenmiştir. Tablo 4.11’de görüldüğü gibi, elde edilen model CORINE 2018 yılı arazi örtüsü verisi ile karşılaştırıldığında yapılaşmış alanların ve sulak alanların sağlıklı bir şekilde tahmin edilemediği ancak diğer arazi kullanım türlerinin doğruluğunun %95’in üstünde olduğu görülmüştür.

Tablo 4.11. 2018 yılı arazi kullanım modeli ve CORINE 2018 arazi kullanımı modelinin karşılaştırılması

Sınıf No	Sınıf Adı	Corine2018	Prediction 2018	Fark	Yüzde Fark	Doğruluk
1	urbn	314.55	520.37	205.82	65.43315848	34.56684
2	agrr	5552.45	5357.22	-195.23	-3.5161055	96.48389
3	frse	4840.64	4830.88	-9.76	-0.20162623	99.79837
4	wetr	3.63	2.53	-1.1	-30.3030303	69.69697
5	watr	39.05	39.32	0.27	0.691421255	99.30858

Bir sonraki aşamada 2000 ve 2012 CORINE verileri kullanılarak sırayla Tablo 4.12, Tablo 4.13, Tablo 4.14, Tablo 4.15’te verilen geçiş matrisleri uygulanarak 2030, 2050 ve 2099 yılı arazi örtüsü modelleri üretilmiştir.

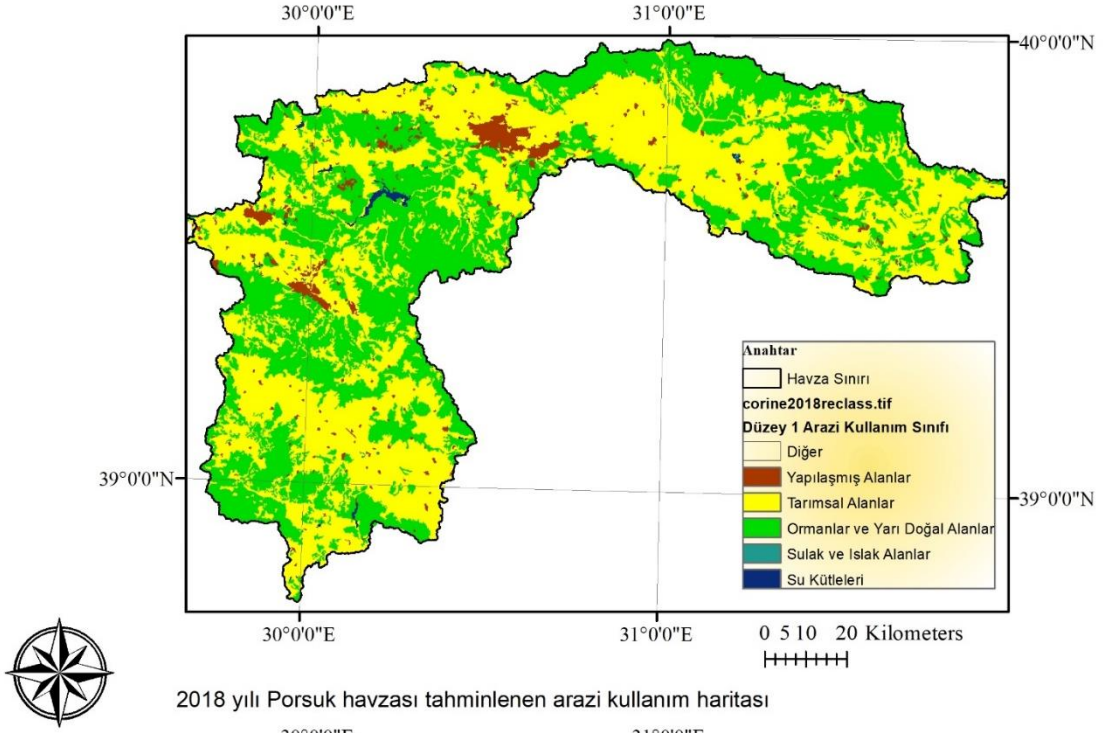
Tablo 4.12. 2000-2012 Arazi Kullanım verisi ile 2018 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi

2000-2012 Arazi Kullanım Geçiş Matrisi		2018 Arazi				
		Urban	Agriculture	Forest	Wetland	Water
2000-2012	Urban	0.8937	0.0710	0.0332	0.0001	0.0020
	Agriculture	0.0054	0.9717	0.0219	0.0002	0.0008
	Forest	0.0031	0.0429	0.9537	0.0000	0.0002
	Wetland	0.0984	0.1498	0.0233	0.7285	0.0000
	Water	0.0045	0.0067	0.0056	0.0029	0.9803

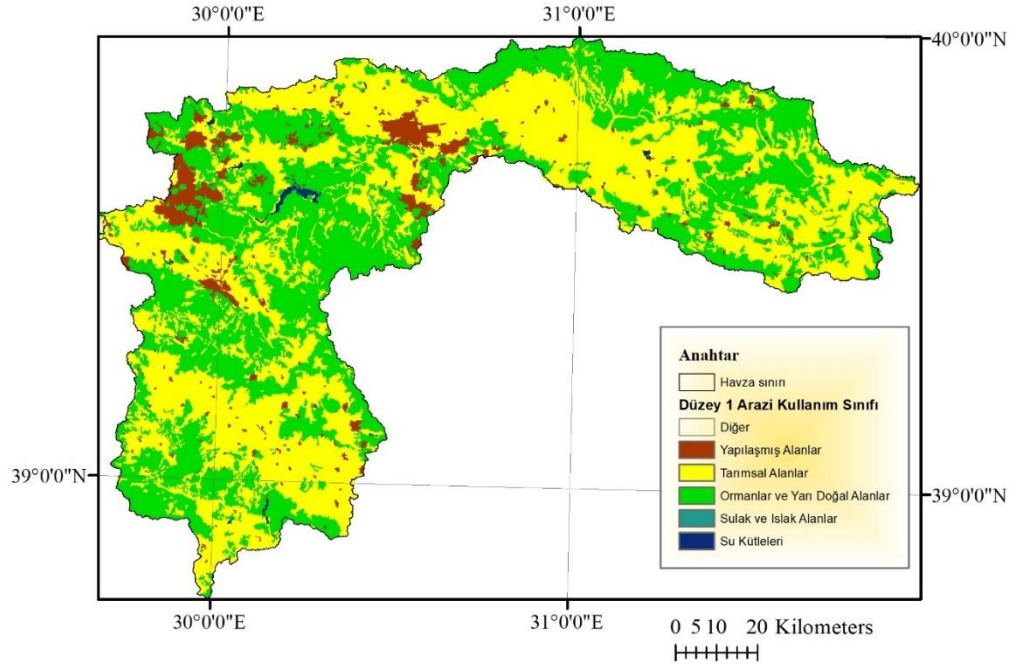
Tablo 4.13. 2000-2012 Arazi Kullanım verisi ile 2030 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi

2000-2012 Arazi Kullanım Geçiş Matrisi		2030 Arazi				
		Urban	Agriculture	Forest	Wetland	Water
2000-2012	Urban	0.7191	0.1869	0.0883	0.0003	0.0054
	Agriculture	0.0143	0.9220	0.0611	0.0004	0.0023
	Forest	0.0086	0.1192	0.8714	0.0000	0.0008
	Wetland	0.1849	0.3357	0.0669	0.4122	0.0003
	Water	0.0127	0.0221	0.0168	0.0061	0.9422

2018 yılı Porsuk havzası CORINE arazi kullanım haritası



2018 yılı Porsuk havzası tahminlenen arazi kullanım haritası



Şekil 4.18. 2018 yılı arazi kullanım modeli ve CORINE 2018 arazi kullanımı modeli

Tablo 4.14. 2000-2012 Arazi Kullanım verisi ile 2050 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi

2000-2012 Kullanım Geçiş Matrisi	Arazi	2050				
		Urban	Agriculture	Forest	Wetland	Water
2000-2012	Urban	0.5025	0.3294	0.1579	0.0005	0.0098
	Agriculture	0.0249	0.8541	0.1158	0.0005	0.0046
	Forest	0.0160	0.2250	0.7570	0.0001	0.0019
	Wetland	0.2134	0.5014	0.1282	0.1545	0.0025
	Water	0.0237	0.0507	0.0351	0.0084	0.8821

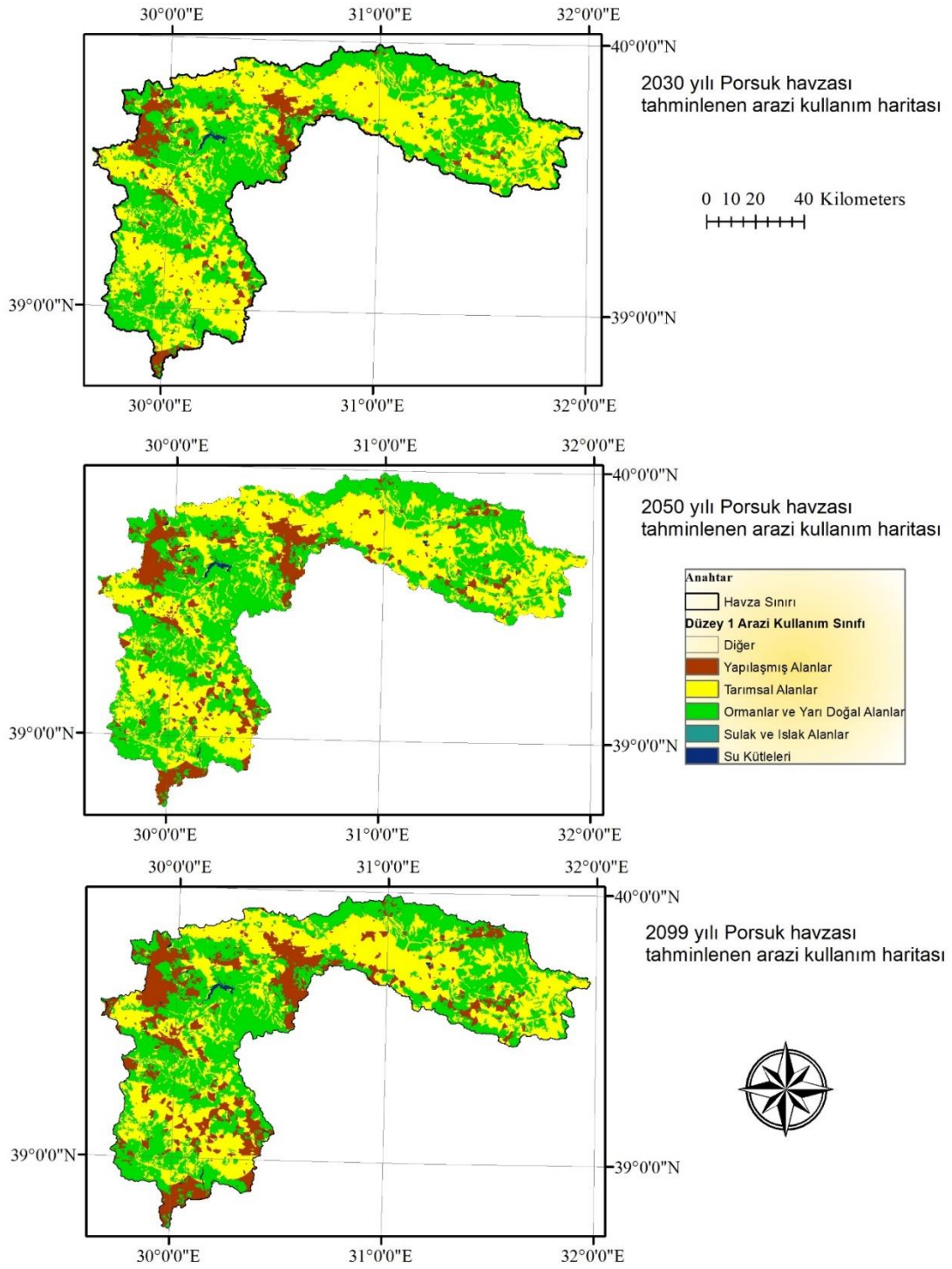
Tablo 4.15. 2000-2012 Arazi Kullanım verisi ile 2099 yılı projeksiyonu Geçiş Matrisi

2000-2012 Kullanım Geçiş Matrisi	Arazi	2099				
		Urban	Agriculture	Forest	Wetland	Water
2000-2012	Urban	0.2229	0.5085	0.2515	0.0006	0.0165
	Agriculture	0.0375	0.7457	0.2067	0.0006	0.0095
	Forest	0.0279	0.3980	0.5689	0.0003	0.0050
	Wetland	0.1368	0.6143	0.2247	0.0157	0.0084
	Water	0.0386	0.1244	0.0773	0.0085	0.7512

Tablo 4.16. 2000 ve 2012 CORINE verileri ile projekte edilmiş yıllar bazında alansal değişimler

sınıf no	sınıf adı	2018 projeksiyon(ha)	2030 projeksiyon(ha)	2050 projeksiyon(ha)	2099 projeksiyon(ha)
1	Urban	52037	89446	134392	189291
2	Agriculture	535722	501002	459650	410496
3	Forest	483088	480423	476837	471070
4	Wetland	253	229	221	243
5	Water	3932	3932	3932	3932

Tablo 16’da 2000 ve 2012 CORINE verileri ile projekte edilmiş yıllar bazında alan kullanım türlerinin alansal değişimleri verilmektedir. Şekil 4.19’da üretilen modeller görülmektedir. Yapılan projeksiyonlar sonucunda kentsel alanın %34 doğruluk barındırması nedeniyle 1990 ve 2000 verisi ile yapılan arazi kullanım modelinin daha iyi sonuç verdiği ve mevcut veri ile 2050 ve 2099 gibi daha uzak yılların modellenmesinin hatalı olabileceği görülmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda ArcSWAT modeline girdi oluşturmak üzere CORINE arazi kullanımı sınıflandırması düzey 3’e göre sınıflanmış 1990 yılı ve 2000 yılı arazi örtüsü modelleri kullanılarak 2030 yılı arazi kullanımının modellenmesine karar verilmiştir.



Şekil 4.19. 2000 ve 2012 CORINE arazi kullanım modeli kullanılarak yapılan projeksiyonlar

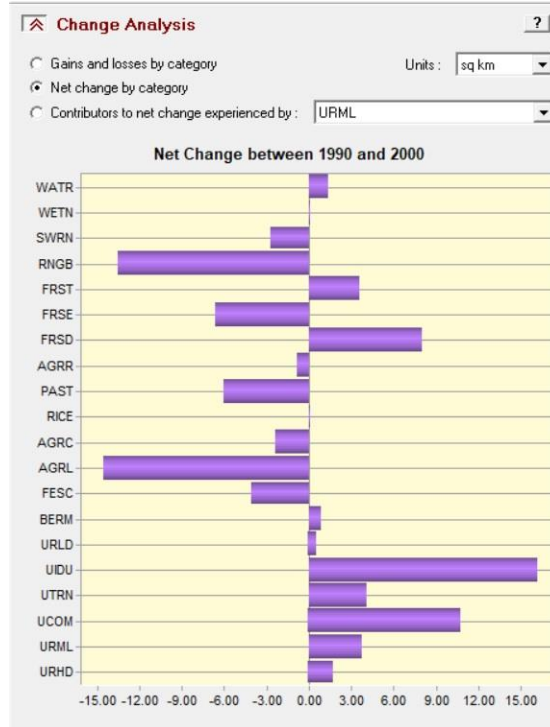
4.4.2.4. Düzey 3 sınıflamasında CORINE 2000 VE CORINE 2012 verileri kullanılarak 2012 ve 2030 yılları arazi kullanım modellerinin tahminlenmesi

Corine 1990 ve Corine 2000 verileri SWAT arazi kullanım sınıfları doğrultusunda sınıflanarak Idrisi Land Change Modeller'a uygun girdi haline getirilmiştir. Şekil 4.20'de

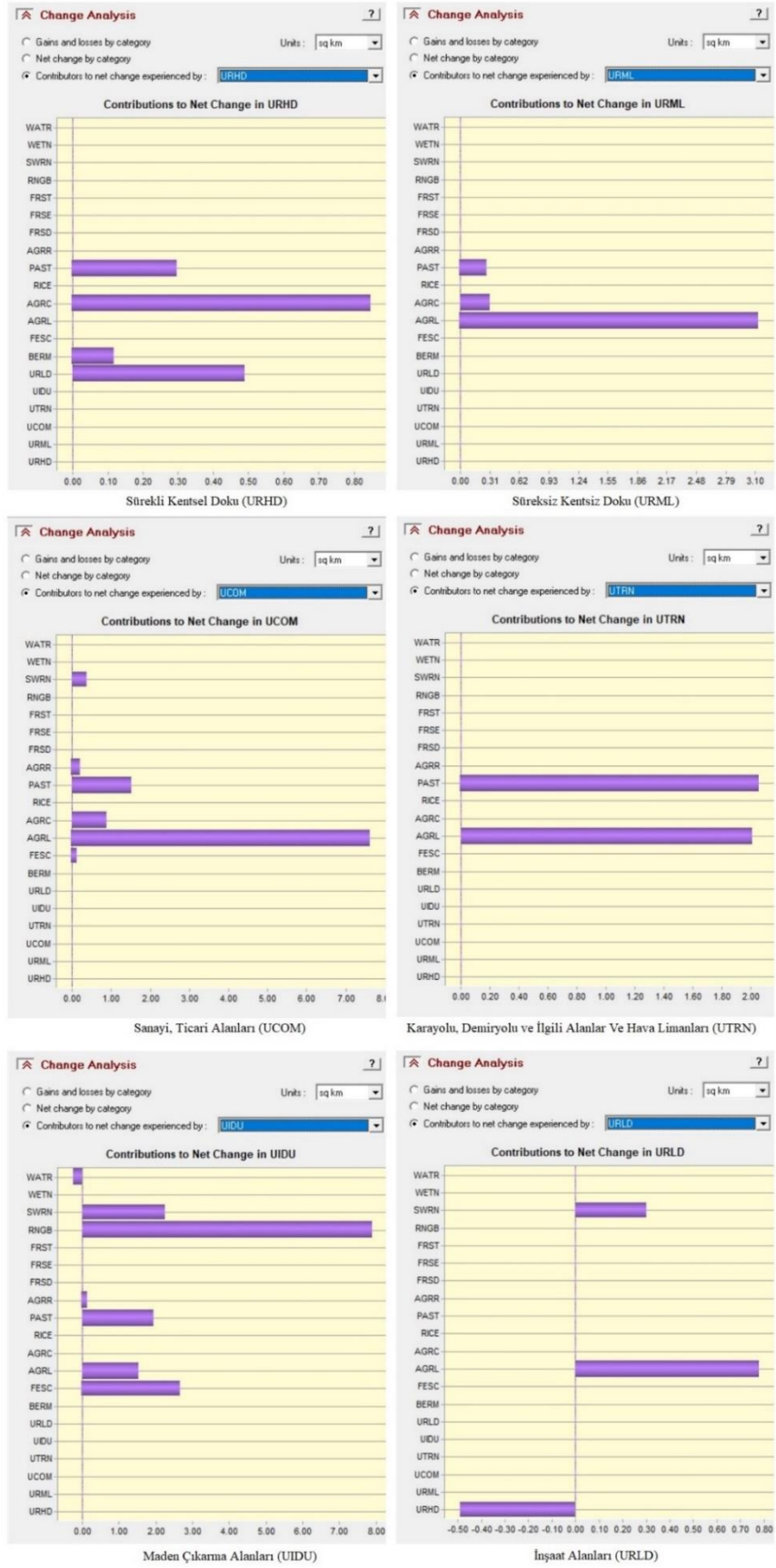
görülen kategori bazlı net değişim şekilde görüldüğü gibi dağılım göstermektedir. Tablo 4.17’de net değişim görülmektedir.

Tablo 4.17. 1990 ve 2000 yılları arası SWAT arazi kullanımı sınıfları bazlı net değişim

3.Düzye örtüsü/kullanımı	CORINE	Arazi	ArcSWAT kullanımı kodu	1990 yılı-2000 yılı net değişimi (km ²)
Orman-Çalılık Geçiş Alanları			RNGB	-13.57
İğne Yapraklı Ormanlar			FRSE	-6.66
Doğal Bitki Örtüsü İle Bulunan Tarım Alanları			AGRR	-0.84
Çayırlar ve Meralar			PAST	-6.04
Sürekli Sulanan Alanlar			AGRC	-2.40
Karışık Tarımsal Alanlar			AGRL	-14.55
Doğal Otlak Alanlar ve Sert Yapraklı Bitki Örtüsü			FESC	-4.10
Seyrek Bitki Örtüsüyle Kaplı Alanlar			SWRN	-2.74
sulak alanlar			RICE	0
pirinç ekili alanlar			WETN	0
Su Kütleleri			WATR	+1.38
Karışık Ormanlar			FRST	+3.57
Geniş Yapraklı Ormanlar			FRSD	+7.99
Kentsel Yeşil Alanlar			BERM	+0.85
İnşaat Alanları			URLD	+0.59
Maden Çıkarma Alanları			UIDU	+16.17
Karayolu, Demiryolu ve İlgili Alanlar Ve Hava Limanları			UTRN	+4.07
Sanayi, Ticari Alanları			UCOM	+10.81
Sürekli Kentsel Doku			URML	+3.74
			URHD	+1.76



Şekil 4.20. 1990 ve 2000 yılları arasında SWAT arazi kullanım sınıfları bazlı net değişim



Şekil 4.21. 1990 ve 2000 yılları arasında Yapılaşmış alan kategorisindeki arazi kullanım sınıflarının dönüşümü

Yapılaşmış alan kategorisinde bulunan 3. Düzey sınıfların değişimleri Şekil 4.21’de verilmektedir. Analiz sonuçlarına göre 1990 yılından 2000 yılına kadar geçen sürede Çayır ve Meralar (PAST)kategorisinden 0.3 km² , Sürekli Sulanan Alanlar(AGRC) kategorisinden 0.85 km² , Kentsel Yeşil Alanlar kategorisinden 0.12 km² , İnşaat Alanları kategorisinden 0.49 km² alan Sürekli Kentsel Doku(URHD) kategorisine dönüşmüştür.

Analiz sonuçlarına göre 1990 yılından 2000 yılına kadar geçen sürede Çayır ve Meralar (PAST) kategorisinden 0.29 km² , Sürekli Sulanan Alanlar(AGRC) kategorisinden 0.31 km² , Karışık Tarımsal Alanlar (AGRL) kategorisinden 3.14 km² alan Süreksiz Kentsel Doku (URML) kategorisine dönüşmüştür.

1990 yılından 2000 yılına kadar geçen sürede Seyrek Bitki Örtüsüyle Kaplı Alanlar (SWRN)kategorisinden 0.38 km² , Doğal Bitki Örtüsü İle Bulunan Tarım Alanları (AGRR) kategorisinden 0.24 km² , Çayır ve Meralar (PAST) kategorisinden 1.52 km² , Sürekli Sulanan Alanlar (AGRC) kategorisinden 0.89 km² , Karışık Tarımsal Alanlar (AGRL) kategorisinden 7.64 km² , Doğal Otlak Alanlar ve Sert Yapraklı Bitki Örtüsü (FESC) kategorisinden 0.14 km² alan Sanayi, Ticari Alanları (UCOM) kategorisine dönüşmüştür.

1990 yılından 2000 yılına kadar geçen sürede Çayır ve Meralar (PAST) kategorisinden 2.06 km² , Karışık Tarımsal Alanlar (AGRL) kategorisinden 2.01 km² alan Karayolu, Demiryolu ve İlgili Alanlar Ve Hava Limanları (UTRN)kategorisine dönüşmüştür.

1990 yılından 2000 yılına kadar geçen sürede Maden Çıkarma Alanları (UIDU) kategorisinden 0.25 km² alan Su Kütelleri (WATR) kategorisine dönüşmüştür. Seyrek Bitki Örtüsüyle Kaplı Alanlar (SWRN) kategorisinden 2.26 km² , Orman-Çalılık Geçiş Alanları(RNGB) kategorisinden 7.89 km² , Doğal Bitki Örtüsü İle Bulunan Tarım Alanları (AGRR)kategorisinden 0.15 km² , Çayır ve Meralar (PAST) kategorisinden 1.93 km² , Karışık Tarımsal Alanlar (AGRL) kategorisinden 1.52 km² , Doğal Otlak Alanlar ve Sert Yapraklı Bitki Örtüsü (FESC) kategorisinden 2.67 km² Maden Çıkarma Alanları (UIDU) kategorisine dönüşmüştür.

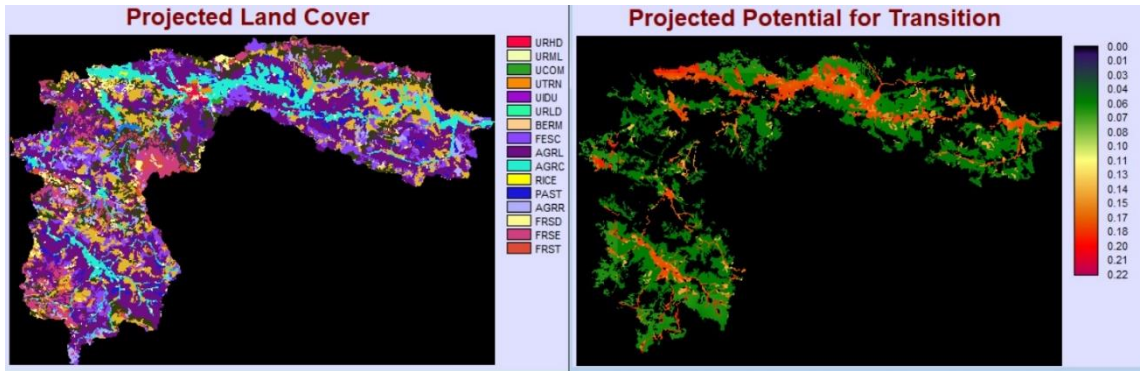
1990 yılından 2000 yılına kadar geçen sürede alan İnşaat Alanları (URLD) kategorisinden Seyrek Bitki Örtüsüyle Kaplı Alanlar (SWRN) kategorisinden 0.30 km² , Karışık Tarımsal Alanlar (AGRL) kategorisinden 0.78 km² alan İnşaat Alanları (URLD)

kategorisine dönüşmüştür. İnşaat Alanları (URLD) kategorisinden 0.49 km² alan İnşaat Alanları (URLD) kategorisine dönüşmüştür.

Daha önceki aşamalarda CORINE arazi örtüsü verisi düzey 1 kategorisinde Tarımsal Alanlar ve Ormanlar ve Yarı Doğal Alanlar kategorilerinden yapılaşmış alanlara dönüşümün arazi örtüsü/kullanımında değişime neden olan itici güçler olarak tanımlanmıştır ve gelecek yılların modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Diğer kategorilerden Süreksiz Kentsel Doku kategorisine dönüşüm potansiyeli(3rd order polynomial), diğer kategorilerden Sürekli kentsel doku kategorisine dönüşüm potansiyeli(3rd order polynomial), eğim ve bakıyı temsilen sayısal yükseklik modeli, yola uzaklık, nehre uzaklık ve yapılaşmış alana uzaklık kriterleri itici güç kabul edilerek SWAT arazi kullanımı bazlı sınıflanan arazi örtüsü 2030 yılı için modellenmiştir.

Tablo 4.18’de CORINE verisi düzey 3 kategorisine göre 1990 ve 2000 yılları arazi örtüsü/kullanımı ile 2030 yılı arazi örtüsü modelinin içerdiği sınıflar bazında karşılaştırılması, ve Şekil 4.22’de tahminlenen 2030 arazi örtüsü/kullanımı haritası ve geçiş potansiyeli haritası görülmektedir. Şekilde SWAT arazi kullanımı sınıflandırmasına göre haritalanmış 1990 ve 2000 CORINE verisi ve modellenen 2030 yılı arazi örtüsü/kullanımı haritası görülmektedir.

Değerlendirme sonucunda 2000 yılından 2030 yılına yüksek yoğunluklu kent alan kategorisinde %13.43 artış, düşük yoğunluklu kent alanında %75 azalış, kentsel yeşil alanlarda %11.87 dikkat çeken azalış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.22. 2030 arazi örtüsü/kullanımı modeli ve geçiş potansiyeli haritası

Şekil 4.23’te CORINE verisi düzey 3 kategorisine göre 1990 ve 2000 yılları arazi örtüsü/kullanımı ile 2030 yılı arazi örtüsü modeli görülmektedir.

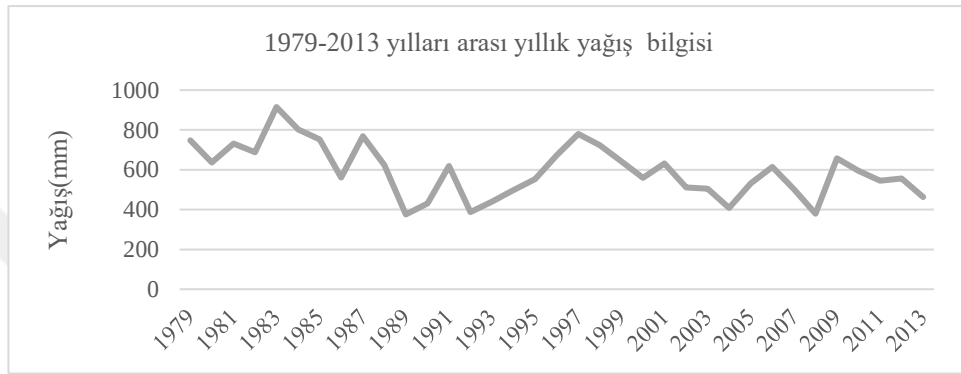
Tablo 4.18. CORINE verisi düzey 3 kategorisine göre CORINE 1990 ve 2000 yılları arazi örtüsü/kullanımı ile 2030 yılı arazi örtüsü modelinin karşılaştırılması

CORINE SWAT'a uygun sınıflandırma	CORINE 1990 (km ²)	CORINE 2000(km ²)	2030 projeksiyon(km ²)	1990- 2000 yılları farkı	2000-2030 yılları yüzde fark
URHD	30.55	32.31	36.65	4.34	13.43
URML	125.64	129.38	129.35	-0.03	-0.02
UCOM	15.03	25.84	25.81	-0.03	-0.12
UTRN	8.53	12.6	12.6	0	0
UIDU	36.54	52.71	51.94	-0.77	-1.46
URLD	1.33	1.92	0.48	-1.44	-75
BERM	2.94	3.79	3.34	-0.45	-11.87
FESC	941.27	937.17	922.62	-14.55	-1.55
AGRL	3556.51	3541.96	3510.64	-31.32	-0.88
AGRC	1097.56	1095.16	1090.08	-5.08	-0.46
RICE	3.9	3.9	3.9	0	0
PAST	332.86	326.82	323.83	-2.99	-0.91
AGRR	442.73	441.86	436.73	-5.13	-1.16
FRSD	223.73	231.72	229.64	-2.08	-0.90
FRSE	732.95	726.29	714.5	-11.79	-1.62
FRST	208.27	211.84	208.51	-3.33	-1.57
RNGB	1478.79	1465.22	1452.25	-12.97	-0.86
SWRN	1482.28	1479.54	1463.77	-15.77	-1.07
WETN	1.75	1.75	1.75	0	0
WATR	27.16	28.54	28.54	0	0

Center Enstitüsü tarafından üretilen GCM2 - HadGEM2-ES modeli için RCP (4.5 ve 8.5) senaryoları günlük verileri kullanılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde kullanılan iklim verileri belirli zaman periyotlarına göre incelenerek yorumlanmıştır.

4.5.1. 1979-2014 yılları arası iklim parametrelerinin incelenmesi

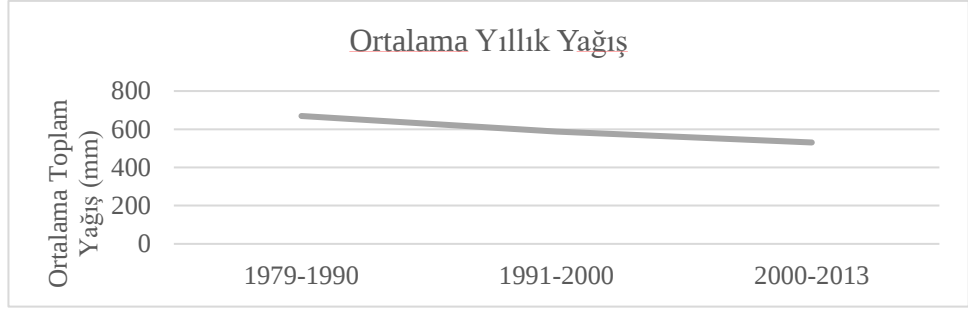
NCEP CFSR veri platformundan 1972-2014 yılları arasında veri temin edilmiştir. Şekil 4.24'te 1979-2013 yılları arası yıllık yağış bilgisinin zamana bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 4.24. 1979-2013 yılları arası yıllık yağış bilgisi

Yıllık toplam yağış bilgisi incelendiğinde ilk periyot olarak ele alınan 1979 yılından 1990 yılları arasında yıllık yağış ortalaması 669.4mm'dir. Maksimum yıllık yağış 1983 yılında 914.9 mm, minimum yağış 1989 yılında 375.6 mm olarak gözlemlenmiştir.

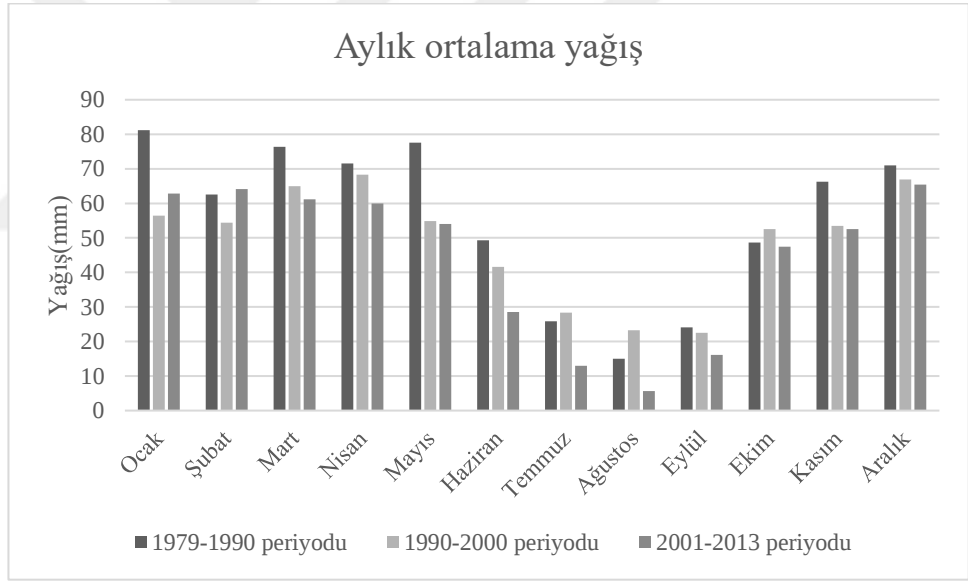
Referans dönemde 1991 yılından 2000 yılları arasında yıllık yağış ortalaması 1979-1990 zaman periyoduna göre %14 azalma göstermektedir ve 573.32 mm'dir. Maksimum yıllık yağış 779.307 1997, minimum yağış 387.946 1992 yılında gözlemlenmiştir. 2001 yılından 2013 yılları arasında yıllık yağış ortalaması 530.8 mm'dir. 1991-2000 yılları periyoduna göre % 7 azalma göstermiştir. Maksimum yıllık yağış 657.64 mm olarak 2009 yılında, minimum yağış 379.022 mm olarak 2008 yılında gözlemlenmiştir. İncelenen 3 periyotta zamana bağlı olarak toplam yıllık yağış bilgisi düşmektedir(Şekil 4.25)(Tablo 4.19).



Şekil 4.25. Ortalama yıllık yağış bilgisi

Tablo 4.19. Ortalama yıllık yağış bilgisi

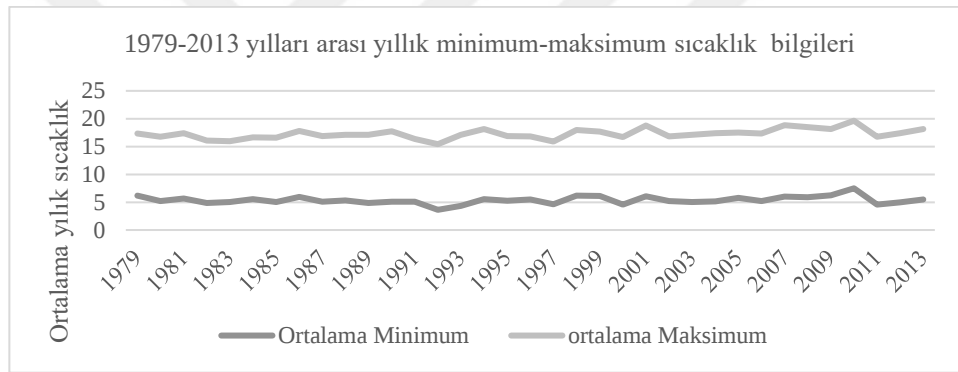
Zaman periyodu	Ortalama yıllık yağış(mm)
1979-1990	669.37
1991-2000	587.5
2000-2013	530.8



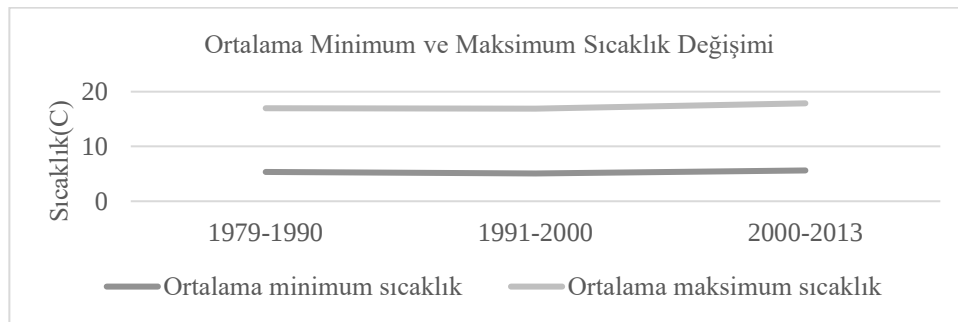
Şekil 4.26. 1979- 2013 dönemi aylık ortalama yağış bilgileri

Şekil 4.26’da 1979- 2013 dönemi aylık ortalama yağış bilgileri grafiği görülmektedir. Aylık ortalama yağış bilgileri incelendiğinde genel olarak zamana bağlı olarak ortalama aylık yağış bilgisinin azalma gösterdiği görülmüştür. Yalnızca ocak ayı ortalaması için ve şubat ayı ortalamalarında 2001-2013 yıllarını içeren üçüncü periyotta artış gözlemlenmektedir.

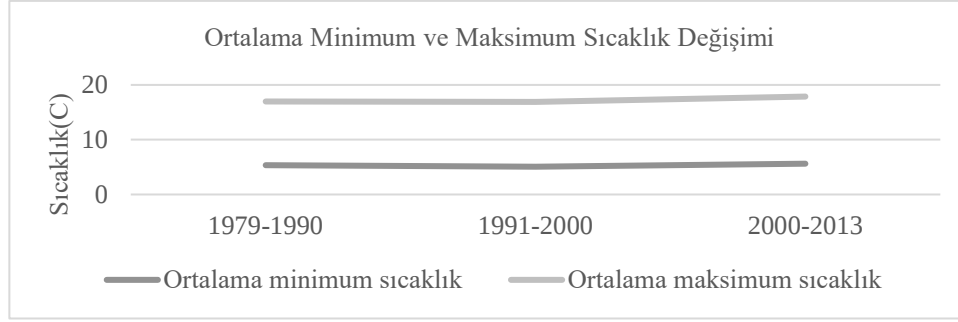
Şekil 4.27’de 1979-2013 yılları arası yıllık minimum-maksimum sıcaklık bilgileri görülmektedir. Yıllık toplam sıcaklık bilgisi incelendiğinde ilk periyot olarak ele alınan 1979 yılından 1990 yılları arasında yıllık minimum sıcaklık ortalaması 5.32’dir. 1991 yılından 2000 yılları arasında yıllık minimum sıcaklık ortalaması %4.9 azalarak 5.07 C olmuştur. 2001 yılından 2013 yılları arasında yıllık minimum sıcaklık ortalaması % 9.2 artarak 5.62 C olmuştur. Şekil 4.28’de ve Tablo 20’de Ortalama Minimum ve Maksimum Sıcaklık Değişimi üç periyotta verilmiştir. İlk periyot olarak ele alınan 1979 yılından 1990 yılları arasında yıllık maksimum sıcaklık ortalaması 16.95’tir. 1991 yılından 2000 yılları arasında yıllık maksimum sıcaklık ortalaması %0.2 azalarak 16.9 C olmuştur. 2001 yılından 2013 yılları arasında yıllık maksimum sıcaklık ortalaması %5.4 artarak 17.87 C olmuştur. İncelenen üç periyotta zamana bağlı olarak ortalama yıllık sıcaklık bilgisi önce düşmekte, ardından artmaktadır.



Şekil 4.27. 1979-2013 yılları arası yıllık minimum-maksimum sıcaklık bilgileri



Şekil 4.28. Ortalama Minimum ve Maksimum Sıcaklık Değişimi



Tablo 4.20. Ortalama minimum ve maksimum sıcaklık değerleri

Zaman periyodu	Ortalama minimum sıcaklık	Ortalama maksimum sıcaklık
1979-1990	5.32	16.95
1991-2000	5.07	16.9
2000-2013	5.62	17.87



Şekil 4.29. Referans dönem aylık minimum ve maksimum sıcaklık ortalamaları

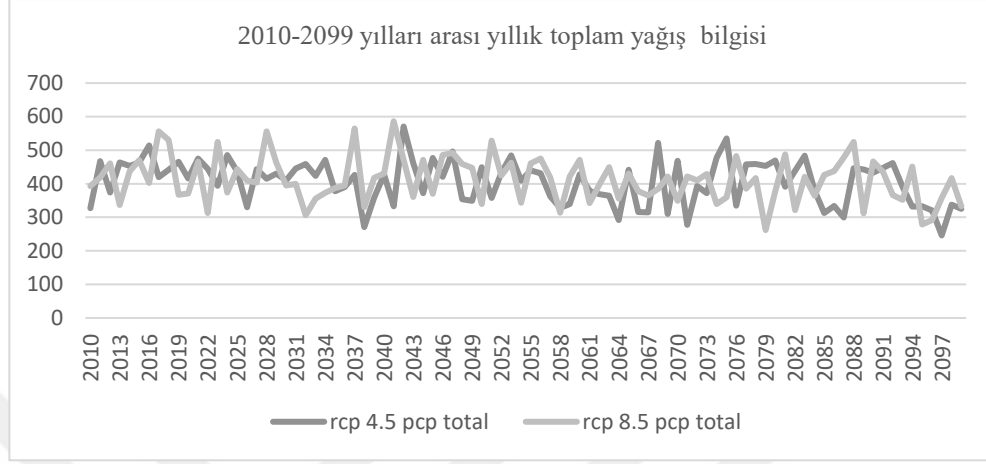
Şekil 4.29’da referans dönem aylık minimum ve maksimum sıcaklık ortalamaları grafik olarak ifade edilmiştir. Aralık ayından mart ayına kadar minimum değerlerin 0 C altında ortalamaya sahip olduğu, en yüksek sıcaklık ortalamalarının temmuz ve ağustos ayları olduğu görülmektedir.

4.5.2. 2010-2099 yılları arası iklim parametrelerinin incelenmesi

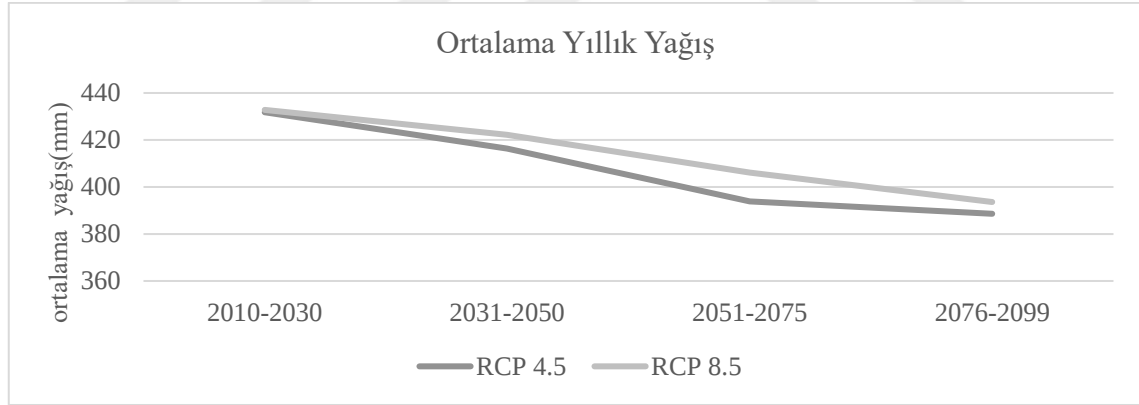
Atmosphere Ocean General Circulation Modelleri (GCMs)’nin verileri 0.5° grid formatında günlük yağış ve maksimum-minimum yağış bilgileri Met Office Hadley Center Enstitüsü tarafından üretilen GCM2- HadGEM2-ES modeli için RCP (2.6, 4.5, 6.0, 8.5) senaryoları verileri 2005-2099 yılları için temin edilmiştir. RCP 4.5 ve RCP 8.5

senaryosuna göre yağış ve sıcaklık bilgileri incelemesi doğrultusunda elde edilen bulgular şu şekildedir;

Tablo 4.21. 2010-2099 yılları arası yıllık toplam yağış bilgisi



Tablo 4.21. 2010-2099 yılları arası yıllık toplam yağış bilgisi grafiği verilmektedir. RPC 4.5 senaryosunda 2010-2030 periyodunda ortalama yıllık yağış 431,8 iken en az toplam yağış 326.1 mm değeri ile 2010 yılına ve maksimum yağış 513.97 mm değeri ile 2013 yılına aittir.



Şekil 4.30. 2010-2099 dönemi GCM2 RCP 4.5 & RCP 8.5 yıllık yağış bilgisi

Tablo 4.22. 2010-2099 dönemi GCM2 RCP 4.5 & RCP 8.5 yıllık yağış bilgisi

	2010-2030			2031-2050			2051-2075			2076-2099		
	Toplam yağış RCP 4.5	Toplam yağış RCP 8.5	%Fark	Toplam yağış RCP 4.5	Toplam yağış RCP 8.5	%Fark	Toplam yağış RCP 4.5	Toplam yağış RCP 8.5	%Fark	Toplam yağış RCP 4.5	Toplam yağış RCP 8.5	%Fark
ortalama	431.8	432.8	0.2	416.4	422.13	1.4	393.8	406.06	3.1	388.6	393.6	1.28
minimum	326.1	312.57		270.62	306.49		277.41	313.34		246.1	261.93	
maksimum	513.97	556.08		570.5	586.07		535.19	528.37		483.3	525.01	

Şekil 4.30 ve Tablo 4.22’de 2010-2099 dönemi GCM2 RCP 4.5 & RCP 8.5 yıllık yağış bilgisi dört periyotta ifade edilmektedir. RPC 8.5 senaryosunda 2010-2030 periyodunda ortalama yıllık yağış rcp 4.5 senaryosuna göre %0.2 artış göstererek 432.8 mm iken en az toplam yağış 312.57 mm değeri ile 2022 yılına ve maksimum yağış 556.08 mm değeri ile 2028 yılına aittir.

RPC 4.5 senaryosunda 2031-2050 periyodunda ortalama yıllık yağış 416.4 iken en az toplam yağış 270.62mm değeri ile 2038 yılına ve maksimum yağış 570,5 mm değeri ile 2042 yılına aittir.

RPC 8.5 senaryosunda 2031-2050 periyodunda benzer şekilde ortalama yıllık yağış RCP 4.5 senaryosuna göre %1.37 artış göstererek 422.13 mm iken en az toplam yağış 306.49 mm değeri ile 2032 yılına ve maksimum yağış 586.07 mm değeri ile 2041 yılına aittir.

RPC 4.5 senaryosunda 2051-2075 periyodunda ortalama yıllık yağış 393.8 mm iken en az toplam yağış 277.41 mm değeri ile 2071 yılına ve maksimum yağış 535.19 mm değeri ile 2075 yılına aittir.

RPC 8.5 senaryosunda 2051-2075 periyodunda ortalama yıllık yağış %3.1 artarak 406.06mm iken en az toplam yağış 313.34 mm değeri ile 2058 yılına ve maksimum yağış 528.37 mm değeri ile 2051 yılına aittir.

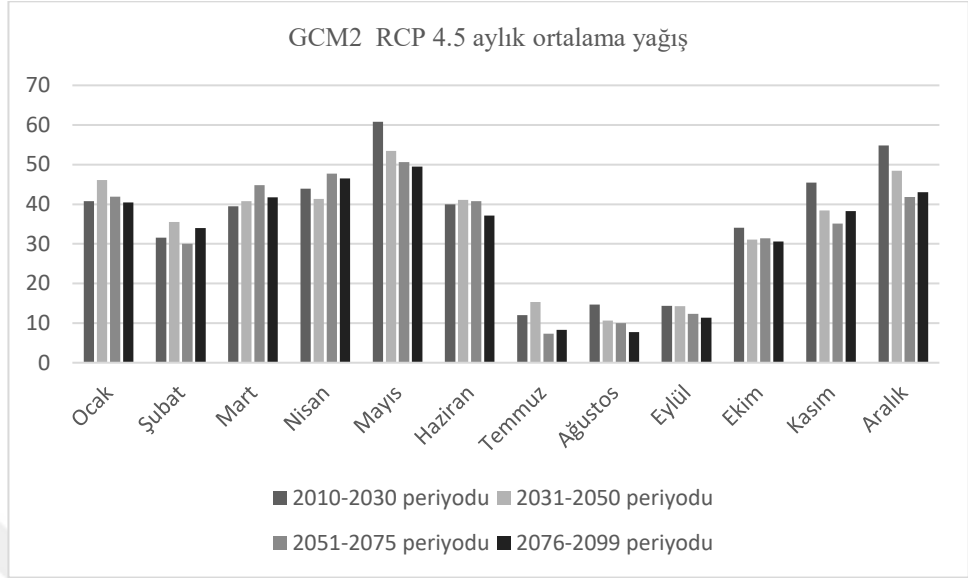
RPC 4.5 senaryosunda 2076-2099 periyodunda ortalama yıllık yağış 388.6 mm iken en az toplam yağış 246.1 mm değeri ile 2097 yılına ve maksimum yağış 483.3 mm değeri ile 2083 yılına aittir.

RPC 8.5 senaryosunda 2076-2099 periyodunda ortalama yıllık yağış %1.3 artarak 393.6 mm iken en az toplam yağış 261.93 mm değeri ile 2079 yılına ve maksimum yağış 525.01 mm değeri ile 2088 yılına aittir.

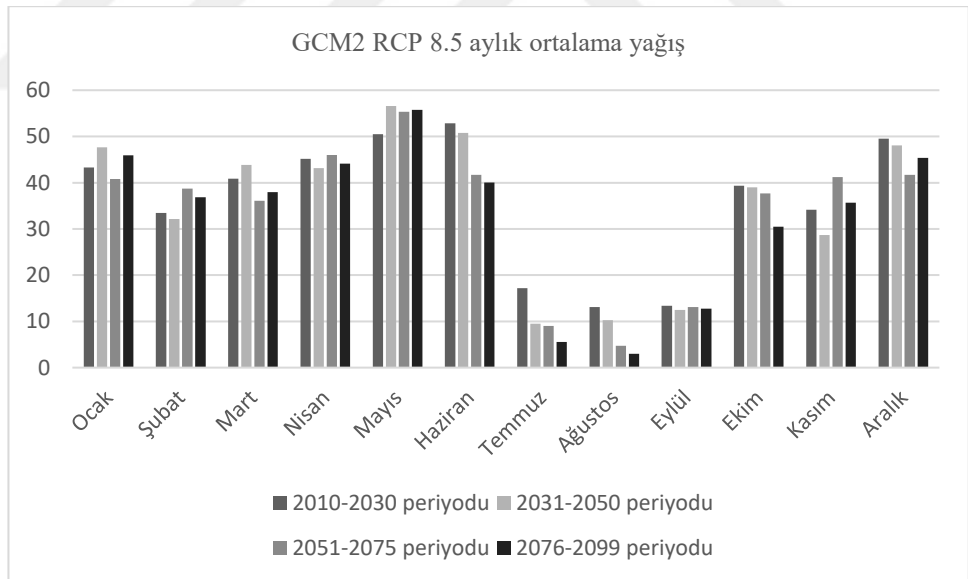
RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarında 2042 yılının toplam yağış değeri en yüksek değere sahiptir. 2030-2050 periyodunda ortalama yağış azalırken, 2050-2075 yıllarında düşüşe geçmekte, 2075-2099 yılları arasında daha da azalmaktadır. RCP 8.5 senaryosunda yağış ortalaması bilgisi daha yüksektir.

Şekil 4.31’de GCM2 RCP 4.5 Şekil 4.32’de GCM2 RCP 8.5 aylık ortalama yağış bilgileri grafik olarak verilmektedir. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryosuna göre 2010-2030, 2031-2050, 2051-2075, 2076-2099 periyotları aylık ortalama yağış değerleri incelendiğinde 2050 yılına kadar artış olduğu, 2050 yılından sonra genel olarak her ay

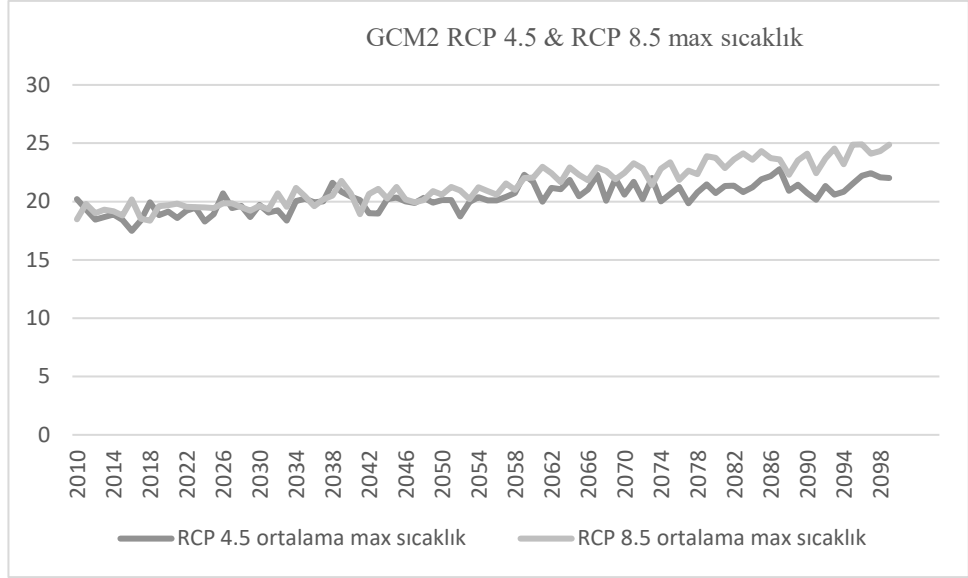
ortalamasında düşüş olduğu gözlemlenmektedir. Yalnızca RCP 8.5 senaryosunda mayıs ayı için son periyotta artış gözlemlenmektedir.



Şekil 4.31. GCM2 RCP 4.5 aylık ortalama yağış bilgisi



Şekil 4.32. GCM2 RCP 8.5 aylık ortalama yağış bilgisi



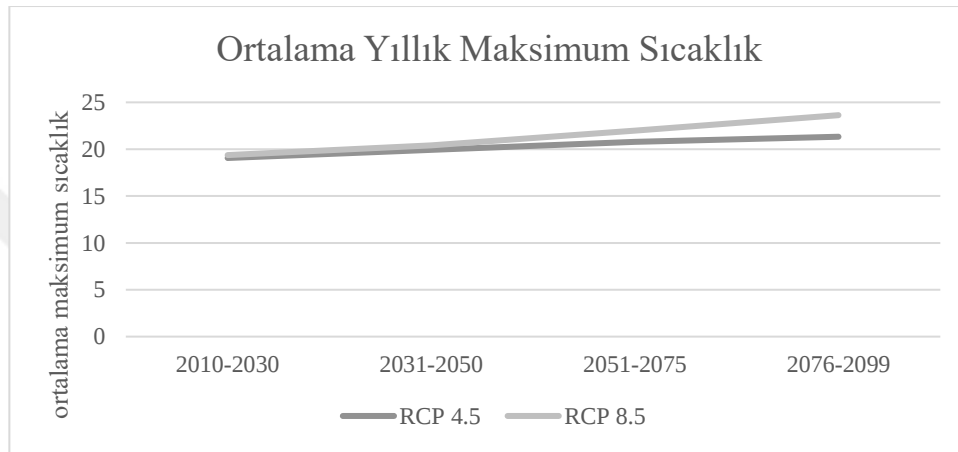
Şekil 4.33. GCM2 RCP 4.5 & RCP 8.5 maximum sıcaklık bilgisi

Şekil 4.33'te GCM2 RCP 4.5 & RCP 8.5 maximum sıcaklık bilgisi grafiği verilmektedir. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryosuna göre maksimum sıcaklık 2010-2030 periyodunda ortalama 0.25°C, 2030-2050 periyodunda ortalama 0.5°C, 2050-2075 periyodunda ortalama 1.2°C, son periyotta ortalama 2.32°C artış farkı gözlemlenmektedir.

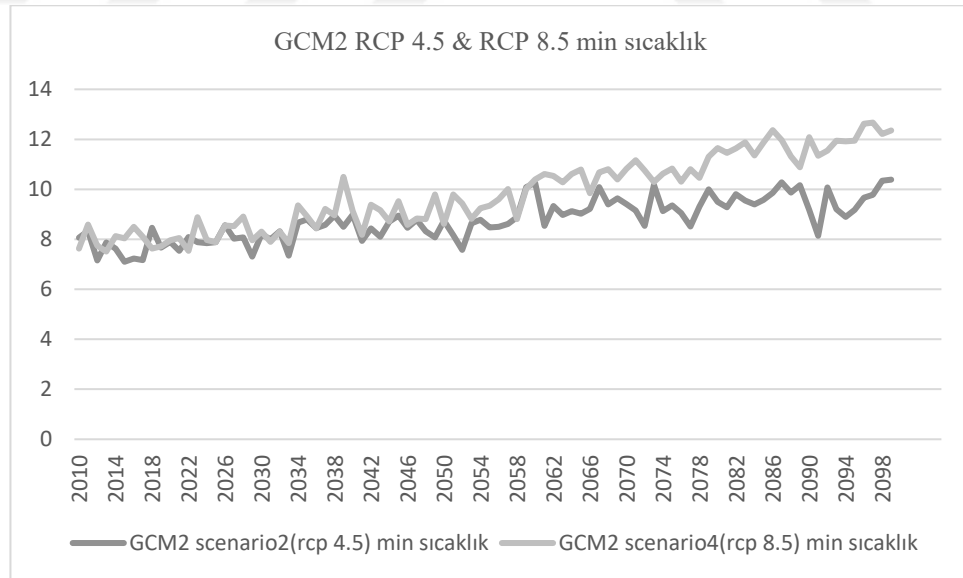
Tablo 4.23 ve Şekil 4.34'te İyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP 8.5) senaryolara göre ortalama maksimum sıcaklık değerleri dört periyot halinde sunulmuştur. RCP 4.5 senaryosuna göre maksimum sıcaklık 2010-2030 periyodunda ortalama 19.06°C, 2030-2050 periyodunda ortalama 19.93°C, 2050-2075 periyodunda ortalama 20.78°C, son periyotta ortalama 21.33°C'dir. RCP 8.5 senaryosuna göre maksimum sıcaklık 2010-2030 periyodunda ortalama 19.37°C, 2030-2050 periyodunda ortalama 20.39°C, 2050-2075 periyodunda ortalama 21.97°C, son periyotta ortalama 23.63°C'dir. Ortalama maksimum sıcaklık değerleri değişimi grafiğinde İyimser senaryo RCP 4.5 ve kötümser senaryo RCP 8.5 verilerinin aldığı değerler arasında ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin giderek arttığı ve son periyotta iki senaryo arasındaki farkın arttığı gözlemlenmektedir. RCP 4.5 ve RCP 8.5 arasında ilk 2010-2030 periyodunda %1.63, 2030-2050 periyodunda %2.3, 2050-2075 periyodunda ortalama %5.7, son periyotta ise %10.8 fark görülmektedir.

Tablo 4.23. İyimser ve kötümser senaryolara göre ortalama maksimum sıcaklık değerleri

Zaman periyodu	2010-2030			2031-2050			2051-2075			2076-2099		
Senaryo	RCP4.5	RCP 8.5	% Fark	RCP 4.5	RCP 8.5	% Fark	RCP 4.5	RCP 8.5	% Fark	RCP 4.5	RCP 8.5	% Fark
Ortalama maksimum sıcaklık	19.06	19.37	1.63	19.93	20.39	2.3	20.78	21.97	5.7	21.33	23.63	10.8



Şekil 4.34. Ortalama maksimum sıcaklık değerleri değişimi



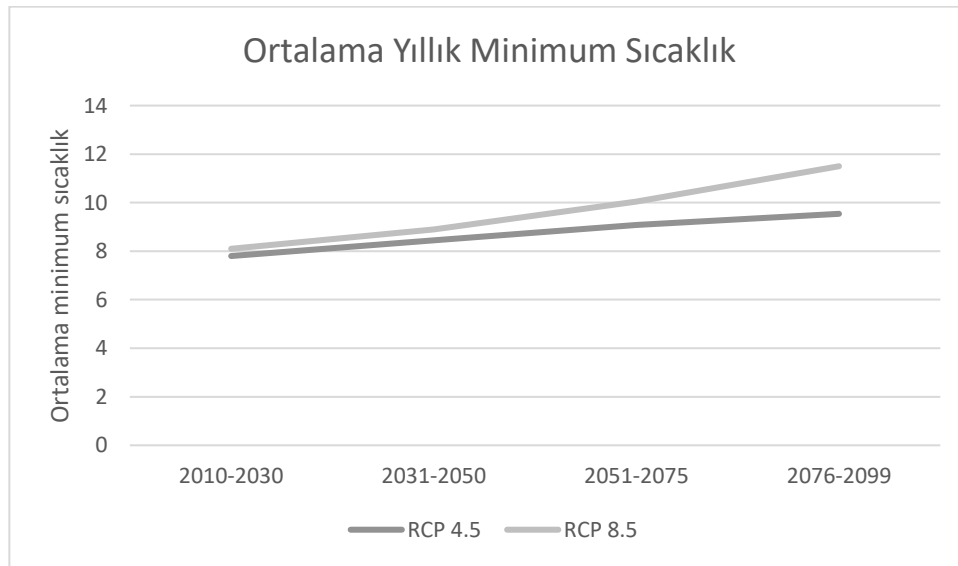
Şekil 4.35. GCM2 RCP 4.5 & RCP 8.5 minimum sıcaklık bilgisi

Şekil 4.35'te GCM2 RCP 4.5 & RCP 8.5 minimum sıcaklık bilgisi uzun dönem halinde grafik olarak verilmiştir. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryosuna göre minimum sıcaklık farkı ise ilk periyot 2010-2030 periyodu için 0.3°C , ikinci periyot için 0.45 °C, üçüncü periyotta 1.1°C , son periyotta 2.1 °C artış farkı gözlemlenmektedir.

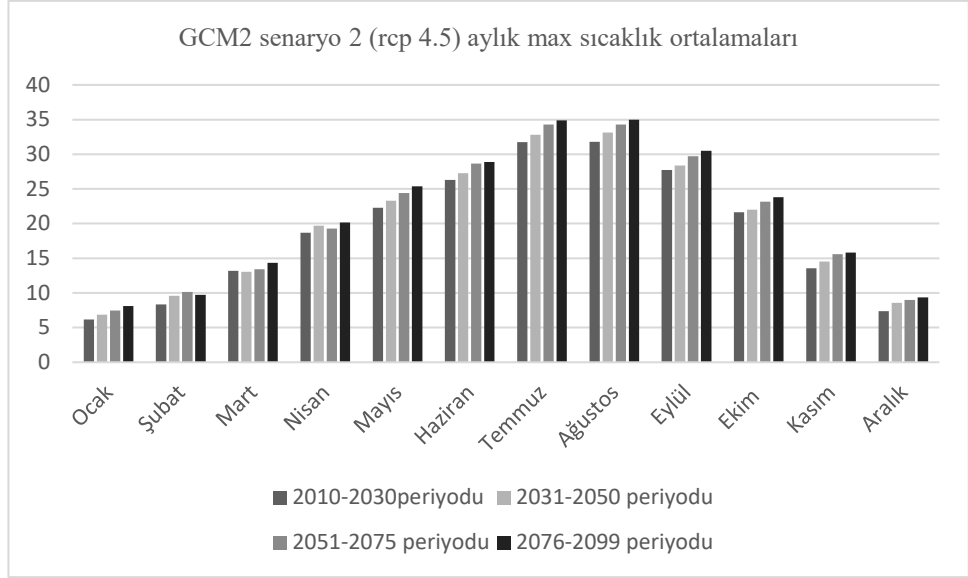
Tablo 4.24 ve Şekil 4.36’da İyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP 8.5) senaryolara göre ortalama minimum sıcaklık değerleri dört periyot halinde sunulmuştur RCP 4.5 senaryosuna göre minimum sıcaklık 2010-2030 periyodunda ortalama 7.8 °C, 2030-2050 periyodunda ortalama 8.45°C, 2050-2075 periyodunda ortalama 9.08°C, son periyotta ortalama 9.54°C’dir. RCP 8.5 senaryosuna göre minimum sıcaklık 2010-2030 periyodunda ortalama 8.1°C, 2030-2050 periyodunda ortalama 8.9°C, 2050-2075 periyodunda ortalama 10.04°C, son periyotta ortalama 11.5°C’dir. Ortalama maksimum sıcaklık değerleri değişimi grafiğinde İyimser senaryo RCP 4.5 ve kötümser senaryo RCP 8.5 verilerinin aldığı değerler arasında ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin giderek arttığı ve son periyotta iki senaryo arasındaki farkın arttığı gözlemlenmektedir. RCP 4.5 ve RCP 8.5 arasında ilk 2010-2030 periyodunda %3.85, 2030-2050 periyodunda %5.3, 2050-2075 periyodunda ortalama %10.6, son periyotta ise %20.5 fark görülmektedir.

Tablo 4.24. İyimser ve kötümser senaryolara göre ortalama minimum sıcaklık değerleri

Zaman periyodu	2010-2030			2031-2050			2051-2075			2076-2099		
Senaryo	RCP 4.5	RCP 8.5	%Fark	RCP 4.5	RCP 8.5	%Fark	RCP 4.5	RCP 8.5	%Fark	RCP 4.5	RCP 8.5	%Fark
Ortalama minimum sıcaklık	7.8	8.1	3.85	8.45	8.9	5.3	9.08	10.04	10.6	9.54	11.5	20.5

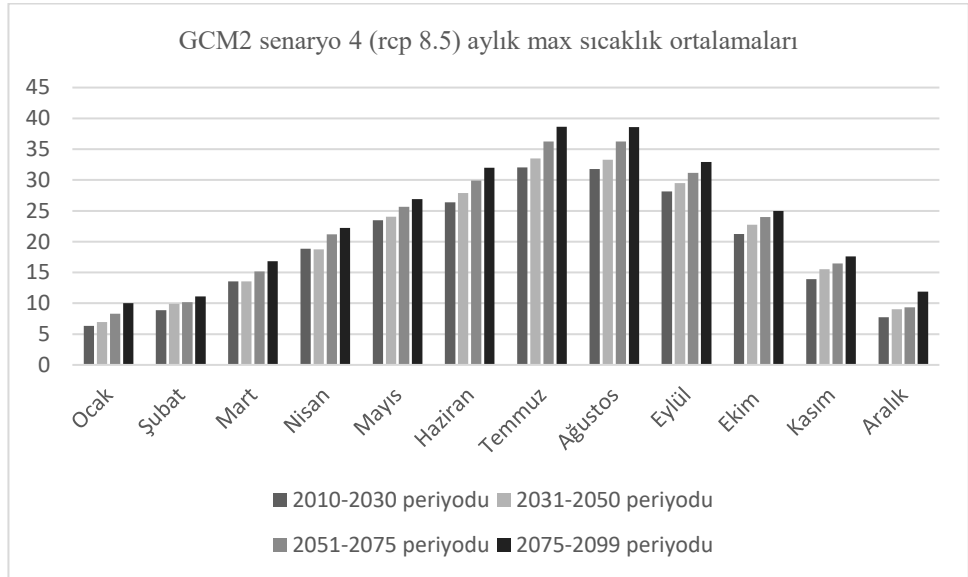


Şekil 4.36. Ortalama minimum sıcaklık değerleri değişimi

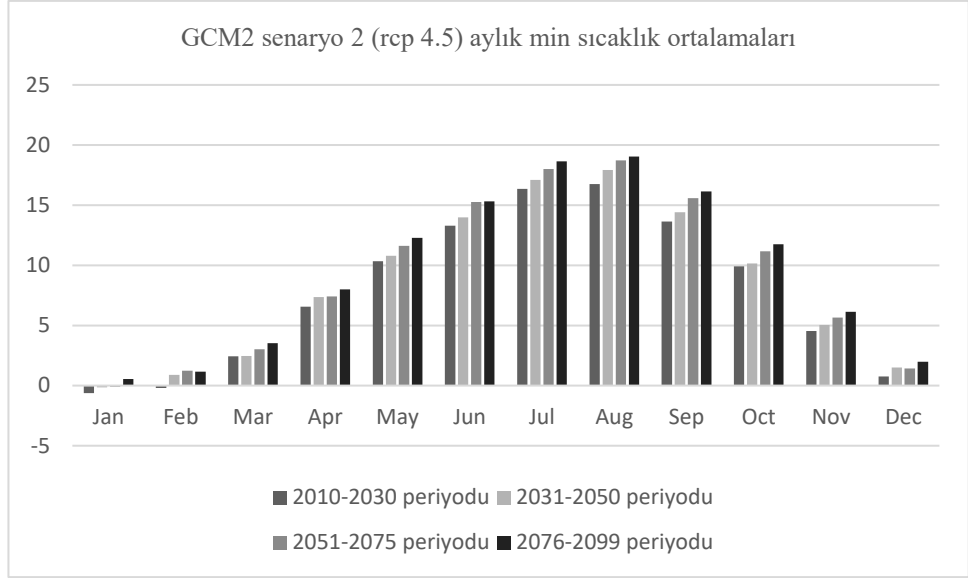


Şekil 4.37. GCM2 senaryo 2 (RCP 4.5) aylık maximum sıcaklık ortalamaları

Şekil 4.37’de iyimser senaryo (RCP 4.5) aylık maximum sıcaklık ortalamaları grafik olarak ifade edilmiştir. RCP 4.5 ve RCP 8.8 aylık maksimum sıcaklık ortalama değerleri karşılaştırıldığında periyotlar arasında benzer şekilde kademeli bir artış görülmektedir. RCP 8.5 senaryosundan farklı olarak şubat ayı 2076-2099 periyodunda 10.4 °C’den 9.7 °C’ye azalma gözleme gözlemlenmektedir.

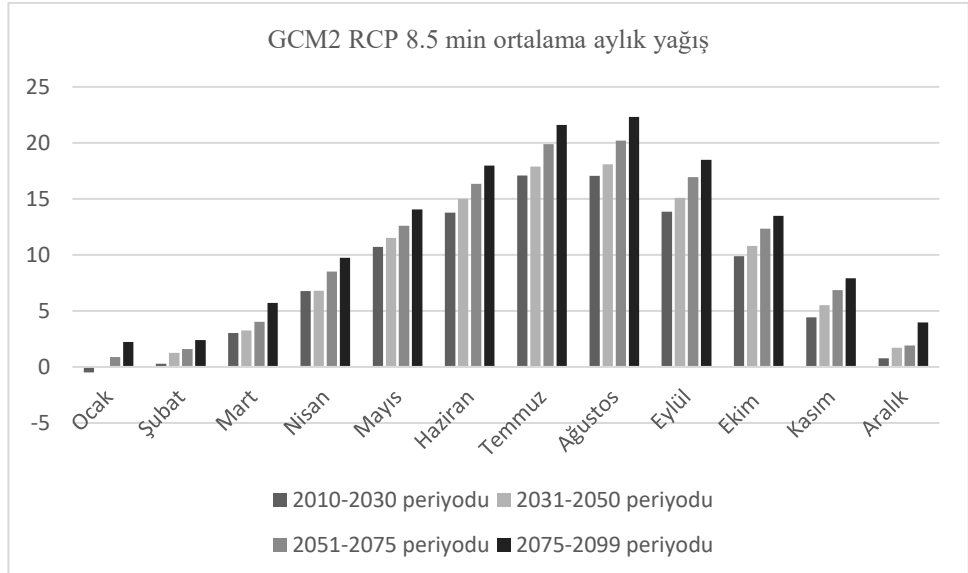


Şekil 4.38. GCM2 senaryo 4 (RCP 8.5) aylık maksimum sıcaklık ortalamaları



Şekil 4.39. GCM2 senaryo 2 (rcp 4.5) aylık minimum sıcaklık ortalamaları

Benzer şekilde Şekil 4.38’de iyimser senaryo (RCP 4.5) aylık minimum sıcaklık ortalamaları grafik olarak ifade edilmiştir. RCP 4.5 senaryosunda RCP 8.5 senaryosundan ve genel değişim trendlerinden farklı olarak Nisan ayı ortalamalarında RCP 4.5 senaryosu için 2031-2050 periyodundan 2050-2075 periyoduna geçişte 7.37°C’den 7.40°C’ye geçiş gözlemlenirken, RCP 8.5 senaryosunda (Şekil 4.40) diğer aylarda gözlemlenen artış gibi 6.57 °C’den 8.52°C’ye artış gözlemlenmektedir.



Şekil 4.40. GCM2 RCP 8.5 minimum ortalama aylık yağış

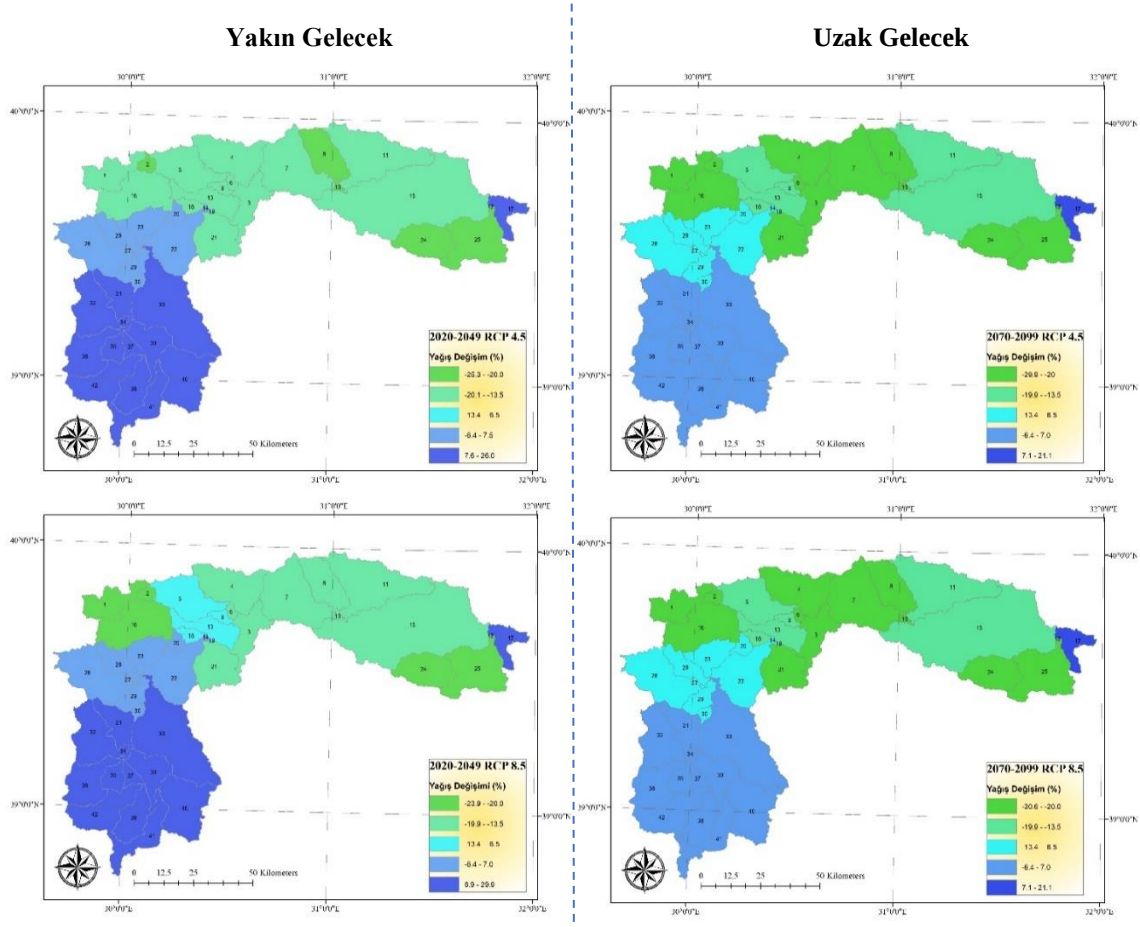
4.6. Arazi Kullanım ve İklim Değişikliğinin Yeşil ve Mavi Su Kaynakları Üzerindeki Etkileri

İklim değişikliğinin ve arazi örtüsü-kullanımının yeşil ve mavi su kaynaklarına etkisinin tanımlanmasının amaçlandığı çalışmada, iklim parametrelerindeki değişimin havzanın su potansiyeline olan etkisinin incelenmesi için çalışmanın 3.3.3 başlığında açıklanan iklim verileri kullanılarak referans dönem olarak adlandırılan 1985-2013 yılları zaman periyodu baz alınarak yakın geleceği temsil eden 2020-2049 yılları zaman periyodu ve uzak geleceği temsil eden 2070-2099 yılları zaman periyodu RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryoları doğrultusunda incelenmiştir. Arazi örtüsünde meydana gelen değişimin hidrolojik döngüye olan etkilerinin tanımlanması amacıyla, çalışmanın 4.4 başlığında CORINE verileri kullanılarak geçmişten günümüze arazi örtüsündeki değişim tanımlanmış, ardından 2030, 2049 ve 2099 yılları için arazi örtüsü modelleri üretilmiştir. Model çıktılarının hata olasılıklarının artması sebebiyle hidrolojik modelleme sürecinde gelecek arazi örtüsü modeli olarak yalnızca 2030 yılı arazi örtüsü modeli kullanılmıştır. Bu nedenle arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin incelenmesi aşamasında yalnızca referans dönem arazi örtüsü modeli 2012 yılı arazi örtüsü modeli ve tez kapsamında üretilen 2030 yılı arazi örtüsü modelleri kullanılarak RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryoları doğrultusunda arazi örtüsündeki olası değişimin havzanın mavi ve yeşil su kaynaklarına olan etkileri incelenmiştir.

4.6.1. İklim değişikliğinin su bütçesi bileşenleri üzerindeki etkisi

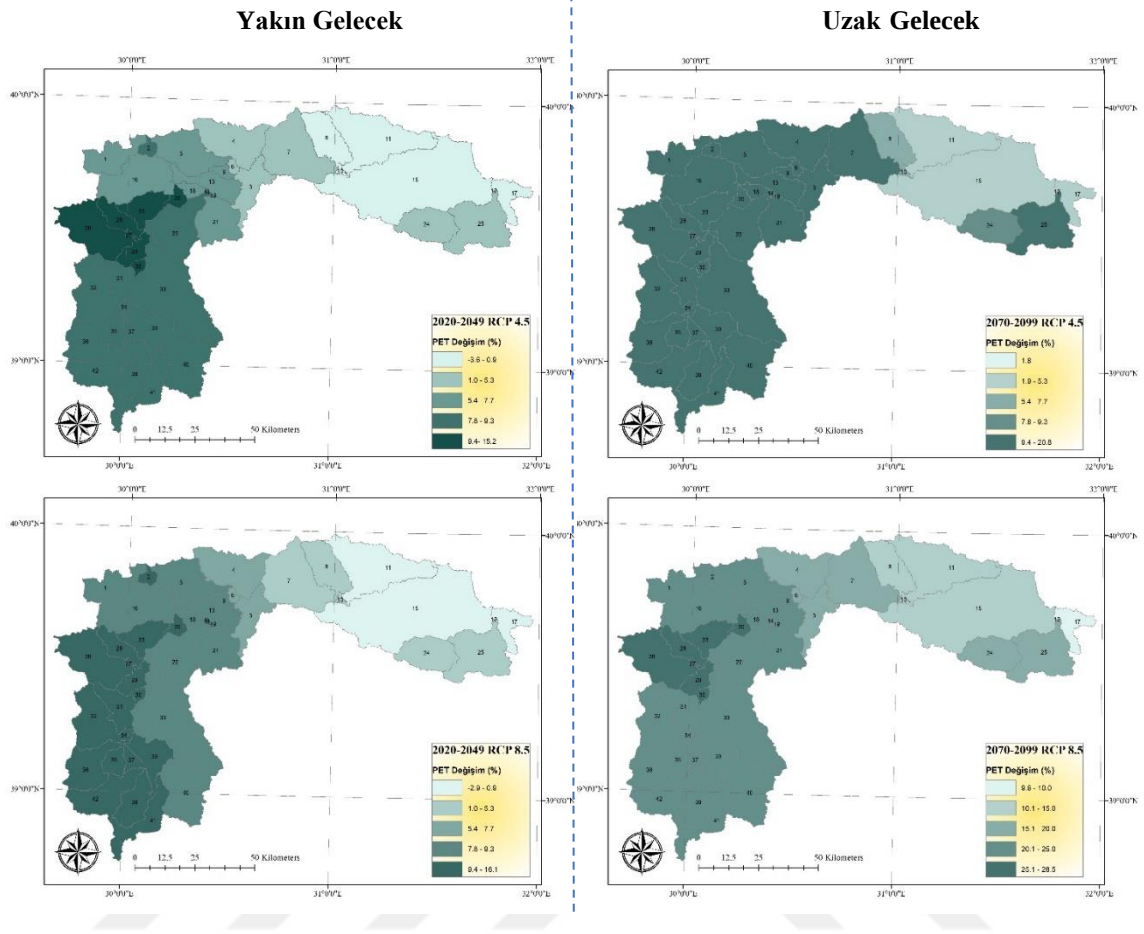
İklim parametrelerindeki değişimin havzada su bütçesi bileşenleri üzerindeki etkilerinin tanımlanmasının amaçlandığı bu bölümde arazi örtüsü modelinin değişmeyeceği varsayımı ile HadGEM2-ES küresel modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryolarına göre oluşturulan hidrolojik model çıktıları değerlendirilmiştir. İklim parametrelerindeki değişimin hidrolojik sürece etkileri referans döneme göre tanımlanmıştır. Yağış, evaporasyon, evapotranspirasyon, toprak nemi ve yüzeysel akış değişimleri, iklim modeli senaryoları RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim verileri ile 2020-2049 yılları zaman periyodu “yakın dönem” ve 2070-2099 yılları zaman periyodu “uzak dönem” yıllık model çıktı verileri ortalama değerleri, 1985-2013 yılları zaman periyodu “referans dönem” yıllık modeli çıktı verileri ortalama değerlerine göre alt havza bazlı haritalanmıştır. Şekil 4.41’de göre RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yakın dönem ve uzak dönem için alt havza bazlı yağış değişimi gösterilmektedir. Yağış miktarında önemli bir değişim gözlemlenmemektedir. İncelenen iki periyotta da havza girişinde

yağış miktarı %7-20 artarken uzak dönem periyodunda %7-9 artış görülmektedir. Havzayı ikiye bölen rezervuardan sonraki bölümde yakın dönemde %13-20, uzak dönem periyodunda %20 - %30 oranında yağışta azalma görülmektedir. İyimser senaryo RCP 4.5 ve kötümser senaryo RCP 8.5 karşılaştırıldığında ise kötümser senaryo şartlarında yakın dönemde Porsuk barajının üstü, Eşenkara ve İnönü havzasında (alt havza no 18 ve 13 alt havza 5) yağışın daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.



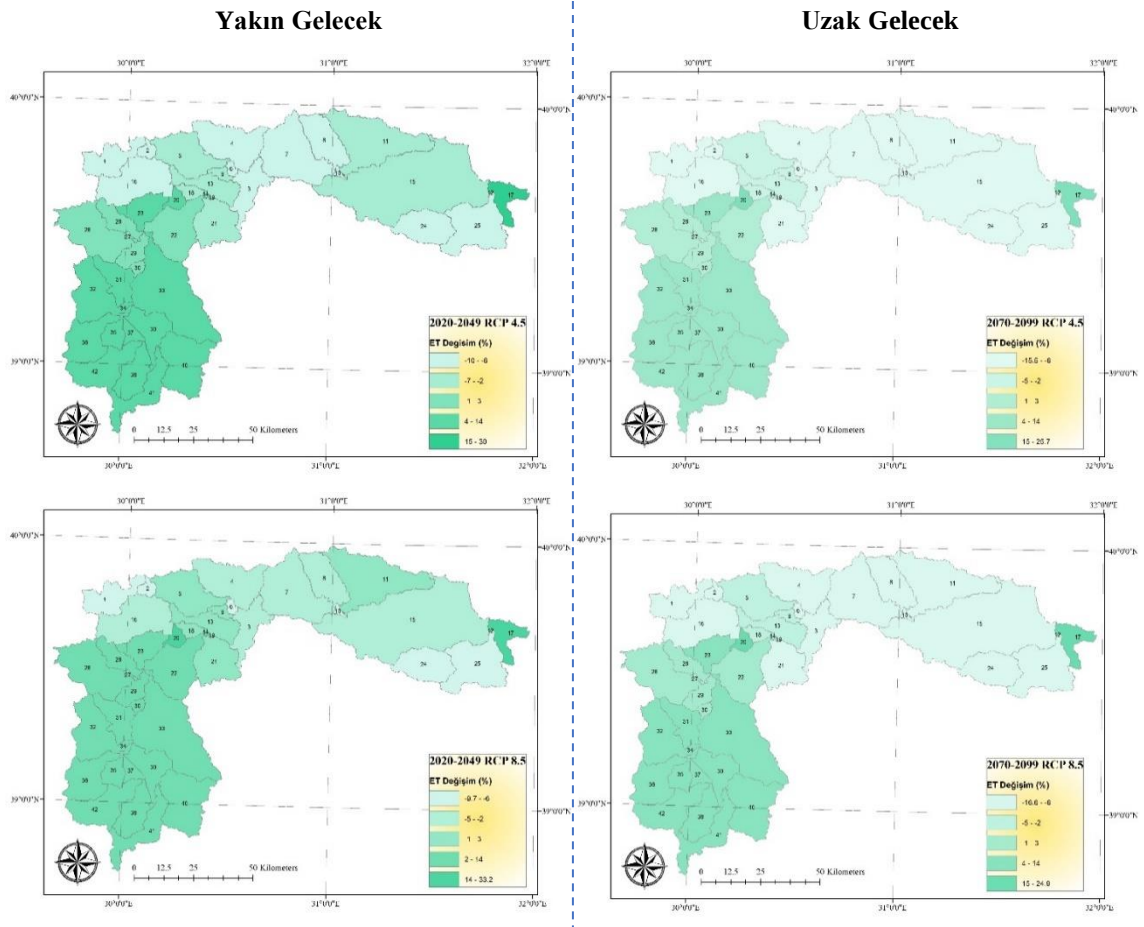
Şekil 4.41. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yağış değişimleri

Şekil 4.42’de potansiyel evapotranspirasyon değişimleri görülmektedir. Genel olarak yağış dağılımına benzer bir dağılım gözlemlenmektedir. Havzanın ilk yarısında potansiyel evapotranspirasyon değişimlerinde artış gözlenirken, ikinci yarısında daha düşük artış gözlemlenmektedir. Uzak dönem periyodu iyimser senaryo RCP 4.5’a göre havzanın ilk yarısında potansiyel evapotranspirasyon değerinde %10’dan fazla artış gözlemlenmektedir. İki senaryo için de yakın dönem periyodunda havzanın ikinci yarısında %2-3 azalma gözlemlenmektedir.



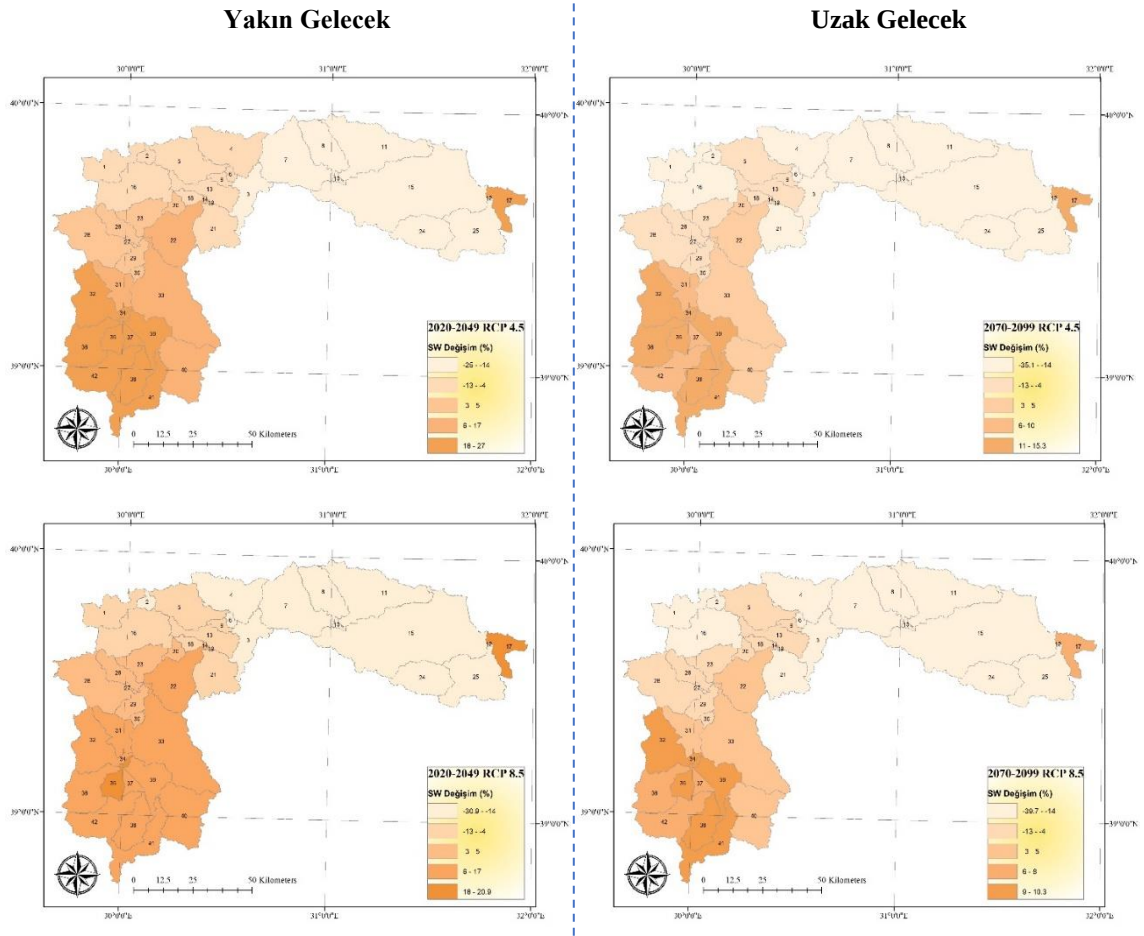
Şekil 4.42. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre potansiyel evapotranspirasyon değişimleri

Arazi örtüsü verisinin değiştirilmediği bu bölümde iklim parametrelerinin yanı sıra arazi örtüsü, toprak yapısı gibi bileşenlerden etkilenen gerçek evapotranspirasyon, toprak nemi ve yüzeysel akış bilgileri de alt havza bazlı değerlendirilmiştir. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre Yeşil Su Akışını ifade eden gerçek evapotranspirasyon değişimleri Şekil 4.43'te verilmiştir. Kötümser senaryoya göre yakın dönem periyodunda havza girişinde gerçek evapotranspirasyon değeri %15-30 oranında artış göstermektedir. Tüm senaryolarda havzanın ikinci yarısında artış değeri azalırken, uzak dönem periyodunda hem iyimser hem de kötümser senaryo için gerçek evapotranspirasyon değerlerinde %5-15 oranında azalma görülmektedir.



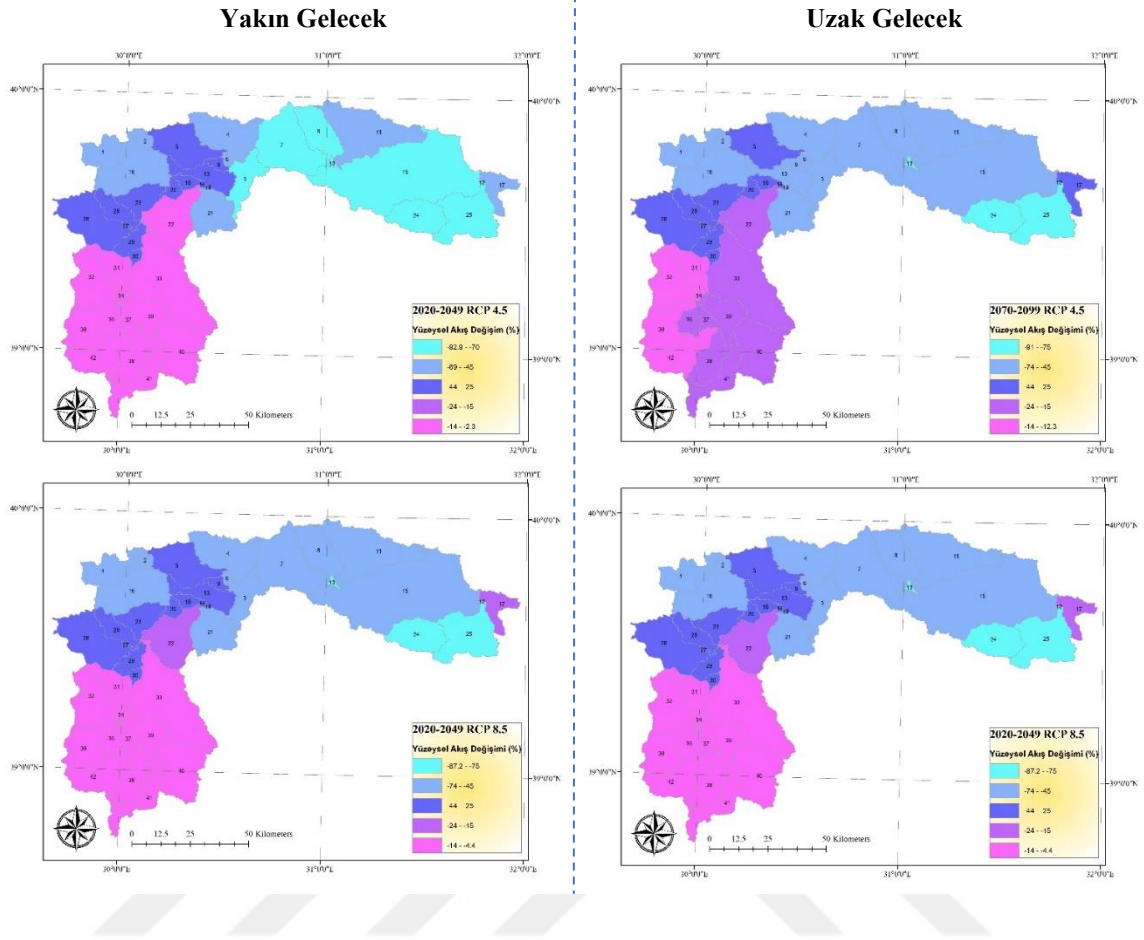
Şekil 4.43. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre gerçek evapotranspirasyon değişimleri

Yağış miktarı, toprak özelliği ile ilgili olan ve Yeşil Su Deposunu ifade eden Soil Water (SW) toprakta tutulan su miktarı mekansal dağılımları incelendiğinde yağış bilgisine benzer olarak tüm senaryolarda ve zaman periyotlarında havza girişinde artış gösterirken havzanın ikinci yarısında %10-40 oranında azalma, havza çıkışında %10'dan fazla artış göstermektedir (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre toprakta tutulan su miktarı

Şekil 4.45'te alt havza bazlı yüzeysel akış değişimleri görülmektedir. Mavi su Akışını ifade eden yüzeysel akış iyimser ve kötümser senaryo koşullarında havza genelinde azalmaktadır. Havza girişinden Kütahya mansabına kadar yüzeysel akıştaki azalma %15 iken porsuk barajı çıkışına kadar olan bölgede yüzeysel akış değerleri %44'e varan azalma tanımlanmıştır. Porsuk barajından sonra havzanın ikinci yarısında iyimser senaryoda kötümser senaryoya göre hem yakın dönem hem de uzak dönemde yüzeysel akıştaki azalmanın %75ten fazla olduğu tanımlanmıştır. Tüm periyotlarda ve senaryolarda Kıranharmanı mevkiine doğru havza çıkışında yer alan 24, 25, 12,17 no'lu alt havzalarda yüzeysel akış azalması daha azdır.



Şekil 4.45. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yüzeysel akış

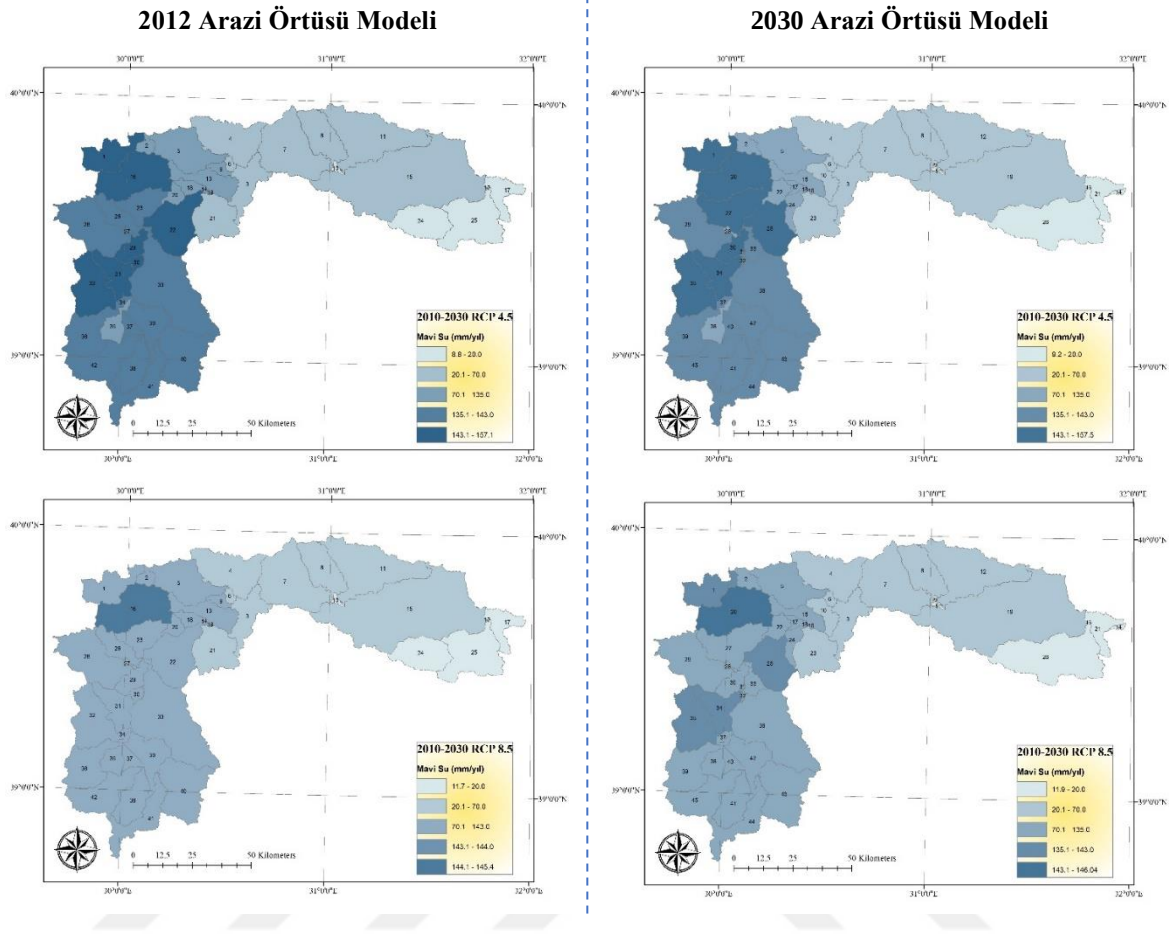
4.6.2. Arazi kullanımı ve iklim değişikliğinin yeşil ve mavi su kaynakları üzerindeki etkileri

İklim parametrelerine ek olarak arazi örtüsü hidrolojik döngünün modellenmesinde önemli bir girdidir. Yüzey akışı, toprak nemi gibi hidrolojik parametreleri etkileyen arazi örtüsünün değişiminin havza hidrolojik parametrelere olan etkilerini tanımlamak için çalışmanın 4.4 başlığında çalışma alanının geçmişten günümüze arazi örtüsündeki değişimi tanımlanmış ve gelecek dönem arazi örtüsü modelleri üretilmiştir. 2049 ve 2099 yılları için üretilen arazi örtüsü model çıktılarının hata olasılıklarının artması sebebiyle en uzak gelecek arazi örtüsü modeli olarak 2030 yılı arazi örtüsü modeli üretilmiştir. Arazi örtüsü ve iklim değişikliğinin havzaya olan etkilerinin tanımlanmasının amaçlandığı bu aşamada 2012 yılı ve 2030 yılı arazi örtüsü modelleri kullanılarak HadGem-2S küresel iklim modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları doğrultusunda arazi örtüsündeki olası değişimin havzanın su potansiyeline olan etkileri incelenmiştir. Kullanılan arazi modellerinin farklı olması sebebiyle modellerin alt havza sayıları

farklıdır. 2012 arazi örtüsü modeli 42 alt havza içerirken, 2030 arazi örtüsü modeli 45 alt havza barındırmaktadır.

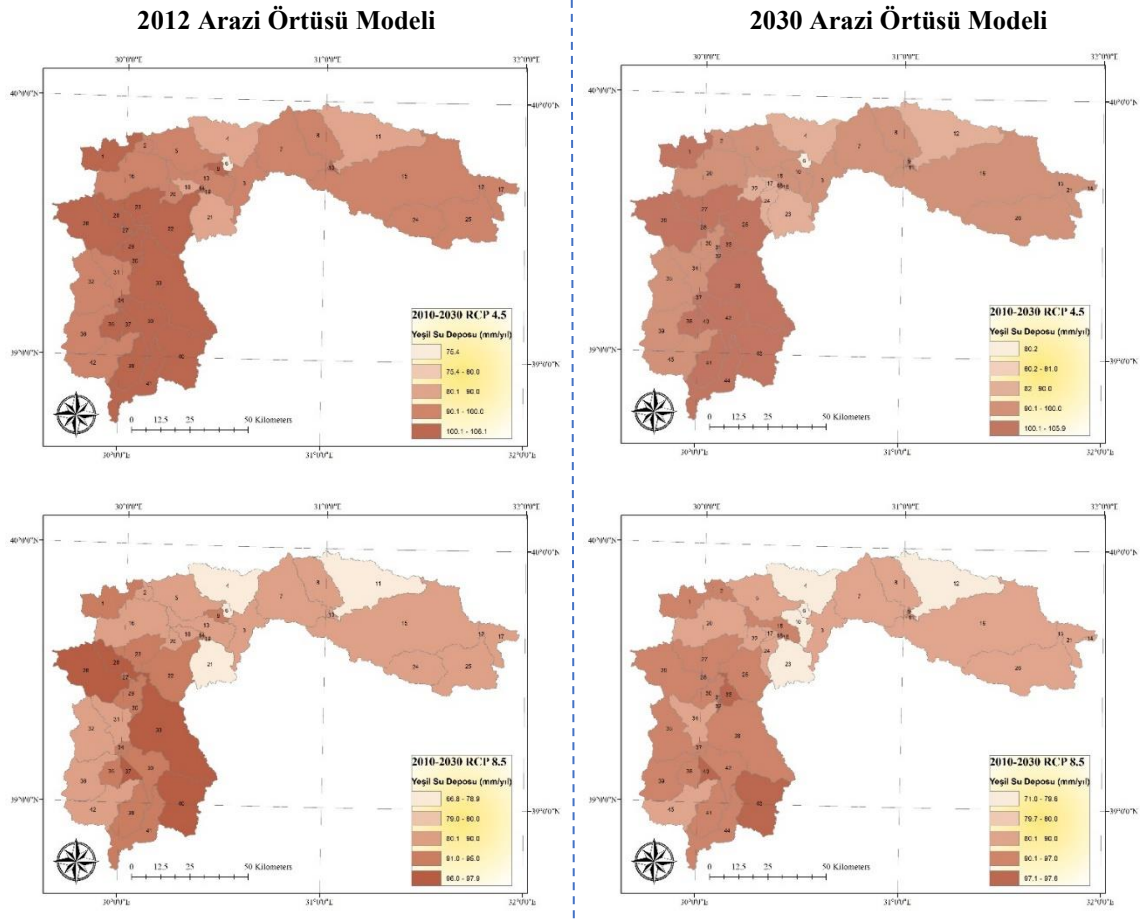
Şekil 4.46'da havzanın daha çok yağış alan bölgelerinde mavi su potansiyelinin (yüzeysel akış + akifere sızma) daha fazla olduğu görülmektedir. Arazi örtüsünün değişmemesi durumunda RCP 4.5 iyi senaryoya göre havzanın membasından porsuk barajının olduğu bölüme kadar mavi su potansiyelinin artacağı görülmektedir. Kütahya membası kuzey batısı, Dodurga, Sobran, Yenisoğça althavzalarında mavi su potansiyelinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Arazi örtüsünün değişmesi durumunda Sofça alt havzasında mavi su potansiyelinin artacağı görülmektedir. Tezin 4.4.2 başlığında RCP 8.5 kötümser senaryo durumunda yağışın 2030 periyoduna kadar iyimser senaryo RCP 4.5'a göre %0.2 artış gösterdiği belirtilmiştir. Arazi örtüsünün değişmemesi halinde havzanın membasının mavi su potansiyeli havza geneline göre daha yüksek olmasına rağmen yalnızca Sofça alt havzası yüksek mavi su potansiyeline sahiptir. Kötümser senaryo şartlarında arazi örtüsünün değişmesi halinde Pazarcık, Koçak, Yenisoğça alt havzalarında mavi su değerlerinin arttığı görülmektedir. Havzanın mansabı havza geneline göre en düşük mavi su potansiyeline sahiptir. İki senaryo ve iki farklı arazi örtüsü durumunda mavi su potansiyeli değerlerinde farklılık gözlemlenmemektedir.

Yağış, toprak yapısı ve arazi kullanımına bağlı olan yeşil su deposu (toprak nemi), tarımsal aktiviteler ve yeraltı suyu beslenimleri için önemlidir. Şekil 4.47'de arazi örtüsü ve iklim değişikliğine bağlı olarak yeşil su deposu potansiyel değişimleri haritalanmıştır. İyimser senaryo koşullarında arazi örtüsü değişimi yeşil su depolama değerlerini değiştirmemektedir. Arazi örtüsünün değişimine bağlı yalnızca Yenisoğça alt havzasında yeşil su deposu değeri azalma göstermiştir. Kötümser senaryo koşullarında ise benzer şekilde havza bütününde yeşil su deposu değerleri benzerlik gösterirken, arazi örtüsü değişimi Kütahya Çalça alt havzası üstünde yer alan alt havzalarda, Kütahya Kızılcaören, Eşenkara alt havzasından sonra Eskişehir ili kent merkezi güney doğusunda yeşil su deposu değerlerinde azalma görülmektedir.



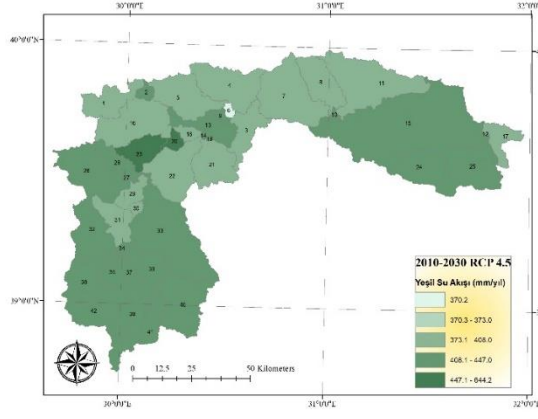
Şekil 4.46. 2010-2030 periyodu RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre mavi su değerleri dağılımı

Şekil 4.48’de yeşil su akış değerleri görülmektedir. Toprak nemi ve bitki örtüsüne bağlı olarak terleme ve buharlaşma ile kayıpların daha fazla olduğu bölgelerde yeşil su akışı (gerçek evapotranspirasyon) potansiyelinin daha fazla olduğu gözlemlenebilmektedir. İyimser senaryoda iki arazi örtüsü modelinde de havza girişi ve havza Alpu ovası sonrası Beylikova bölgesi daha yüksek değere sahiptir. Kütahya ili mansabı, Sobran, İnönü alt havzasından sonra Sarısu çayının geçtiği alt havza, Keskin alt havzası, Alpu Ovasının kuzeyi arazi örtüsü değişimine bağlı olarak yeşil su akışı değerlerinin azaldığı bölgelerdir. Kötümser senaryo durumunda havza girişi yeşil su akışı potansiyeli daha yüksek iken, arazi örtüsü değişimi Eskişehir kent merkezinin kuzeyi Karagöz deresi-Keskin alt havzasında yeşil su akışının azalmasına neden olmaktadır.

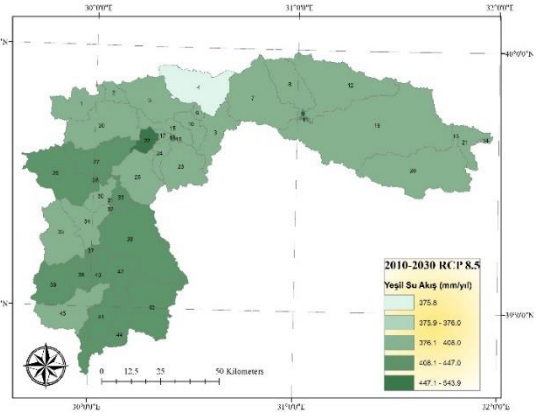
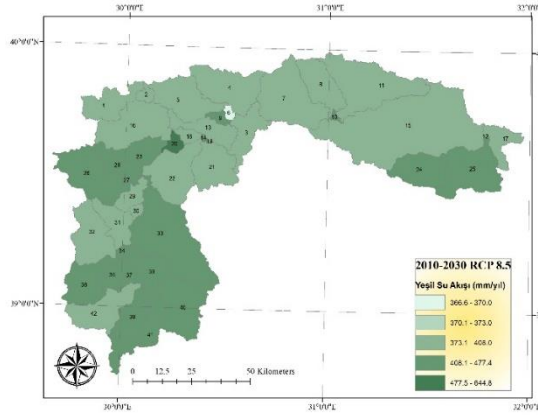
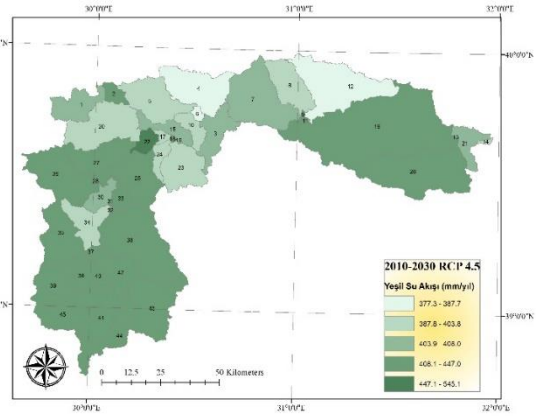


Şekil 4.47. 2010-2030 periyodu RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yeşil su depolama değerleri dağılımı

2012 Arazi Örtüsü Modeli



2030 Arazi Örtüsü Modeli



Şekil 4.48. 2010-2030 periyodu RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre yeşil su akışı değerleri dağılımı

5. SONUÇ

Tezin 4.1 başlığında SWAT modelinin kurulumu yapılmıştır. CFSR meteorolojik verileri, 2012 arazi örtüsü CORINE verisi kullanılarak referans dönem olarak tanımlanan 1985-2013 yılları periyodu aylık ve yıllık olarak modellenmiştir. Ardından tezin 4.2 başlığında modelin kalibrasyon ve doğrulama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon ve validasyon süreçlerinde SWAT-CUP programı, SWAT-CUP 5.1.6.2 sürümü kullanılmıştır. Model kalibrasyonu ve validasyonu ile belirsizlik ve parametre hassasiyet analizleri SUFI-2 optimizasyon algoritması ile yapılmıştır. Çalışma alanının homojen bir şekilde temsil edilmesi amacıyla rezervuardan önce yer alan Porsuk çiftliği ve Kütahya Çalça Yenibosna istasyonları, drenaj ağı üzerinde yer alan porsuk barajının çıkışında yer alan Porsuk Barajı çıkışı istasyonu, Eskişehir ili yakınlarında regülatörün membasında yer alan Eşenkara istasyonu, Eskişehir ilinin mansabında yer alan Yeşildon istasyonu, havzanın mansabında, Porsuk çayının Sakarya nehrine döküldüğü Kıranharman köyü yakınlarında yer alan Kıranharmanı istasyonu aylık akım verileri modelleme yapılan yıllar arasında, arazi örtüsü bilgisi yılına uyumlu olması gözetilerek ve sürekli veri temin edilebilen zaman aralıklarına göre belirlenmiştir. Kalibrasyon için seçilen parametrelerin model çıktıları ve gözlem verilerinin uyumunu sağlayan en uygun değer aralıklarının p-faktörü, r-faktörü, R², NS, PBIAS ve KGE performans ölçütleri ile bulunması amaçlanmıştır. Kalibrasyon ve doğrulama analizleri sonucunda her istasyon ve performans ölçütü için model ve gözlem sonuçları arasında çok iyi bir ilişki olmadığı görülmüştür. Model ile en yüksek uyumu gösteren istasyon havzanın membasında yer alan Porsuk çiftliği (R²=0.82(çok iyi); NS =0.65(iyi);KGE=0.62(yeterli)) ve ardından en yüksek uyumu gösteren istasyon Kütahya Yenibosna Çalça (R²=0.74, NS=0.71, KGE=0.85 (iyi); PBIAS=4.3(çok iyi)) iken, havzayı ikiye bölen Porsuk baraj çıkışında yer alan Porsuk Baraj Çıkışı istasyonu (R²=0.61(iyi))ve Porsuk barajının çıkışında yer alan ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu Yeşildon istasyonunun (R²=0.6(iyi)) ve havza çıkışında yer alan kıranharmanı istasyonunun (R²=0.61(iyi)) havzayı en az temsil eden istasyonlar olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanında verilerin tutarsızlığı, kontrolsüz tarım ve sulaması stratejileri; akım gözlem istasyonların düzensiz çalışması ve akış-yağış arasındaki tutarsızlıklar; arazi örtüsü, sulama rejimi değişimi gibi havzada meydana gelen doğal veya doğal olmayan değişiklikler değerlendirilen AGİ'lerin tamamında her bir performans ölçütü için yeterli temsil ettiği bilgisine erişilememesine sebebiyet verse de

erişilebilen veriler, kullanılan performans ölçütleri ve parametreler doğrultunda havza genelinde en iyi sonuca erişilmeye çaba gösterilmiştir.

Çalışmanın 4.3 bölümünde, kalibre edilmiş model parametreleri kullanılarak CFSR meteorolojik verileri, 2012 arazi örtüsü CORINE verisi ile referans dönem “1985-2013” zaman periyodu için 35 yıllık model oluşturulmuştur. Modelin su bütçesi çıktı verileri ile mavi ve yeşil su mekansal dağılımları haritalanmıştır. Yapılan analizler sonucunda Kütahya ilinin mansabından Eskişehir ili kent merkezine kadar olan bölgenin su temini açısından daha güvenli olduğu bilgisi ortaya çıkmıştır.

Arazi örtüsünün modellenmesinin amaçlandığı 4.4. no’lu bölümde öncelikle 4.4.1 başlık no’lu bölümde Arcmap ortamında 1900, 2000, 2006, 2012 yılları CORINE verileri incelenerek yıllar arasındaki arazi örtüsü-kullanımı kategorileri arasındaki değişim tanımlanmıştır. İnceleme sonucunda 1990 yılı ve 2000 yılı arazi örtüsü-kullanımı sınıfları aynı iken ilerleyen yıllarda bazı sınıfların değişerek farklı sınıfların eklendiği tespit edilmiştir. 1900 yılı ve 2000 yılı CORINE verisi düzey 1 sınıflaması doğrultusunda karşılaştırıldığında yapılaşmış alanın %17.9 arttığı, tarımsal alanın % 0.5 azaldığı, ormanlar ve yarı doğal alanların % 0.3 azaldığı, sulak alan bilgisinin değişmediği ve su kütlelerinin %4.9 arttığı görülmüştür.

İncelemeler doğrultusunda 4.4.2 başlık no’lu bölümde literatür taraması sonucunda belirlenen arazi kullanımı değişiminde etkili olan itici güçler belirlenerek ilgili katmanlar hazırlanmıştır. SWAT modeliyle arazi örtüsünün ve iklim değişiminin incelendiği çalışmalardan farklı olarak (Anand et al., 2018; Rahmanlar, 2019), havzanın arazi örtüsü/arazi kullanımı özellikleri gözetilerek insan kaynaklı faaliyetlerin değişim sürecinde baskın olması gerekçesiyle orman ve yarı doğal alan, tarımsal alan ve diğer arazi kullanım tiplerinden kentsel alana dönüşme trendleri ilgili itici güçlere dahil edilmiştir. Arazi örtüsü/araz kullanımı değişimi sürecinde kullanılan itici güçler şunlardır;

- Sayısal Yükseklik Verisi
- Nehire uzaklık verisi
- Karayollarına uzaklık verisi
- 1990 yılı kentsel alana uzaklık
- Orman ve yarı doğal alan kullanım tiplerinden kentsel alana dönüşme trendi(3rd)

- Tarımsal alandan kentsel alana dönüşme trendi (3rd)
- Diğer arazi kullanım tiplerinden kentsel alana dönüşme trendi(3rd)

Belirlenen itici güçler kullanılarak 4.4.2.2 no'lu bölümde CORINE 1990 ve CORINE 2000 verileri kullanılarak 2012, 2030, 2050,2099 yılları arazi kullanım modelleri üretilmiştir. Sulak alanlar dışında diğer arazi kullanım sınıfları %70'in üstünde doğruluğa sahiptir. %70 üstü doğrulukla tahmin edilen 2012 arazi örtüsü projeksiyonu referans alınarak 2030, 2050 ve 2099 yılları kent alan, tarımsal alan ve orman alan kategorileri değerlendirildiğinde 2030 yılı projeksiyon verisine göre kent alanının %46.5 artacağı, tarımsal alanın %2 azalacağı, orman alanının %1.6 azalacağı tespit edilmiştir. 2050 arazi örtüsü projeksiyon verisine göre kent alanı %70 artarken, tarım alanı %2.5, orman alan ise %3 azalmaktadır. 2099 yılı arazi örtüsü projeksiyonuna göre ise kent alanının %105 artacağı, tarımsal alanın %3.2, orman alanının %5 azalacağı görülmüştür.

Modellenmek istenen 2050 ve 2099 yıllarına daha yakın olması amacıyla 4.4.2.3 no'lu bölümde aynı işlem CORINE 2000 ve CORINE 2012 verileri ile 2018, 2050, 2099 yıllarının model sonuçları üretilmiştir. Ancak CORINE verisinde alt kategorilerdeki değişimin tanımlanmasında hatalar olması ve alt kategorilerin birbiri arasında değişmesi nedeniyle 2018 yılı CORINE verisi ile yapılan doğrulama sonuçları modelin kullanımının uygun olmadığını göstermiştir. Yapılan analizler sonucunda ileri tarihlerde modelde hatanın artacağı görülmüştür ve bu gerekçe ile 4.4.2.4 başlık no'lu bölümde arazi örtüsü-kullanımı modelinin daha ayrıntılı olması amacıyla CORINE 1990 ve 2000 verileri ArcSWAT arazi kullanımı kodlarına göre sınıflandırılarak aynı itici güçler ile yalnızca 2030 yılı arazi örtüsü-kullanımı modeli üretilmiştir.

Çalışmanın 4.4.2.4 başlık no'lu bölümünde düzey 3 sınıflamasına göre yapılan değişim analizi sonuçları sunulmuştur. Çalışmanın 4.4.2.4 başlıklı bölümünde CORINE verisi düzey 3 kategorisine göre CORINE 1990 ve 2000 yılları arazi örtüsü/kullanımı ile 2030 yılı arazi örtüsündeki alansal değişimler karşılaştırılmıştır. Modelleme sonucunda 2000 yılından 2030 yılına yüksek yoğunluklu kent alan kategorisinde %13.43 artış, düşük yoğunluklu kent alanında %75 azalış, kentsel yeşil alanlarda %11.87 azalış tespit edilmiştir.

Çalışmanın 4.5 no'lu başlığı altında iklim parametreleri incelenmiştir. 4.5.1 başlığı altında referans dönem modellemesi için kullanılan, NCEP CFSR veritabanından elde

edilen 1985-2013 yılları arasındaki iklim verileri incelenmiştir. 1991 yılından 2000 yılları arasında yıllık yağış ortalaması 1979-1990 zaman periyoduna göre %14 azalma göstermektedir ve 573.32 mm'dir. Maksimum yıllık yağış 779.307 1997, minimum yağış 387.946 1992 yılında gözlemlenmiştir. 2001 yılından 2013 yılları arasında yıllık yağış ortalaması 530.8 mm'dir. 1991-2000 yılları periyoduna göre % 7 azalma göstermiştir. Maksimum yıllık yağış 657.64 mm olarak 2009 yılında, minimum yağış 379.022 mm olarak 2008 yılında gözlemlenmiştir. İncelenen 3 periyotta zamana bağlı olarak ortalama toplam yıllık yağış bilgisi azalış göstermektedir.

Çalışmanın 4.5.2 başlığı altında geleceğe dönük iklim parametreleri CFSR verisi ve Met Office Hadley Center Enstitüsü tarafından üretilen GCM2- HadGEM2-ES modeli için RCP (4.5 ve 8.5) senaryoları verileri incelenmiştir. 2030-2050 periyodunda ortalama yağış azalmakta, 2050-2075 yıllarında düşüşe geçmekte, 2075-2099 yılları arasında daha da azalmaktadır. RCP 8.5 senaryosunda yağış ortalaması bilgisi daha yüksektir. RCP 4.5 ve RCP8.5 senaryosuna göre 2010-2030, 2031-2050,2051-2075,2076-2099 periyotları aylık ortalama yağış değerleri incelendiğinde 2050 yılına kadar artış olduğu, 2050 yılından sonra genel olarak her ay ortalamasında düşüş olduğu gözlemlenmektedir. Yalnızca RCP 8.5 senaryosunda mayıs ayı için son periyotta artış gözlemlenmektedir. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryosuna göre maksimum sıcaklık 2010-2030 periyodunda ortalama 0.25°C, 2030-2050 periyodunda ortalama 0.5°C, 2050-2075 periyodunda ortalama 1.2°C, son periyotta ortalama 2.32°C artış farkı gözlemlenmektedir. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryosuna göre minimum sıcaklık farkı ise ilk periyot 2010-2030 periyodu için 0.3°C, ikinci periyot için 0.45 °C, üçüncü periyotta 1.1°C, son periyotta 2.1 °C artış farkı gözlemlenmektedir.

Çalışmanın 4.6 başlıklı bölümünde İklim değişikliğinin ve arazi örtüsü-kullanımının havzada mavi ve yeşil su kaynaklarına olan etkisinin tanımlanması amacıyla, öncelikle 4.6.1 başlığında iklim parametrelerindeki değişimin havzanın yağış, evaporasyon, evapotranspirasyon, toprak nemi ve yüzeysel akışa etkisinin olan etkisinin incelenmesi için arazi örtüsü modeli değişmeyen değişken olarak tanımlanmıştır. CFSR iklim verisi kullanılarak oluşturulan referans dönem (1985-2013 yılları zaman periyodu) modeli baz alınarak, GCM2- HadGEM2-ES küresel modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryoları verileri kullanılarak yakın gelecek (2020-2049 yılları zaman periyodu) ve uzak gelecek (2070-2099 yılları zaman periyodu) için üretilen model çıktılarındaki yağış

ve su bütçesi bileşenleri değerlerindeki değişim tanımlanmıştır. Genel olarak havzanın Eskişehir kent merkezine kadar olan ilk yarısında yağış değerlerinde artış, Eskişehir kent merkezi sonrasından mansaba kadar azalma gözlemlenmiştir. Yağış parametresine bağlı olarak diğer su bütçesi parametreleri de havza girişinde artış gösterirken, havzanın ikinci yarısında daha az artış ya da azalma göstermiştir. İncelenen iki periyotta da havza girişinde yağış miktarı %7-20 artarken uzak dönem periyodunda %7-9 artış görülmüştür. Havzayı ikiye bölen rezervuardan sonraki bölümde yakın dönemde %13-20, uzak dönem periyodunda %20 - %30 oranında yağışta azalma görülmüştür.

Yağış dağılımına benzer bir dağılım gözlemlenen Potansiyel evapotranspirasyonda, uzak dönem periyodu iyimser senaryo RCP 4.5'a göre havzanın ilk yarısında potansiyel evapotranspirasyon değerinde %10'dan fazla artış tanımlanmıştır. İki senaryo için de yakın dönem periyodunda havzanın ikinci yarısında %2-3 azalma gözlemlenmiştir.

Arazi örtüsü ve toprak verisinin sabit değişken kabul edildiği 4.6.1 başlıklı bölümde gerçek evapotranspirasyon, toprak nemi ve yüzeysel akış bilgileri de alt havza bazlı değerlendirilmiştir. Yeşil su akışını ifade eden gerçek evapotranspirasyon değeri, kötümser senaryoya göre yakın dönem periyodunda havza girişinde %15-30 oranında artmaktadır. Tüm senaryolarda havzanın ikinci yarısında %2-5 azalırken, uzak dönem periyodunda hem iyimser hem de kötümser senaryo için %5-15 oranında azalma tanımlanmıştır.

Yeşil su deposunu ifade eden toprakta tutulan su miktarı yağış bilgisine benzer olarak tüm senaryolarda ve zaman periyotlarında havza girişinde %10dan fazla artış gösterirken havzanın ikinci yarısında %10-40 oranında azalma göstermektedir. Havza çıkışında ise %10'dan fazla artış görülmüştür.

Mavi su Akışını ifade eden yüzeysel akış unsuru ise iyimser ve kötümser senaryo koşullarında havza genelinde azalmaktadır. Havza girişinden Kütahya mansabına kadar yüzeysel akıştaki azalma %15 iken porsuk barajı çıkışına kadar olan bölgede yüzeysel akış değerleri %44'e varan azalma tanımlanmıştır. Porsuk barajından sonra havzanın ikinci yarısında iyimser senaryoda kötümser senaryoya göre hem yakın dönem hem de uzak dönemde yüzeysel akıştaki azalmanın %75ten fazla olduğu tanımlanmıştır. Tüm periyotlarda ve senaryolarda Kıranharmanı mevkiine doğru havza çıkışında yer alan alt havzalarda yüzeysel akış azalması daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Özetle 2010-2099 periyodunda su bütçesi bileşenleri değerlendirildiğinde hem iyimser hem de kötümser senaryoda mavi su akışının havza genelinde azalacağı görülmektedir. Yeşil su kaynakları, su kaynağı kullanımının büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır; küresel gıda üretimi ve otlaklar tarafından kullanılan su yeşil sudur. Yağış, sıcaklık unsurlarındaki değişiklikler yeşil su kaynaklarını büyük ölçüde etkilemektedir. Doymamış toprakta depolanan ve bitki büyümesini destekleyen yağıştan gelen suyu ifade Yeşil Su Kaynaklarında yeşil su akışı kötümser senaryoya göre yakın dönem periyodunda havza girişinde %15-30 oranında artacağı tanımlanmıştır. Tüm senaryolarda, havzada tarımsal faaliyetlerin yoğun gerçekleştiği havzanın ikinci yarısında azalma görülmüştür. Yeşil su deposunu ifade eden toprak nemi, tüm senaryolarda ve zaman periyotlarında havza girişinde artış gösterirken havzanın ikinci yarısında azalma göstermiştir.

Arazi örtüsünde meydana gelen değişimin hidrolojik döngüye olan etkilerinin tanımlanması amacıyla, çalışmanın 4.4 başlığında CORINE verileri kullanılarak geçmişten günümüze arazi örtüsündeki değişim tanımlanmıştır ve gelecek yıllar için arazi örtüsü modelleri üretilmiştir. 2049 ve 2099 yılları için üretilen arazi örtüsü model çıktılarının hata olasılıklarının artması sebebiyle yalnızca 2030 yılı arazi örtüsü modeli ile hidrolojik model üretilmiştir. Tezin 4.6.2 başlığında yalnızca 2012 yılı arazi örtüsü modeli ve tez kapsamında üretilen 2030 yılı arazi örtüsü modelleri kullanılarak HadGem-2S küresel iklim modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryoları 2010-2030 yılları verileri doğrultusunda arazi örtüsündeki potansiyel değişimin mavi ve yeşil su kaynaklarına olan etkileri incelenmiştir.

Arazi örtüsünün değişmesi durumunda Sofça alt havzasında mavi su potansiyelinin artacağı görülmüştür. Tezin 4.4.2 başlığında RCP 8.5 kötümser senaryo durumunda yağışın 2030 periyoduna kadar iyimser senaryo RCP 4.5'a göre %0.2 artış göstereceği beklenmektedir. Kötümser senaryo şartlarında arazi örtüsünün değişmesi halinde Pazarcık, Koçak, Yenisoğça alt havzalarında mavi su değerlerinin artacağı tespit edilmiştir. Havzanın mansabı havza geneline göre en düşük mavi su potansiyeline sahiptir. İki senaryo ve iki farklı arazi örtüsü durumunda mansap bölümünde mavi su potansiyeli değerlerinde farklılık gözlemlenmemiştir.

Arazi kullanımından etkilenen yeşil su deposu (toprak nemi), tarımsal aktiviteler ve yeraltı suyu beslenimleri için önemlidir. Arazi örtüsü değişimi iyimser senaryo

koşullarında yeşil su depolama değerlerini değiştirmemektedir. Arazi örtüsünün değişimine bağlı olarak yalnızca Yenisoğça alt havzasında yeşil su deposu değeri azalma göstermiştir. Benzer şekilde, kötümser senaryo koşullarında havza bütününde yeşil su deposu değerleri benzerlik gösterirken, arazi örtüsü değişimi Kütahya Çalça alt havzası üstünde yer alan alt havzalarda, Kütahya Kızılcaören, Eşenkara alt havzasından sonra Eskişehir ili kent merkezi güney doğusunda yeşil su deposu değerlerinde azalmaya neden olmaktadır.

Yeşil su akışı iyimser senaryoda iki arazi örtüsü modelinde de havza girişi ve havza Alpu ovası sonrası Beylikova bölgesi için daha yüksek değere sahiptir. Kütahya ili mansabı, Sobran, İnönü alt havzasından sonra Sarısu çayının geçtiği alt havza, Keskin alt havzası, Alpu Ovasının kuzeyi arazi örtüsü değişimine bağlı olarak yeşil su akışı değerlerinin azaldığı bölgelerdir. Benzer şekilde kötümser senaryo durumunda havza girişi yeşil su akışı potansiyeli daha yüksek iken, arazi örtüsü değişimi ile kentleşmenin yüksek olduğu Eskişehir kent merkezinin kuzeyi Karagöz deresi-Keskin alt havzasında yeşil su akışının azalmasına neden olmaktadır.

Tarımsal sulama ve kullanma ve içme suyu kaynağı olarak önemli bir su kaynağı olan Porsuk havzasında yapılan analizler sonucunda mevcut durumda havzanın Kütahya ilinin mansabından Eskişehir ili kent merkezine kadar olan bölgenin su temini açısından daha güvenli olduğu, gelecek yıl periyotlarında ise Kütahya ilinin mansabından porsuk barajına kadar olan bölümünün su temini açısından daha güvenli olduğu görülmüştür. Gelecek dönem periyotlarında özellikle mavi su akışı ifade eden yüzeysel akış verisinin çarpıcı bir şekilde azaldığı görülmüştür. Tarımsal faaliyetler için önemli olan yeşil su deposu da iklim değişikliği bağlamında olumsuz etkilenen bir diğer parametredir. Potansiyel arazi örtüsü değişimi yeşil su akışının azalmasına sebep olmaktadır. Mekansal dağılım haritalarında yağış parametresinin mavi suyun mekansal dağılımının etkileyen bir faktör olduğu görülmektedir. Toprak sınıfları mekansal dağılımının yeşil suyun mekansal dağılımına etkisi olabileceği görülmektedir. Yüzey özellikleri, toprak katmanları ve insan faaliyetleri (örneğin, tarım arazilerinin ormana veya otlaklara dönüştürülmesi, rezervuarların inşası, tarımsal sulama, vb.) yeşil suyun mekansal dağılım modelini etkileyebilir. Bu çalışma, Porsuk Havzasında hidrolojik süreçleri ve mavi ve yeşil suyun mevcudiyetinin, ayrıca iklim değişikliği ve arazi örtüsü değişikliğinin mavi ve yeşil su kaynaklarına olası etkilerinin anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. CBS

temelli yürütülen bu yöntem, havzaların sürdürülebilir kalkınması ve benzer iklim koşullarında su kaynaklarının entegre yönetimine envanter sağlayabilir. Bu çalışmada mavi ve yeşil su simülasyonunda tarımsal sulama ve rezervuar gibi insan faaliyetlerinin mavi ve yeşil su üzerindeki etkileri dikkate alınmamıştır. Ek olarak, açık kaynaklı verilerin kullanıldığı bu modelde havza ölçeğinde daha ayrıntılı toprak verisi, iklim verisi kullanılmasının mavi ve yeşil su kaynaklarının mekansal olarak daha doğru tanımlanmasını sağlayacağı düşünülmektedir.



6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Sakarya nehrinin bir kolu olan Porsuk çayı Porsuk Havzası Eskişehir ve Kütahya il merkezlerini içine almaktadır. Sulama ve kullanma ve içme suyu kaynağı olarak önemli bir su kaynağı olan havzadaki su kaynaklarının yönetimine envanter sağlamak için mavi ve yeşil suların tanımlanması önem arz etmektedir. CBS'nin temel alınarak araştırma yönteminin yürütüldüğü bu çalışmada, SWAT modeli kullanarak Porsuk havzasında doğal hidrolojik döngü süreçler oluşturulmuştur. Geleceğe dönük iklim modeli senaryoları kullanılarak Porsuk Havzası'nın 1985-2013, 2020-2049, 2070-2099 dönemleri için yeşil ve mavi su mekansal-zamansal değişimleri tanımlanmıştır. Arazi örtüsü değişimi tanımlanarak geleceğe dönük arazi örtüsü modeli oluşturulmuştur. Modellenen arazi örtüsü modeli ile 2010-2030 yılları zaman periyodunda arazi örtüsü ve iklim değişiminin mavi ve yeşil su kaynaklarına olan etkileri tanımlanmıştır.

SWAT modeli oldukça geniş alanların hidrolojik modellerinin oluşturulması ve arazi örtüsündeki değişikliklerin havza üzerindeki etkilerini tanımlamak için uygun bir modeldir. Gerçeğe yakın hassas modellerin üretilebilmesi için yüksek çözünürlüklü girdi verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak yine de veri temininin güç olduğu alanlarda alan hakkında çıkarım yapılmasını sağlayan bir modeldir. SWAT modeli hidrolojik çalışmalarda oldukça yaygın kullanılan bir model olmasına rağmen çalışmada bazı güçlüklerle karşılaşmıştır. Modelin kalibrasyon ve doğrulama işlemleri SWAT-Cup aracı ile yapılmıştır. Ancak kontrolsüz tarım ve sulaması stratejileri; akım gözlem istasyonların düzensiz çalışması ve akış-yağış arasındaki tutarsızlıklar; arazi örtüsü, sulama rejimi değişimi gibi havzada meydana gelen doğal veya doğal olmayan değişiklikler değerlendirilen AGİ'lerin tamamında her bir performans ölçütü için yeterli temsiliyet seviyesine erişilememiştir. Havza genelinde sağlıklı bir kalibrasyon validasyon süreci sağlanamamıştır.

Atmosphere Ocean General Circulation Modelleri (GCMs)'nden Met Office Hadley Center Enstitüsü tarafından üretilen GCM2 - HadGEM2-ES modeli için RCP (4.5 ve 8.5) senaryoları verileri ile 2005-2099 yılları için verileri 0.5° grid formatında günlük yağış ve maksimum-minimum yağış bilgileri kullanılarak geleceğe dönük hidrolojik modelleri oluşturulmuştur. Ancak iklim modellerinden elde edilen yağış verilerinin modellenmesi sonucunda elde edilen akış verilerinin kalibrasyon ve validasyon imkanının olmaması; iklim değişikliği, arazi örtüsü, sulama rejimi değişimi gibi havzada

meydana gelen doğal veya doğal olmayan değişiklikler, önceki kalibrasyon değerlerini de geçersiz hale getirmesi gerekçesi ile gelecek yılların modellenmesi için geçmiş döneme ait kalibrasyon parametrelerini kullanmanın doğru olmayacağı çıkarımı yapılmıştır. Belirtilen sebepler nedeniyle referans dönem için model girdi ve parametre belirsizliklerine göre kalibre edilmiş yakın dönem ve uzak dönem periyotlarına ait model çıktılarının bulgularının geçerliliği tartışmalıdır.

CORINE verileri kullanılarak havzanın 2030, 2050 ve 2099 yılları için arazi örtüsü modellenmiştir. 2050 ve 2099 yıllarında hataların artması gerekçesiyle bu yılların hidrolojik modelleri 2030 arazi örtüsü modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Ancak yüksek çözünürlüklü uydu verileri ve havza koruma eylem planları ve uzman görüşleri dahil edilerek 2030 yılı sonrasının CA-Markov analizi ile modellenmesinin daha doğru olabileceği, böylelikle daha ileri tarihler için arazi örtüsü modeli üretilebileceği düşünülmektedir.

CBS kullanarak Porsuk havzasında doğal hidrolojik döngü sürecini oluşturma, iklim parametreleri ve arazi örtüsü değişimine bağlı olarak mavi ve yeşil su kaynaklarının olası değişiminin tanımlanmasının amaçlandığı çalışmada önerilen yöntem, erişilebilir-açık kaynaklı veriler ile çalışma alanı için uzun simülasyon döngüleri oluşturulmasına imkan vermektedir. Mekansal planlama süreçlerinde çeşitli kaynaklardan elde edilen mekansal ve mekansal olmayan farklı türde verinin tek bir platformda toplanmasını, saklanmasını, gerektiğinde kolaylıkla güncellenebilmesini ve farklı türdeki verilerin birlikte değerlendirilebilmesini sağlayan CBS, mekansal planlama süreçlerinde karar vericilerin karar verme sürecini kolaylaştıran, çevresel izleme ve modelleme süreçlerini kolaylaştıran bir araç olarak bu tez çalışmasının yönteminin temelini oluşturmuştur. Çeşitli kaynaklardan temin edilen iklim, arazi örtüsü, toprak, sayısal yükseklik modeli gibi farklı yapıdaki veriler CBS kullanılarak ortak platformda işlenmiştir ve çeşitli mekansal analiz yöntemleri ile analiz edilerek çalışmanın bulguları mekansal olarak haritalanmıştır.

Çalışmanın yöntemi su kaynaklarının planlanması ve yönetimi için bilimsel katkı sağlayabilir. Mavi ve yeşil suyun mevcudiyetinin tanımlanmasının yanı sıra hidrolojik süreçlerin anlaşılması ve benzer iklim koşullarına sahip bölgelerde havzaların sürdürülebilir kalkınmasının ve entegre su havzası yönetiminin teşvik edilmesinde faydalı olabilir.

KAYNAKÇA

- Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., & Kløve, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733–752.
- Abbaspour, K., Vaghefi, S., & Srinivasan, R. (2017). A Guideline for Successful Calibration and Uncertainty Analysis for Soil and Water Assessment: A Review of Papers from the 2016 International SWAT Conference. *Water*, 10(1), 6.
- Abbaspour, K C, Vejdani, M., & Haghighat, S. (2007). SWAT-CUP Calibration and Uncertainty Programs for SWAT. In *Proc. Intl. Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'07)*, 1603–1609.
- Abbaspour, Karim C, Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., & Srinivasan, R. (2007). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333, 413–430.
- Abrantes, P., Fontes, I., Gomes, E., & Rocha, J. (2016). Compliance of land cover changes with municipal land use planning: Evidence from the Lisbon metropolitan region (1990-2007). *Land Use Policy*, 51, 120–134.
- Abbaspour, K. C. (2015). *SWAT-CUP: SWAT Calibration and Uncertainty Programs A User Manual*. Duebendorf, Switzerland: Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Abbaspour, K. C., Vaghefi, S. A., Yang, H., & Srinivasan, R. (2019). Global soil, landuse, evapotranspiration, historical and future weather databases for SWAT Applications. *Scientific Data*, 6(1).
- Ağaçsapan, B. (2016). *Katı atık yönetiminde coğrafi bilgi sistemleri : Eskişehir ili atık aktarma istasyonları için yer seçimi örnekleme*. Anadolu Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Akçakaya, A., Sümer, U. M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Gürkan, H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy, S., Bölük, E., Arabacı, H., Arabacı, Erhat Ş. E. B. H., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S., Çukurçayır, F., Açar, Y., Ekici, M., &

- Yağın, S. (2015). *Yeni senaryolar ile Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği*. Ankara, TC Tarım ve Orman Bakanlığı.
- Akınır, M. E. (2012). *Nutrient Export Coefficient Modelling Of The Melen Watershed Using Estimated Retention In The Water Body. İstanbul, TURKEY*: Doctor of Philosophy Thesis, Graduate Program in Civil Engineering Boğaziçi University.
- Allen, R. ., Pereira, L. ., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. In FAO Irrigation and Drainage (p. 56). *Food and Agriculture Organization*, Rome, Italy.
- Anand, J., Gosain, A. K., & Khosa, R. (2018). Prediction of land use changes based on Land Change Modeler and attribution of changes in the water balance of Ganga basin to land use change using the SWAT model. *Science of the Total Environment*, 644, 503–519.
- Anonim. (2016). *Eskişehir İl Tarım, Gıda ve Hayvancılık Müdürlüğü 2016 yılı faaliyet raporu*. Eskişehir, Eskişehir İl Tarım, Gıda ve Hayvancılık Müdürlüğü.
- Anonim. (2018). *Proje Sonuç Raporu*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü. Ankara, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü.
- Anonim. (2020). Eskişehir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. İklim ve Bitki Örtüsü: <https://eskisehir.ktb.gov.tr/TR-111593/iklim-ve-bitki-ortusu.html>. (Erişim tarihi: 25.04.2020)
- Anonim. (tarih yok). *Küçük Menderes Havzası Hassas Su Kütleleri İyileştirme Eylem Planı*. http://suyonetimi.ormansu.gov.tr: http://suyonetimi.ormansu.gov.tr/Libraries/su/K%C3%BC%C3%A7%C3%BCK_Menderes_Havzas%C4%B1_Hassas_Su_K%C3%BCtleleri_%C4%B0yile%C5%9Firme_Eylem_Plan%C4%B1_rev4_A4.sflb.ashx. (Erişim tarihi: 10.12.2018)
- Anonim. (2019). *Eskişehir İli 2018 Yılı Çevre Durum Raporu*. Eskişehir:T.C. Eskişehir Valiliği, Çevre ve şehircilik İl Müdürlüğü.

- Aouissi, J., Benabdallah, S., Lili Chabaâne, Z., & Cudennec, C. (2016). Evaluation of potential evapotranspiration assessment methods for hydrological modelling with SWAT—Application in data-scarce rural Tunisia. *Agricultural Water Management*, 174, 39–51.
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R. D., Van Griensven, A., Liew, M. W. Van, Kannan, N., Jha, M.. (2012). SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491–1508.
- SWAT: Model Use, Calibration, And Validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491–1508.
- Bakış, R., Koyuncu, H., Özkan, A., Banar, M., Yılmaz, G., & Yörükoğulları, E. (2011). Porsuk Havzası Yüzeysel ve Yeraltı Suyu Kirlilik Düzeyinin Araştırılması. *Anadolu University Journal Of Science and Technology-A, Applied Sciences and Engineering*, 12(2).
- Bayazıt, M. (2003). *Hidroloji*. Birsen Yayınevi.
- Burroughs, W. J. (2007). *Climate change: A multidisciplinary approach, second edition*. In *Climate Change: A Multidisciplinary Approach*, 2.Baskı, 9780521870153. Sayı. Cambridge University Press.
- Büyükerşen, Y., & Efelerli , S. S. (2008). Porsuk Havzası Su Yönetimi ve Eskişehir Örneği. *TMMOB Su Politikaları Kongresi*. s. 451-459.
- Belmont, P., Stevens, J. R., Czuba, J. A., Kumarasamy, K., & Kelly, S. A. (2016). Comment on “Climate and agricultural land use change impacts on streamflow in the upper midwestern United States,” by Satish C. Gupta vd. In *Water Resources Research* (52, 9, s. 7523–7528). Blackwell Publishing Ltd.
- Calzada, L., Meave, J. A., Bonfil, C., & Figueroa, F. (2018). Lands at risk: Land use/land cover change in two contrasting tropical dry regions of Mexico. *Applied Geography*, 99, 22–30.

- Chen, C., Hagemann, S., & Liu, J. (2015). Assessment of impact of climate change on the blue and green water resources in large river basins in China. *Environmental Earth Sciences*, 74(8), 6381–6394.
- CFSR, T. N. (2019, 05 20). Global Weather Data for SWAT. Global Weather Data for SWAT: <https://globalweather.tamu.edu/> Copernicus Land Monitoring Service . (tarih yok). CORINE Land Cover. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>. (Erişim tarihi: 11.01.2018)
- Cüceloğlu, G. (2019). *İklim değişikliğinin İstanbul'un yüzeysel su kaynaklarına etkisi ve kuraklık dirençli bütünleşik su yönetimi*. Doktora tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Dağdemir, Ö. (2013, Kasım 14). Eskişehir Ekonomisinin Genel Görünümü: Bölgesel Göstergelerle Bir Değerlendirme. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, s. 1-30.
- DECETI, D. o. (tarih yok). MURBANDY PROJECT (Monitoring URBAN DYnamics). <http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/rsens/DeCETI/NTUA/Murbandy/murbandy1.htm>, (Erişim tarihi: 29.04.2018)
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, D. (2005). Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü meteorolojik rasat verileri.
- D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, & T. L. Veith. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900.
- Du, L., Rajib, A., & Merwade, V. (2018). Large scale spatially explicit modeling of blue and green water dynamics in a temperate mid-latitude basin. *Journal of Hydrology*, 562, 84–102.
- EEA, (2002). *Towards an urban atlas: assessment of spatial data on 25 European cities and urban areas*. Copenhagen: European Environment Agency.
- Erdoğan, B. (1990). İzmir- Ankara Zonu ile Karaburun Kuşaaının Tektonik İlişkisi. *M.T.A. Dergisi*(119), 1-15.

- European Commission . (2018, 11 29). The Nitrates Directive. European Commission-Environment: http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/index_en.html , (Erişim tarihi: 15.12.2018)
- Falkenmark, M., & Rockström, J. (2006). The New Blue and Green Water Paradigm: Breaking New Ground for Water Resources Planning and Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(3), 129–132.
- Falkenmark, Malin. (2003). Freshwater as shared between society and ecosystems: From divided approaches to integrated challenges. *In Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (358, 1440, s. 2037–2049). Royal Society.
- Faramarzi, M., Abbaspour, K. C., Schulin, R., & Yang, H. (2009). Modelling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrological Processes*, 23(3), 486–501.
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., Nayak, S. K., Ghosh, S., Mitra, D., Ghosh, T., & Hazra, S. (2017). Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling- A review. *In Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 5, s. 64–77. Elsevier B.V.
- Gölpınar, M. S. (2017). *Yüzey Akışların Swat Modeli İle Belirlenmesi: Akarsu Sulama Birliği Sahası Örneği*. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar Ve Sulama Anabilim Dalı,.
- Güngör, Ö. (2011). *Aşağı porsuk çayı havzasında askıda katı madde taşınımının belirlenmesi ve modellenmesi*. Eskişehir: Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi.
- Güzel, Ç. (2010). *SWAT Modelinin Türkiye’deki Bir havzada Uygulanması. İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,*
- Gan, T. Y., Dlamini, E. M., & Biftu, G. F. (1997). Effects of model complexity and structure, data quality, and objective functions on hydrologic modeling. *Journal of Hydrology*, 192(1–4), 81–103.

- Gupta, S. C., Kessler, A. C., Brown, M. K., & Zvomuya, F. (2015). Climate and agricultural land use change impacts on streamflow in the upper midwestern United States. *Water Resources Research*, 51(7), 5301–5317.
- Hannah, L. (2015). Chapter 2 - The Climate System and Climate Change. L. Hannah içinde, *Climate Change Biology*, 2.Baskı, s. 13-53.
- http-1. United States Geological Survey (USGS), The EarthExplorer (EE). <http://earthexplorer.usgs.gov/> (Erişim tarihi: 28.06.2018)
- Henriques, C., & Tenedório, J. A. (2009). Remote sensing, GIS application and simulation of coastal land use changes based on cellular automata: A case study of Maputo, Mozambique. *Journal of Coastal Research*, SPEC. 56, 1518–1521.
- ILRI, CIAT, CCAFS. (2014). Global Weather Data for SWAT. MarkSim® DSSAT weather file generator. ILRI.: <http://gisweb.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/> (Erişim tarihi: 01.04.2018)
- İmamoğlu, M. Z. (2017). *Aktif Uzaktan Algılama Verileri ve CBS Destekli Hidrolojik Model Kullanılarak Büyükçekmece Havzası'nın İncelenmesi*. İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2000). MarkSim: software to generate daily weather data for Latin America and Africa. *Agronomy Journal*, 92(3), s. 445-453.
- Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2013). Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modelling applications. *Agricultural Systems*, 114, 1-5.
- Jiang, J., Lyu, L., Han, Y., & Sun, C. (2021). Effect of climate variability on green and blue water resources in a temperate monsoon watershed, Northeastern China. *Sustainability*, 13(4), s.1–13.
- Jouma, N. (2019). *Sultan sazlığı'nda iklim değişikliği ve arazi kullanımı/örtüsü değişimlerinin etkilerinin swat ile modellenmesi*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.

- Karim C. Abbaspour. (2012). SWAT-CUP: SWAT Calibration and Uncertainty Programs - A User Manual. https://swat.tamu.edu/media/114860/usermanual_swatcup.pdf. (Erişim tarihi: 01.04.2018)
- Kelleci, E., Ergen, S., & Uyguçgil, H. (2015). *Konumsal veritabanı* (H. Uyguçgil (ed.); 3.baskı). Anadolu Üniversitesi. Açıköğretim Fakültesi yayınları.
- Keskin, M., Doğru, , Ahmet Özgür, Uluğtekin, N. N., & Güney, C. (2015). Zaman-mekan Kübünün (Space-time cube) Anlaşılabilirliğinin Değerlendirilmesi. 15. *Türkiye Harita Bilimsel Ve Teknik Kurultayı*.
- Küpçü, S. (2015). *Coğrafi bilgi sistemleri* (A. Çabuk & H. Uyguçgil (eds.); 1.Baskı.). Anadolu Üniversitesi.
- Kushwaha, K., Singh, M. M., Singh, S. K., & Patel, A. (2021). Urban growth modeling using earth observation datasets, Cellular Automata-Markov Chain model and urban metrics to measure urban footprints. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22.
- Lemann, T., Roth, V., Zeleke, G., Subhatu, A., Kassawmar, T., & Hurni, H. (2018). Spatial and Temporal Variability in Hydrological Responses of the Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Water*, 11(1).
- Leta, O. T., & Bauwens, W. (2018). Assessment of the impact of climate change on daily extreme peak and low flows of Zenne basin in Belgium. *Hydrology*, 5(3), 38.
- Liu, J., & Yang, H. (2010). Spatially explicit assessment of global consumptive water uses in cropland: Green and blue water. *Journal of Hydrology*, 384(3–4), 187–197.
- Lyu, L., Wang, X., Sun, C., Ren, T., & Zheng, D. (2019). Quantifying the effect of land use change and climate variability on greenwater resources in the Xihe River Basin, Northeast China. *Sustainability (Switzerland)*, 11(2).
- Liu, Z., Herman, J. D., Huang, G., Kadir, T., & Dahlke, H. E. (2020). Identifying climate change impacts on surface water supply in the southern Central Valley, California. *Science of The Total Environment*.

- Marraccini, E., Debolini, M., Moulery, M., Abrantes, P., Bouchier, A., Chéry, J. P., Sanz Sanz, E., Sabbatini, T., & Napoleone, C. (2015). Common features and different trajectories of land cover changes in six Western Mediterranean urban regions. *Applied Geography*, 62, 347–356.
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282).
- Moss, R., Nakicenovic, N., & O'Neill, B. (2008). Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- National Institute of Water and Atmospheric Research(NIVA). (tarih yok). CLUES – Catchment Land Use for Environmental Sustainability model. <https://www.niwa.co.nz/freshwater-and-estuaries/our-services/catchment-modelling/clues-catchment-land-use-for-environmental-sustainability-model>. (Erişim tarihi: 17.12.2018)
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2009). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. College of Agriculture and Life Sciences.
- NOAA. Historical Maps and Charts audio podcast. National Ocean Service website, <https://oceanservice.noaa.gov/podcast/july17/nop08-historical-maps-charts.html>, Erişim Tarihi: 8/13/17.
- Onuşluel, G., & Rosbjerg, D. (2010). Modelling of hydrologic processes and potential response to climate change through the use of a multisite swat (Cilt 24). *Journal of Water Environment*.
- Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, 313, (5790), 1068–1072.

- Paçal, M. (2017). *Hydrological and Water Quality Modelling of Ergene River Basin. İstanbul: Yıldız Technical University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Master of Degree Thesis.*
- Perez, L., & Dragicevic, S. (2012). Landscape-level simulation of forest insect disturbance: Coupling swarm intelligent agents with GIS-based cellular automata model. *Ecological Modelling*, 231, 53–64.
- Rahman, K., Maringanti, C., Beniston, M., Widmer, F., Abbaspour, K., & Lehmann, A. (2013). Streamflow Modeling in a Highly Managed Mountainous Glacier Watershed Using SWAT: The Upper Rhone River Watershed Case in Switzerland. *Water Resources Management* 27, (2), s. 323–339. Kluwer Academic Publishers.
- Rahmanlar, M. (2019). *Watershed Modeling And Risk Assesment Of Ergene River Basin. Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.*
- Rogelj, J., Meinshausen, M., & Knutti, R. (2012). Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates. *Nature Climate Change*, 2(4), 248–253.
- Saha, S., Moorthi, S., Pan, H. L., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., . . . Goldberg, M. (2010). *The NCEP climate forecast system reanalysis. Bulletin of The American Meteorological Society* , 91.
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3–4), 938–943.
- Schuol, J., Abbaspour, K. C., Yang, H., Srinivasan, R., & Zehnder, A. J. B. (2008). Modeling blue and green water availability in Africa. *Water Resources Research*, 44(7), 7406.
- Soil&Water Assesment Tool, S. (tarih yok). SWAT 2012 Input/Output. Soil&Water Assesment Tool - SWAT: <https://swat.tamu.edu/docs/> (Erişim tarihi: 11.10.2018)
- Sreekesh, S. (2014). Generation of Geomorphometric Information Using Satellite Images for Climate Change Impact Studies. J. Sundaresan, K. Santosh, A. Déri, R.

- Roggema, & R. Singh (Dü) , *Geospatial Technologies and Climate Change* (Cilt 10, s. 261-277). Cham: Springer.
- Sunar, F., Özkan, C., & Osmanoğlu, B. (2015). *Uzaktan algılama* (F. Sunar (ed.); 3.baskı). Anadolu Üniversitesi. Açıköğretim Fakültesi yayınları.
- Texas A&M Agrilife Research. (tarih yok). EPIC & APEX Models. Texas A&M Agrilife Research: <https://epicapex.tamu.edu/>. (Erişim tarihi: 15.12.2018)
- The Hydrologic Engineering Center (HEC) . (tarih yok). *HEC-GeoHMS. The Hydrologic Engineering Center (HEC)*, <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/>, (Erişim tarihi: 12.01.2018)
- Teshager, A. D., Gassman, P. W., Secchi, S., Schoof, J. T., & Misgna, G. (2016). Modeling Agricultural Watersheds with the Soil and Water Assessment Tool (SWAT): Calibration and Validation with a Novel Procedure for Spatially Explicit HRUs. *Environmental Management*, 57(4).
- Turner, B. L. I. I., Meyer, W. B., & Skole, D. L. (1994). Global land-use/land-cover change: Towards an integrated study. *Ambio*, 23(1), 91–95.
- United States Department of Agriculture (USDA). (tarih yok). AGNPS Home. United States Department of Agriculture, <http://go.usa.gov/KFO> (Erişim tarihi: 12.05.2018)
- USGS. (2018, Şubat 22). USGS Groundwater Information. U.S. Geological Survey: <https://water.usgs.gov/ogw/modflow/> , (Erişim tarihi: 03.04.2018)
- USGS, U. G. (2016, Aralık 28). USGS Groundwater Information. U.S. Geological Survey: <https://water.usgs.gov/ogw/seawat/> , (Erişim tarihi: 05.04.2018)
- USGS, U. S. (2016, Aralık 30). Web-Enabled SLEUTH Urban-Growth Model. United States Geological Survey (USGS): <https://egsc.usgs.gov/WebSLEUTHsum.html>, (Erişim tarihi: 15.04.2018)
- USGS, U. S. (tarih yok). Land Use and Climate Change Team. United States Geology Survey USGS: https://www.usgs.gov/centers/wgsc/science/land-use-and-climate-change-team?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects, (Erişim tarihi: 04.11.2018)

- Vaghefi, S. A., Abbaspour, N., Kamali, B., & Abbaspour, K. C. (2017). A toolkit for climate change analysis and pattern recognition forextreme weather conditionseCase study: California-Baja California Peninsula. *Environmental Modelling and Software*, 96, 181-198
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, K., Hibbard, K., . . . Lamarque, J. F. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109(5), s. 1-2.
- Yuan, Z., Xu, J., & Wang, Y. (2019). Historical and future changes of blue water and green water resources in the Yangtze River source region, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(1–2).
- Yücel, İ. (2015). Hidrolojik-Hidrolik Modelleme. In Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/ARDE Sunum/Hidrolik ve Hidrolojik Modelleme.pptx](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/ARDE_Sunum/Hidrolik_ve_Hidrolojik_Modelleme.pptx). (Erişim tarihi: 01.12.2017)
- Waddell, P. (2002). UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning. *Journal of American Planning Association*, 297-314.
- WUR, W. U. (tarih yok). CLUE Model: Conversion of Land Use. Wageningen University & Research - WUR: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Environmental-Sciences/Soil-Geography-and-Landscape-Group/Research/CLUE.htm>. (Erişim tarihi: 10.04.2018)
- Zhang, X., Zhou, J., & Song, W. (2020). Simulating urban sprawl in china based on the artificial neural network-cellular Automata-Markov model. *Sustainability* (Switzerland), 12(11), 4341.
- Zhou, F., Xu, Y., Chen, Y., Xu, C. Y., Gao, Y., & Du, J. (2013). Hydrological response to urbanization at different spatio-temporal scales simulated by coupling of CLUE-S and the SWAT model in the Yangtze River Delta region. *Journal of Hydrology*, 485, 113–125.

EKLER

EK-1. CORINE Araz Örtüsü Anahtarına göre yıllara göre arazi kullanım tipleri ve kapladıkları alanlar

CORINE Arazi Örtüsü Anahtarı													
131.23	-	3637.39	850.65	-	1493.83	12434.22	3056.76	Düzey 3	Corine 1990 (Ha)				
3768.62			2344.48			15490.98		Düzey 2					
22021.21								Düzey 1					
191.77	-	5255.59	1256.61	-	2575.90	12803.50	3235.19	Düzey 3	Corine 2000 (Ha)				
5447.36			3832.51			16038.69		Düzey 2					
25959.8								Düzey 1					
688.55	79.82	6313.13	1436.94	-	3227.86	10447.97	4321.42	Düzey 3	Corine 2006 (Ha)				
7081.5			4664.8			14769.39		Düzey 2					
26515.69								Düzey 1					
566.76	254.88	6567.81	1464.22	260.47	4839.91	11376.70	3132.06	Düzey 3	Corine 2012 (Ha)				
7389.45			6564.6			14508.76		Düzey 2					
28462.81								Düzey 1					
694.41	240.70	7415.54	1575.86	260.47	5380.16	11747.88	3132.06	Düzey 3	Corine 2018 (Ha)				
8350.65			7216.49			14879.94		Düzey 2					
30447.08								Düzey 1					
1.3.3	1.3.2	1.3.1	1.2.4	1.2.2	1.2.1	1.1.2	1.1.1		Corine				
İnşaat Alanları	Çöp Gömü Alanları	Maden Cıkarma	Hava Limanları	Karayolu	Sanayi, Ticari	Süreksiz Kentsiz	Sürekli Kentsel		Düzey 3				
1.3 Maden Ocağı, Çöp Boşaltım, İnşaat	1.2 Sanayi, Ticaret ve Ulaşım						1.1 Kentsel Doku		Düzey 2				
1. Yapılaşmış Alanlar									Düzey 1				

EK-1. (Devam) CORINE Araz Örtüsü Anahtarına göre yıllara göre arazi kullanım tipleri ve kapladıkları alanlar

CORINE Arazi Örtüsü Anahtarı										
			388.12	109929.13	330347.21	126.24	290.89	Düzey 3	Corine 1990 (Ha)	
								Düzey 2		
								Düzey 1		
543574.34	-	-	440664.46			417.13				
	-	388.12	109691.34	329416.56		267.83	373.41	Düzey 3	Corine 2000 (Ha)	
	-	439496.02			641.24			Düzey 2		
	541200.41							Düzey 1		
	-	388.10	112294.26	334503.84		261.29	243.98	Düzey 3	Corine 2006 (Ha)	
	-	447186.2						Düzey 2		
	545441.6							Düzey 1		
	0.64	675.56	111739.45	328443.70		355.76	423.35	Düzey 3	Corine 2012 (Ha)	
	543.4	440858.71						Düzey 2		
	556948.02							Düzey 1		
	0.64	675.56	111679.68	327696.47		396.74	421.63	Düzey 3	Corine 2018 (Ha)	
	543.4	440051.71						Düzey 2		
	555401.01							Düzey 1		
2.2.1		2.1.3	2.1.2	2.1.1		1.4.2	1.4.1		Corine	
Bağlar		Pirinç Tarlalar	Sürekli Sulanan Alanlar	Sulanmayan Tarım Alanlar		Spor Ve Rekreasyon Alanlar	Kentsel Yeşil Alanlar		Düzey 3	
	2.2 Sürekli Ürünler	2.1 Eklebilir Alanlar			1.4 Yayıp Bitkilendirilmiş Alan				Düzey 2	
2. Tarımsal Alanlar						1. Yayılaşmış Alanlar			Düzey 1	

EK-1. (Devam) CORINE Araz Örtüsü Anahtarına göre yıllara göre arazi kullanım tipleri ve kapladıkları alanlar

CORINE Arazi Örtüsü Anahtarı										
										Corine 1990 (Ha)
										Düzy 3
										Düzy 2
										Corine 2000 (Ha)
										Düzy 2
										Düzy 1
										Corine 2006 (Ha)
										Düzy 3
										Düzy 2
										Corine 2012 (Ha)
										Düzy 3
										Düzy 2
										Corine 2018 (Ha)
										Düzy 3
										Düzy 2
										Düzy 1
										Corine
										Düzy 3
										Düzy 2
										Düzy 1
										Düzy 1
73280.35	22350.77	44196.20	25569.27	33144.41	-	-	-	-	-	-
116438.4	69765.47	33144.41	-	-	-	-	-	-	-	-
506405.21										
72624.65	23146.31	44113.75	25054.90	32535.74	-	-	-	-	-	-
116922.16		69168.65		32535.74	-	-	-	-	-	-
504708.13										
74002.77	25537.54	54302.93	13482.62	30436.34	33.51	33.51	33.51	33.51	33.51	33.51
121792.61		67785.55		30436.34	33.51	33.51	33.51	33.51	33.51	33.51
499140.73										
74707.56	24174.57	65840.34	14975.80	34729.77	542.76	542.76	542.76	542.76	542.76	542.76
122245.63		80816.14		34729.77						
484492.15										
74472.69	24140.53	65654.75	14965.91	34185.24	542.76	542.76	542.76	542.76	542.76	542.76
121950.32		80620.66		34185.24						
483964.66										
3.1.2	3.1.1	2.4.3	2.4.2	2.3.1	2.2.2	2.2.2	2.2.2	2.2.2	2.2.2	2.2.2
İğne Yapraklı Ormanlar	Geniş Yapraklı Ormanlar	Doğal Bitki Örtüsü ile	Karışık Tarımsal	Çayır Ve Meralar	Meyve Ağaçları ve Meyve Veren	Meyve Ağaçları ve Meyve Veren	Meyve Ağaçları ve Meyve Veren	Meyve Ağaçları ve Meyve Veren	Meyve Ağaçları ve Meyve Veren	Meyve Ağaçları ve Meyve Veren
3.1 Ormanlar		2.4 Heterojen Tarımsal		2.3 Otlak Alanları	2.2 Sürekli Ürünler	2.2 Sürekli Ürünler	2.2 Sürekli Ürünler	2.2 Sürekli Ürünler	2.2 Sürekli Ürünler	2.2 Sürekli Ürünler
3. Ormanlar ve Yarı Doğal Alanlar		2. Tarımsal Alanlar								

EK-1. (Devam) CORINE Araz Örtüsü Anahtarına göre yıllara göre arazi kullanım tipleri ve kapladıkları alanlar

CORINE Arazi Örtüsü Anahtarı									
146029.83	1972.09	192.97	147834.60	-	93937.32	20807.23	Düzey 3	Corine 1990	
148194.89			241771.92				Düzey 2	(Ha)	
							Düzey 1		
145758.27	1972.00	192.97	146477.24	-	93385.49	21151.20	Düzey 3	Corine 2000	
147923.24			239862.73				Düzey 2	(Ha)	
							Düzey 1		
113025.87	2307.08	-	170646.10	-	91369.07	22252.30	Düzey 3	Corine 2006	
115332.95			262015.17				Düzey 2	(Ha)	
							Düzey 1		
89361.62	1167.74	-	162678.52	27662.05	81376.59	23363.50	Düzey 3	Corine 2012	
90529.36			271717.16				Düzey 2	(Ha)	
							Düzey 1		
89149.42	1167.74	-	163300.92	27369.11	81027.15	23337.10	Düzey 3	Corine 2018	
90317.16			271697.18				Düzey 2	(Ha)	
							Düzey 1		
3.3.3	3.3.2	3.3.1	3.2.4	3.2.3	3.2.1	3.1.3		Corine	
Çok Seyrek Bitki Örtüsüyle Kaplı	Çıplak Kovalıklar	Plajlar, Kumullar	Orman-Çalılık	Sert Yapraklı Bitki Örtüsü	Doğal Otlak Alanlar	Karışık Ormanlar		Düzey 3	
3.3 Bitki Örtüsü Olmayan veya Çok Az	3.2 Çalı veya Otsu Bitkili Alanlar							Düzey 2	
3. Ormanlar ve Yarı Doğal Alanlar								Düzey 1	

EK-1. (Devam) CORINE Araz Örtüsü Anahtarına göre yıllara göre arazi kullanım tipleri ve kapladıkları alanlar

CORINE Arazi Örtüsü Anahtarı					
2720.87	176.05		Düzy 3	Corine 1990 (Ha)	
2720.87	176.05		Düzy 2		
2720.87	176.05		Düzy 1		
2854.77	176.05		Düzy 3	Corine 2000 (Ha)	
2854.77	176.05		Düzy 2		
2854.77	176.05		Düzy 1		
2859.54	428.22		Düzy 3	Corine 2006 (Ha)	
2859.54	428.22		Düzy 2		
2859.54	428.22		Düzy 1		
3930.57	281.59		Düzy 3	Corine 2012 (Ha)	
3930.57	281.59		Düzy 2		
3930.57	281.59		Düzy 1		
3901.40	361.73		Düzy 3	Corine 2018 (Ha)	
3901.40	361.73		Düzy 2		
3901.40	361.73		Düzy 1		
5.1.2	4.1.1			Corine Kodu	
Su Kütelleri	Bataklıklar			Düzy 3	
5.1 Karasal Sular	4.1 Karasal Sulak Ve Islak			Düzy 2	
5.Su Kütelleri	4. Sulak ve Islak Alanlar			Düzy 1	

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Balca Ağaçsapan

EĞİTİM BİLGİLER

Doktora : Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı Doktora
2016-2021

Y.Lisans : Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans 2014-2016

Lisans : Anadolu Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi  evre Mühendisliği Bölümü
2008 - 2013

YAYINLAR

Makaleler

Ağaçsapan, B., &  abuk, S. N. (2019). Determination of Suitable Waste Transfer Station Areas for Sustainable Territories: Eski ehir Case. Sustainable Cities and Society. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101829>

Demirta , M , Yılmaz, E ,  nal, C , K   kpehlivan, T , Ağaçsapan, B , Aksoy, T . (2021). Elektrikli Ara lar ve  arj İstasyonlarının Konumlandırılması. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies , 4 (1) , 11-32 .

Cetin, M., Agacsapan, B., Cabuk, S. N., Senyel Kurkcuoglu, M. A., Isik Pekkan, O., Baran Argun, E., Dabanlı, A., Kucukpehlivan, T., Yilmazel, B., & Cabuk, A. (2021). Assessment of the Ecological Footprint of Eskisehir Technical University–İki Eylül Campus. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*.

Erkek, E , Kalayci, Ö , Basaran, N ,Oner, A , Atun, R , Lamba, H , Uygucgil, H , Cabuk, S , Agacsapan, B . (2020). Investigation of the Relationship Between Bioclimatic Comfort and Landuse By Using GIS and RS Techniques: A Case Study Of Izmir. Afyon Kocatepe University, *Journal of Science and Engineering*, 20 (1) , 174-188 .

Başkaya, O , Ağaçsapan, B , Çabuk, A . (2020). A Model Proposal On The Preparation Of Effective Transportation Plans Using Artificial Intelligence Techniques Within The Context Of Smart Cities. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies* , 3 (1) , 1-21.

Karakaş, A , Yılmaz, E , Ağaçsapan, B , Çabuk, A . (2019). GIS Based Determination Of Air Pollutant Emission Quantities In Transportation. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, 1 (2), 37-57.

Yükselir, H , Ağaçsapan, B , Çabuk, A . (2019). GIS Based Calculation Of Roof Water Collection Capacity. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, 1 (2), 16-26.

Bildiriler

Ağaçsapan, B., Aksoy T., Demir Ö., Sarı, S., Establishment of Infrastructure Systems Inventory in the Context of Geographical Information Systems Based Green Campus Applications: The Case of European University Campus of Lefke , II. Lefke City Symposium, 2019, December 18-20. Lefke, Cyprus.

Aksoy, T., Sarı, S., Ağaçsapan, B., Demir, Ö., Çabuk, A., Detection Of Endangered Bird Species In Wetlands By Geographical Information Systems, Study Case: Burdur Lake, I. International Science And Innovation Congress, 2019, September, Pamukkale, Turkey.

Ağaçsapan, B., Pekkan, E., Çabuk, A., 2019. Coupled SWAT-MODFLOW Model for Determining Surface Water and Groundwater Interaction, International Groundwater Resilience to Climate Change and High Pressure Conference GRECPIMA, May 8-10, 2019. Muğla, Turkey.

Ağaçsapan, B., Çabuk, A., 2018. Geographical Information Systems(GIS) Based Multi-criteria Decision Making, International Marmara Science And Social Sciences Congress 2018, November 23-25,2018, Kocaeli, Turkey, ISBN: 978-605-245-598-2.

Ağaçsapan, B., Çabuk, A., 2018. The Importance of Determining the Effects of Land Use / Land Cover on Water Resources, International Marmara Science And Social Sciences Congress 2018, November 23-25,2018, Kocaeli, Turkey, ISBN: 978-605-245-598-2.

Ağaçsapan, B., Çabuk, A., 2018. Climate Change Impact Assessments on the Water Resources by Using Geodetic Techniques, International Symposium on Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST 18), ISBN: 978-605-81246-0-8.

Ağaçsapan, B., 2018. Sustainable Aviation: GIS for Airport, International Symposium on Business and Economics (ISBE 18), ISBN: 978-605-81246-0-8.

Agacsapan, B., Demircioğlu, F., Uyguçgil, H., 2018, Determination of the Wind Energy Potential Using GIS: Case Study in Eskişehir-Turkey, International Symposium on Urbanization and Environmental Problems: Transition/Transformation/Authenticity

Ağaçsapan, B., Deliry, S.I., Ortakavak, Z., Do, N.T., Uzun Şengül, H. B., Aktaş Altınçekic, D., Yiğit Avdan, Z., Çabuk, A., Comparison of Turkey's Environmental Impact Assessment (EIA) Law with the Other International and National Directives, International Symposium on Urbanization and Environmental Problem: Transition/Transformation/Authenticity, June, 28-30, 2018, Eskişehir (Turkey) ISBN: 978-605-01-1217-7

Agacsapan, B., Korkmaz, M., Çabuk, S.N., 2018, Renewable Energy for a Sustainable Future: A Case Study For Site Selection For Solar Power Plant In Eskişehir , International Symposium on Urbanization and Environmental Problems: Transition/Transformation/Authenticity ,June, 28- 30, 2018, ESKİŞEHİR (TURKEY) ISBN: 978-605-01-1217-7

Ağaçsapan, B., Akkurt, A., Ulutak, E., Çömert, R., Uyguçgil, H., Çabuk, S.N., Avdan, U., Çabuk, A., The GIS Based Evaluation Of Building Rooftops' Photovoltaic Potentials Using UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Data, Energy for Sustainability International Conference 2017 Designing Cities & Communities for the Future Funchal, 8-10 February, 2017 ,Portugal-Madeira, ISBN 978-989-98949-8-3

Using WebGIS in education - Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Web Uygulaması Story Map'in Öğretim Süreçlerinde Kullanımı, RESSCONGRESS, International Congress on Education and Social Science , Isbn 978-605-307880-7

Çabuk, S.N., Ağaçsapan, B., 2015, "Urban Environmental Problems And Urban Information System", International Urban Studies Congress, Eskişehir,TÜRKİYE. ISBN: 978-975-06-1847-5.

Ağaçsapan, B., 2014 , " Kent Bilgi Sistemleri ve Atık Yönetimi", XIX. Türkiye'de İnternet Konferansı, İzmir,TÜRKİYE. (Urban Information Systems and Waste Management), ISBN: 978-605- 60504-7-3.

Ödüller

Esri Young Scholars Award – 2017 ; Winner - 14/04/2017

"The GIS Based Evaluation Of Building Rooftops' Photovoltaic Potentials Using UAV (Unman- ned Aerial Vehicle) Data"

Esri Turkey User Conference, Story Map Contest, Runner Up - 05/10/2017 "Story Map for Von Bagdat Nach Stambul - Karl May."