T.C.

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

MARMARA DENİZİ DRENAJ HAVZASINDA YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİLERİ

ABDULLAH AKBAŞ

2502130029

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. HASAN ÖZDEMİR

İSTANBUL, 2018

T.C.

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

MARMARA DENİZİ DRENAJ HAVZASINDA YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİLERİ

ABDULLAH AKBAŞ

2502130029

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. HASAN ÖZDEMİR

Bu çalışma İ.Ü. BAP tarafından 57515 numaralı proje ile desteklenmiştir

İSTANBUL, 2018

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

DOKTORA
TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN;

Adı ve Soyadı	:	Abdullah AKBAŞ	**Numarası**	:	2502130029
Anabilim Dalı / Anasanat Dalı / Programı	:	Coğrafya	**Danışmanı**	:	Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR
Tez Savunma Tarihi	:	13.12.2018	**Saati**	:	10:00
Tez Başlığı	:	"Marmara Denizi Drenaj Havzasında Yağış-Akış İlişkileri"			

TEZ SAVUNMA SINAVI, İÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin **50. Maddesi** uyarınca yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** OYBİRLİĞİ / OYÇOKLUĞUYLA karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR		Kabul
2- Prof. Dr. Barbaros GÖNENÇGİL		Kabul
3- Prof. Dr. Hafzullah AKSOY		
4- Prof. Dr. Levent KURNAZ		KABUL
5- Dr. Öğr. Üyesi Cihan BAYRAKTAR		Kabul

YEDEK JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- Doç. Dr. Tolga GÖRÜM		Kabul
2- Dr. Öğr. Üyesi T. Ahmet ERTEK		

ÖZET
MARMARA DENİZİ DRENAJ HAVZASINDA YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİLERİ

ABDULLAH AKBAŞ

Marmara Denizi havzasında Mann-Kendall, Spearman's Rho, EKKDR ve Kruskal Wallis testleri kullanılarak yağış ve akış parametrelerinin 1985-2014 yılları arasındaki değişimlerinde genel olarak bir artış eğilimi belirlenmiş ve bu durum ayrıca istatistik açıdan anlamlı değişimler gösteren istasyonların sayısına da yansımıştır. İstatistik olarak anlamlı artış ve azalış trendi gösteren istasyonların aynı zamanda ortalamalarda başta olmak üzere homojenliklerinin de bozulduğu görülmüştür.

Havzadaki yağış ve akış istasyonlarına PCA analizi uygulanarak yağış ve akış PCA bileşenleri ile 500 hPa jeopotansiyel yükseklik, NAO, AO ve SOI arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon katsayısı kullanılarak incelenmiştir. 500 hPa jeopotansiyel yükseklik, uzak atmosfer salınım indislerinin yağış ve akış PCA yükleri korelasyonlarının sonuçları havzanın yağışlı döneminin kuzeyli sistemlerden etkilendiği şeklinde ortaya konulmuştur.

Havzada Akdeniz ikliminden kaynaklı su dengesinde buharlaşma parametresinin temel denetçi olduğu görülmüştür ve bu denetçi de topografyadan etkilenerek alçak kısımlarda daha yüksek değerlere ulaşır. Marmara Denizi havzasının ortalama akış katsayısı 0.42 olarak bulunmuştur. Bu koşullar yerel anlamda farklılıklar olsa da yağış-akış arasında kuvvetli bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Su dengesi ve akış katsayısı arasında negatif ilişki görülmüştür ve bu durum akış katsayısının yüksek olduğu alanlarda su bütçesinin düşük negatif değerlere ulaştığını gösterir.

İklim değişikliği sonucunda havza içeresinde yıllık ve mevsimlik olarak PET ve akarsudan gerçekleşen evaporasyon haricinde yağış, akış, yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı, yeraltı suyu, toprak nemi, perkolasyon, aktüel evapotranspirasyon gibi su dengesi parametreleri gelecekte referans dönemine oranla ciddi azalışlar gösterirken, uç değer (ing:outlier) koşullarında ise artış gözlenmektedir. Öte yandan bu azalışların alansal etkileri sırasıyla en fazla Simav Çayı, Koca Çay olmak üzere Orhaneli ile Emet Çayında ve Nilüfer Çayı havzalarında görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yağış-Akış, Marmara Denizi Havzası, İklim Değişikliği, Değişkenlik

ABSTRACT

In Marmara Sea basin, it is detected that there is an increase trend in values of rainfall and runoff between 1985-2015 by using Mann-Kendall, Spearman's Rho, EKKDR and Kruskal Wallis test and this increase was seen in stations that have statistically significant changes as well. It also seen that the stations which are statistically change are inhomogeneous.

The relation between PCA components of rainfall and runoff, which PCA analysis was applied on rainfall and runoff, and 500 hPa geopotential height, NAO, AO, SOI investigated via Pearson correlation coefficient. The results of correlation coefficient between PCA components of rainfall and runoff, and 500 hPa geopotential height and teleconnections show that basin is affected by northern air mass during wet period.

Evaporation is the principal process in water balance of basin due to Mediterranean climate and evaporation also is affected by topography in which low areas have highest values of evaporation. The runoff coefficient is 0.42 in Marmara Sea basin. That circumstance demonstrate that even there is strong relation between rainfall and runoff even if it differentiate locally. It is seen that there is a negative correlation between water balance and runoff coefficient in which areas with high runoff coefficients is the areas where water balance show less negative values.

On the one hand, many parameters such as rainfall, runoff, surface runoff, lateral flow, groundwater, soil water, percolation, actual evapotranspiration except potential evapotranspiration and evaporation from runoff in Marmara Sea basin will decrease in future with respect to reference period and outlier of parameters of water balance will be expected as result of climate change. On the other hand, most affected areas will be Simav Çayı, Koçayı, Orhaneli Çayı, Emet Çayı and Nilüfer çayı, respectively.

Keywords: Rainfall-Runoff, Marmara Sea Basin, Climate Change, Variability

ÖNSÖZ

“Nature and Nature's laws lay hid in night:
God said, Let Newton be! and all was light.”

“Doğa ve doğanın yasaları gecede saklıydı:
Tanrı Newton'a "ol" dedi ve her şey aydınlandı.”

Alexander POPE

Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt’un (14 Eylül 1769 - 6 Mayıs 1859) çalışmalarıyla sistematik olarak başlayan doğayı ve çevreyi anlama ile tasvir etme çabası günümüzde de bilim insanlarını harekete geçiren ve yönlendiren bir temel içgüdü olma özelliğini barındırmaktadır. Bu bağlamda, hem arz küre hem de hava küre ile bu ikisi arasında gelişen süreçlerin anlaşılması coğrafya biliminin de evrimiyle alakalıdır. Özellikle 1950’lerden sonra gelen sayısal devrimle birlikte Coğrafya bilimi yeni bir evreye girmiştir. Coğrafya’da başlayan sayısal devrim Chorley’in 1971 yılında yayınladığı “Physical geography: A Systems Approach” kitabında birçok örneklerle açıkladığı gibi coğrafya bilimi farklı geri besleme düzeneklerini içeren sistem yaklaşımlarını ele alan ve tasvirden ziyade var olan süreçleri (prosesleri) ele alan bir döneme girmiştir. Bu bakımdan yer-atmosfer süreçlerini anlamak bunların dağılışları ve ilişkilerini ortaya çıkarmak bu konuların başında gelmektedir. Özellikle günümüzde iklim değişikliğinin artan etkisiyle birlikte toplumların müreffeh bir hayat sürmesi açısından iklimsel ve hidrolojik birçok bilgiye her zamankinden daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Hidrolojik ve atmosferik birçok güncel süreçlerin ortaya konulması bu bilimlerin süreçlerinin anlaşılması ve su yönetimi açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu bakımdan var olan bu doktora tezi ile Türkiye’nin yoğun nüfuslanmış alanlarını içeren sularını Marmara Denizi’ne döken tüm drenaj havzalarını kapsayan Marmara Denizi drenaj havzasında hidrolojik ve hidroklimatolojik süreçler ortaya konmuş ve tartışılmıştır.

Doktora tezimin bugünlere gelmesinde büyük emekleri olan maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, bilimsel anlamda bana büyük bir rehber olan çok kıymetli tez hocam Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR’e şükranlarımı ve minnetlerimi ifade etmeyi bir borç bilirim. Tez İzleme Komitemde bulunan çok değerli hocalarım Prof. Dr. Barbaros GÖNENÇGİL ile Prof. Dr. Hafzullah AKSOY’u tezime ve bilimsel kariyerime yaptıkları değerli katkılardan dolayı daima şükran ile anacağım. Tez jürimde yer alan Prof. Dr. Levent KURNAZ hocama, tanıştığımız günden itibaren iklimBU’nun kapılarını açması

ve akademik-bilimsel anlamda yaptığı katkılarından ötürü çok teşekkür ederim. Tez jürimde bulunan Dr. Öğr. Üyesi Cihan BAYRAKTAR hocama doktora yeterlilik sürecinde ve tez dönemindeki katkılarından ötürü teşekkürlerimi borç bilirim. Doç. Dr. Tolga GÖRÜM hocamın bilimsel anlamda kendimi yetiştirmemde bana rehber olmasını ve desteklerini asla unutmayacağımı bildirmek isterim.

Doktora tezimin son kısmında yoğun ve ciddi emekleri olan çok kıymetli Prof. Dr. Paul BATES ve Prof. Dr. Jim FREER'ı Bristol (İngiltere) Üniversitesinde çalışmalarıma devam ederken bana gösterdikleri desteklerden ve beni hidroloji grubuna katarak faydalanmamı sağladıkları bilimsel ortamdan ötürü daima minnet ile anacağım (Cheers!!!).

2011 yılında Çanakkale'de tanıştığım biricik arkadaşım ve dostum Araş. Gör. Dr. Belma BARAK'a bugüne kadar bana destek ve ışık olduğu için çok teşekkür ederim.

Arkadaşlığı ve bilimsel-akademik bilgisiyle bana destek olan çok kıymetli arkadaşlarım Tufan TURP, Nazan AN'a ayrı ayrı teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Doktora dönemimde kendileri ile tanışma fırsatı bulduğum ve benden desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Dr. Zehranur SAVRAN ŞERBETCİ, Arş. Gör. Dr. Mehmet Emin CİHANGİR, Arş. Gör. Mustafa UTLU, Dr. Öğr. Üyesi Mesut ŞİMŞEK, Arş. Gör. Mehtap BAYRAK, Arş. Gör. Emre ELBAŞI'na ayrı ayrı teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım sırasında, iklimsel kaynaklı doğal afetler konusunda uzmanlaşmamda çok büyük katkısı olan Cenevre Üniversitesi CERG-C komite üyelerine ve doktora tezim sırasında iklim değişikliği konusundaki araştırmalarımda tüm olanaklarından faydalanmamı sağlayan Bristol Üniversitesi'ne tek tek teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca TÜBİTAK 2214-A destek bursu vasıtasıyla İngiltere'nin Bristol Üniversitesine gitmeme destek sağlayan TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı birimine desteklerinden ötürü çok teşekkür ederim. İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine ayrıca teşekkür ederim.

Her şeyden öte yetişmemde büyük emekleri olan çok değerli annem ve babamı ve bana desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kardeşlerimi daima büyük bir minnet, şükran ve sevgi ile anacağım. İyi ki varsınız…

Abdullah AKBAŞ

Aralık 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET iii

ABSTRACT iv

ÖNSÖZ v

ŞEKİLLER LİSTESİ x

TABLOLAR LİSTESİ xiii

KISALTMALAR LİSTESİ xiv

GİRİŞ 1

BİRİNCİ BÖLÜM

MARMARA DENİZİ HAVZASINDA YAĞIŞ-AKIŞ DEĞİŞKENLİĞİ

1.1. Giriş 16

1.2. Veri ve Yöntem 18

1.2.1. Mann-Kendall Trend Testi 19

1.2.2. Spearman's Rho Testi 21

1.2.3. En Küçük Kareler Doğrusal Regresyon (EKKDR) Analizi ve β'nın Anlamlılığı İçin *Student t* Sınaması 21

1.2.4. Kruskal-Wallis Homojenlik Sınaması 22

1.2.4.1. Ortalamaların Homojenliği 23

1.2.4.2. Varyansların Homojenliği 24

1.3. Bulgular 24

1.3.1. Yıllık Yağış-Akış Zaman Serilerinin Analiz Sonuçları 24

1.3.2. Kış Mevsimi Yağış-Akış Zaman Serilerinin Analiz Sonuçları 27

1.3.3. İlkbahar Mevsimi Yağış-Akış Zaman Serilerinin Analiz Sonuçları 29

1.3.4. Yaz Mevsimi Yağış-Akış Zaman Serilerinin Analiz Sonuçları 32

1.3.5. Sonbahar Mevsimi Yağış-Akış Zaman Serilerinin Analiz Sonuçları 34

1.4. Genel Değerlendirme ve Tartışma 36

İKİNCİ BÖLÜM

MARMARA DENİZİ HAVZASINDA YAĞIŞ-AKIŞ PARAMETRELERİ ÜZERİNDE ATMOSFERİK SİRKÜLASYON VE SALINIMLARIN ETKİLERİ

2.1. Giriş 40

2.2. Veri ve Yöntem 41

2.3. Bulgular ve Tartışma 45

2.3.1. Üst Atmosfer (500 hPa) ile Yağış-Akış İlişkileri 46

2.3.1.1. Yağış-Akış PCA1 ve 500 hPa Jeopotansiyel yükseklik arasındaki İlişkilerinin Yorumlanması 46

2.3.1.2. Yağış-Akış PCA2 ve 500 hPa Jeopotansiyel yükseklik arasındaki İlişkilerinin Yorumlanması 48

2.3.1.3. Yağış-Akış PCA3 ve 500 hPa Jeopotansiyel yükseklik arasındaki İlişkilerinin Yorumlanması 49

2.3.2. Yağış-Akış Parametrelerinin NAO, AO ve SOI ile İlişkileri 50

2.4. Genel Değerlendirme 53

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MARMAR DENİZİ HAVZASINDA YAĞIŞ-AKIŞ KOŞULLARINI ETKİLEYEN YEREL KOŞULLAR İLE HAVZANIN HİDROKLİMATOLOJİK DİNAMİKLERİNİN BELİRLENMESİ

3.1. Giriş 54

3.2. Veri ve Yöntem 55

3.3. Bulgular ve Tartışma 57

3.4. Genel Değerlendirme 64

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SUSURLUK HAVZASI ÖRNEĞİNDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU DENGESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

4.1. Giriş 66

4.2. Çalışma Alanı 67

4.3. Veri ve Yöntem 68
4.3.1. SWAT Yağış-Akış Modeli 69
4.3.2. Veri Tabanı 71
4.3.2.1. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) 71
4.3.2.2. Arazi Kullanımı 71
4.3.2.3. Toprak Veri Tabanı 72
4.3.2.4. SWAT İklim ve Hidroloji Veri Tabanı 73
4.3.3. HRU ve Model Parametizasyonları 73
4.3.4. İklim Model Verisi ve Parametizasyonları 74
4.3.5. Model Performans Değerlendirme Testleri 78

4.4. Bulgular ve Tartışma 79
4.4.1. SWAT Yağış-Akış Modelinin Uygulanması ve Kalibrasyonu 79
4.4.2. Su Dengesi Elemanların Alansal ve Zamansal Değişimleri 82
4.4.2.1. Susurluk Havzasında Su Dengesi Bileşenlerinin Değişimleri ... 82
4.4.2.2. Susurluk Havzasında Su Dengesi Bileşenlerinin Alansal Değişimleri 89

SONUÇLAR 106

KAYNAKÇA 113

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Marmara Denizi havzasının lokasyon haritası 3
Şekil 2: Marmara Denizi havzasının yer hidrojeoloji haritası (Uluslararası 1:1 500.000 ölçekli Avrupa Hidrojeoloji haritasının Ankara paftasına göre düzenlenmiştir)..... 4
Şekil 3: Marmara Denizi havzası yağış istasyonlarının a) ortalama (mm) b) değişkenlik katsayıları (ing: coefficient of variation-%) ve akış istasyonlarının c) ortalama d) değişkenlik katsayıları haritaları..... 5
Şekil 4: Marmara Denizi havzası a) yağış b) akış bölgeleri ve bu bölgelerin aylık verilerinin Box-Whisker grafikleri..... 7
Şekil 5: Doktora tez çalışmasında kullanılan tüm istasyonların dağılışları..... 11
Şekil 6: Çalışmanın metodolojisinin gösterimi 18
Şekil 7: Yıllık yağış ve akışların zaman serisi analiz sonuçlarının grafikleri (Kırmızı toplar %1, sarı toplar ise %5 seviyesindeki güven aralığını gösterirken mavi toplar istatistik açıdan anlamlı olmayan değişimleri gösterir). 25
Şekil 8: Yıllık yağışların (a) Mann-Kendall (c) Sperman's Rho (e) EKKDR ve akışların (b) Mann-Kendall (d) Sperman's Rho (f) EKKDR testi sonuçlarının alansal dağılışı.26
Şekil 9: Kış mevsimi yağış ve akışların zaman serisi analiz sonuçlarının grafikleri. 27
Şekil 10: Kış yağışlarının (a) Mann-Kendall (c) Sperman's Rho (e) EKKDR ve akışların (b) Mann-Kendall (d) Sperman's Rho (f) EKKDR testi sonuçlarının alansal dağılışı. 28
Şekil 11: İlkbahar mevsimi yağış ve akışların zaman serisi analiz sonuçlarının grafikleri. 30
Şekil 12: İlkbahar yağışların (a) Mann-Kendall (c) Sperman's Rho (e) EKKDR ve akışların (b) Mann-Kendall (d) Sperman's Rho (f) EKKDR testi sonuçlarının alansal dağılışı. 31
Şekil 13: Yaz mevsimi yağış ve akışların zaman serisi analiz sonuçlarının grafikleri. 32
Şekil 14: Yaz yağışlarının (a) Mann-Kendall (c) Sperman's Rho (e) EKKDR ve akışların (b) Mann-Kendall (d) Sperman's Rho (f) EKKDR testi sonuçlarının alansal dağılışı. 33
Şekil 15: Sonbahar mevsimi yağış ve akışların zaman serisi analiz sonuçlarının grafikleri. 35
Şekil 16: Sonbahar yağışlarının (a) Mann-Kendall (c) Sperman's Rho (e) EKKDR ve akışların (b) Mann-Kendall (d) Sperman's Rho (f) EKKDR testi sonuçlarının alansal dağılışı. 36
Şekil 17: Yağış ve akış parametrelerinin Mann-Kendall, Sperman ve EKKDR analizlerine göre anlamlı artış ve azalış gösteren ve homojenliği bozulan istasyonların sayısı. 37
Şekil 18: Marmara Denizi havzasındaki yağış ve akış istasyonlarının havza ortalama değerlerinin uzun yıllar değişimleri. 38
Şekil 19: 500 hPa jeopotansiyel yükseklik verisi ECMWF ERA-İnterim reanalysis verisi alansal dağılışı 43

Şekil 20: Asal Bileşenler Analizi (PCA) sonucunda a) yağış b) akış için elde edilen bileşen sayısı, varyansları ve kümülatif varyanslarının yüzdeleri. 44
Şekil 21: Yağış ve akış PCA yükleri arasındaki korelasyonların gösterimi (Polinom ve doğrusal eğri uydurulan verilerin etrafındaki alanlar güven aralıklarını göstermektedir). 45
Şekil 22: a) Yağış PCA1 500 hPa korelasyonları b)yağış PCA1 yükleri c) akış PCA1 500 hPa korelasyonları d) akış PCA1 yükleri 47
Şekil 23: a) Yağış PCA2 500 hPa korelasyonları b)yağış PCA2 yükleri c) akış PCA2 500 hPa korelasyonları d) akış PCA2 yükleri. 48
Şekil 24: a) Yağış PCA3 500 hPa korelasyonları b)yağış PCA3 yükleri c) akış PCA3 500 hPa korelasyonları d) akış PCA3 yükleri. 49
Şekil 25: Yıllık yağış-akış PCA zaman serileri ile NAO, AO ve SOI arasında saçılım diyagramları ile korelasyonları (Polinom ve doğrusal eğri uydurulan verilerin etrafındaki alanlar güven aralıklarını göstermektedir). 51
Şekil 26: Mevsimlik yağış-akış PCA zaman serileri ile NAO, AO ve SOI arasındaki korelasyonlar. 52
Şekil 27: a)Yağış ve b) buharlaşma verilerinin Thiessen poligon ile alansal olarak dağıtılması (Çizgili bölgeler havza dışındaki istasyonların kapsadığı alanlarını göstermektedir.) 56
Şekil 28: Marmara Denizi havzasında a)yağış b)akış ve c)buharlaşma değerlerinin dağılışı 58
Şekil 29: a) Küçükçekmece-İznik Gölü havzası b) Biga-Susurluk havzası arasında Swath profili çıkarımı ve yağış, akış ve buharlaşma ile ilişkileri 60
Şekil 30: Küçükçekmece-İznik Gölü havzası (Profil a) ve Biga-Susurluk havzası (Profil b) arasında Swath profillerinin minimum, maksimum ve ortalama yükselti değerlerinin profil üzerindeki yağış, akış ve buharlaşma verileri ile saçılım diyagramları ve korelasyon. 61
Şekil 31: Marmara denizi havzasında akış katsayılarının (a) ve su dengesi (b) detaylandırılmış dağılış haritası. 62
Şekil 32: Yağış, akış, buharlaşma, akış katsayısı ve su dengesi değişkenlerinin saçılım diyagramları ve korelasyon katsayıları (Polinom ve doğrusal eğri uydurulan verilerin etrafındaki alanlar güven aralıklarını göstermektedir). 64
Şekil 33: Susurluk havzasının lokasyon haritası. 67
Şekil 34: Yağış-akış modelinin akış diyagramı. 68
Şekil 35: Swat yağış-akış modelinin su dengesi bileşenleri. 70
Şekil 36: Susurluk havzasında Corine 2012 yılı arazi kullanımı. 71
Şekil 37: Susurluk havzasındaki toprak grupları dağılımı 72
Şekil 38: Bölgesel iklim modeli yağışları ile gözlem yağışlarının a) Ortalamada göreceli hatası b) Standart sapmadaki göreceli hatası c) Nash-Sutcliffe Efficiency d) PBIAs sonuçları. 76
Şekil 39: a) Taraflılığı (Bias) düzeltilmiş ve düzeltilmemiş gözlem ile model referans dönemi yağışlarının ve b) model yağışlarının ampirik kümülatif dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması. 77

Şekil 40: Taraflılığı düzeltilmiş ve düzeltilmemiş gözlem ile model referans dönemi a) minimum c) maksimum sıcaklıkları ile model sonuçlarının b) minimum d) maksimum sıcaklıklarının ampirik kümülatif dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması. 77
Şekil 41: Kalibrasyon sonuçlarının grafiksel gösterimi. 81
Şekil 42: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin Box-Plot gösterimi..... 84
Şekil 43: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin a) RCP 4.5 b) RCP 8.5 senaryolarının referans dönemi ile karşılaştırılan hata grafikleri. 85
Şekil 44: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin balon grafikleri. 87
Şekil 45: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin Kernel yoğunluk fonksiyonlarının kartiller ile gösterimi grafikleri. 88
Şekil 46: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin her bir alt havzada ve senaryoda uzun yıllar ortalamalarının değişimleri..... 90
Şekil 47: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin her bir senaryodaki uzun yıllar ortalamaları ve standart sapmaları. 91
Şekil 48: Yağış ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları. 92
Şekil 49: Akış ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları. 93
Şekil 50: Yüzeysel akış ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları..... 94
Şekil 51: Yüzeyaltı akış ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları..... 95
Şekil 52: Yeraltı suyu ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları..... 96
Şekil 53: Toprak nemi ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları..... 97
Şekil 54: Perkolasyon ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları..... 98
Şekil 55: Su verimi ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları. 99
Şekil 56: Aktüel evapotranspirasyon ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları. 100
Şekil 57: Potansiyel evapotranspirasyon ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları. 101
Şekil 58: Kar erimesi ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.... 102
Şekil 59: Akarsudan gerçekleşen evaporasyon ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları. 103

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğüne ait akış istasyonları 13
Tablo 2: Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait istasyonların adları ve kodları 14
Tablo 3: Değişkenlik ve homojenlik analizinde kullanılan istasyonlar. 19
Tablo 4: Analizlerinde kullanılan istasyonlar 42
Tablo 5: Susurluk havzasında yağış-akış modellemesi için kullanılan meteoroloji istasyonları. 73
Tablo 6: Susurluk havzasında SWAT modelinin kalibre edilen parametreler. 80

KISALTMALAR LİSTESİ

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

DSİ: Devlet Su İşleri

MGM: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

AGİ: Akarsu Gözlem İstasyonu

EKKDR: En Küçük Kareler Doğrusal Regresyon

NAO: The North Anlantic Oscillation

AO: The Anlantic Oscillation

SOI: The Southern Oscillation

PCA: Principal Component Analysis

RCP: Representative Concentration Pathways

GİRİŞ

Su modern toplumlarda hem yaşam hem ekonomik gelişim için temel ve yeri doldurulamaz bir ihtiyaçtır. Bu bakımdan suyun hidrolojik döngü içerisindeki dolaşımı ve miktarının alansal ve zamansal değişimi her zaman önem arz etmiştir. Birçok iklimsel ve jeomorfometrik faktöre bağlı olarak çeşitli alansal ve zamansal ölçeklerde kontrol edilen yağış-akış süreçlerinin hidrolojik davranışları oldukça karmaşıktır (Davie, 2008). Yağış-akış ilişkileri geniş yelpazesi olan bir konudur. Örneğin bir hidrolog için havzaya düşen yağışın miktarı ve süresi önemlidir veya bir ekolog için havzaya düşen yağışın ve bunun akışa dönüşmesi, havza içi ekoloji için yaşamsaldır. (Song vd., 2015; Türkeş ve Tatlı, 2011)

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPPC) Beşinci Değerlendirme raporunda (IPCC, 2013) arazi kullanımı değişikliği ve özellikle CO_2, CH_4, N_2O gibi çeşitli sera gazı emisyonlarının atmosferdeki konsantrasyonlarının insan etkinlikleriyle 1750 yılından günümüze sürekli artması ve son 800.000 yıllık buz karotlarındaki birikimlerden çok daha fazla olması ile emisyonlar atmosferde pozitif radyatif zorlamaya neden olmakta ve bu durumdan ötürü küresel sıcaklıklarda AR4'e benzer şekilde yüksek güvenirlikle 1.5 - 4.5 ^oC arasında bir sıcaklık artışı beklenilmektedir. Küresel sıcaklıklara bağlı olarak hidrolojik çevirimin değişmesi beklenmektedir. Özellikle gelişmiş iklim modellerinin RCP 8.5 senaryo temellerine göre orta enlem subtropikal kurak bölgelerinde (Türkiye'nin de dahil olduğu Akdeniz havzası) bu yüzyılın sonuna doğru ortalama yağış değerleri olasılıkla azalacak ve bunun yanı sıra orta enlem karalarında ekstrem yağışlarda yüksek olasılıkla artış görülecektir. Bu nedenle, Akdeniz havzası ve civarını içeren subtropikal bölgeler ve dolasıyla Türkiye'yi de içeren alanlarda yağış ve yağışın bir fonksiyonu olan akış değerlerindeki değişkenlik ve azalmayla birlikte, arazi kullanımı değişiklikleriyle var olan değişimler sosyal ve ekonomik hayatı etkileyecektir. Bu durum gıda güvenliği, tarımsal sulama kuralık ve taşkınlar açısından büyük sıkıntılar ortaya çıkacaktır ki var olan bulgular bu rapor dışında bir çok çalışma ile desteklenmiştir (Giorgi and Lionello; 2008; Giannakopoulos vd., 2009; García-Ruiz vd. 2011; Hoerling vd. 2012; Lelieveld vd., 2012; Ozturk vd., 2015). Örneğin, Öztürk vd. (2015) genel hava dolaşımı (GCM) modellerine dinamik ölçek küçültme teknikleri uygulanarak Akdeniz havzasındaki (Türkiye'yi ve çalışma alanı da kapsar) referans periyoda dayanarak geleceğe ait ortalama hava sıcaklığı ve yağışını incelemişlerdir. Buna göre Akdeniz havzasının

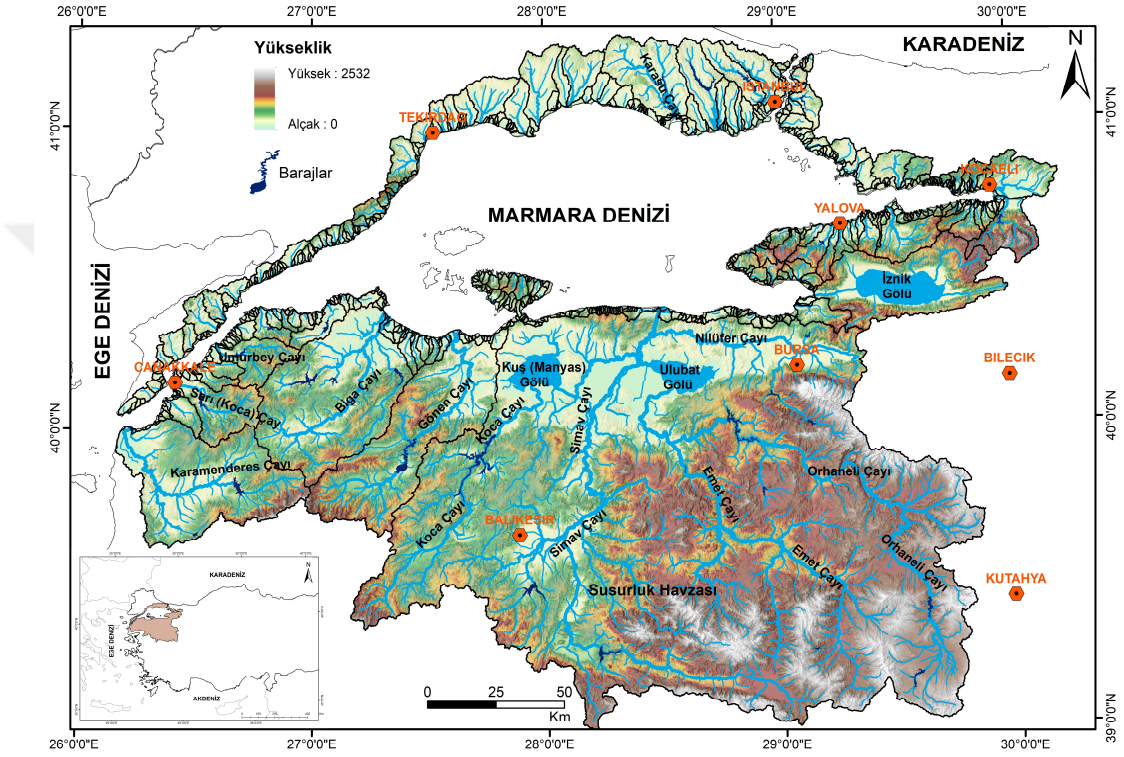
çoğunda yüzey ortalama hava sıcakları başta yaz mevsimi başta olmak üzere olmak üzere artacak (yaz kuraklıkları) ve havzanın neredeyse tamamında yağışlar bütün mevsimlerde azalacaktır. Ayrıca araştırmacılar, bu parametrelere ait olasılık dağılım fonksiyonlarının referans periyotlara göre değiştiklerini bulmuşlardır. Bu durum yüksek sıcaklıkların ve yoğun yağışların (özellikle taşkına yol açan yağış türü) şiddetinin ve oluşum sıklıklarının artacağını göstermektedir. İklim değişikli sonucu yağıştaki var olan bu değişimler akış değerlerine de yansıyacaktır. Bunun sonucunda yağış-akış ilişkilerinde de bugünkünden oldukça farklı bir desen ortaya çıkacaktır. Bundan sebepten ötürü, Marmara Denizi havzasının Akdeniz bölgesinde bulunması, iklim değişikliği konusunda hassasiyetini ayrıca arttırmaktadır.

Havzada yoğun kentleşme veya arazi kullanımının değişmesi yine aynı şekilde havzanın var olan birçok hidroklimatolojik süreçlerine etki etmektedir. Örneğin Sertel vd. (2011) Marmara Bölgesinde yüksek nüfus artışı ve arazi kullanımının değişmesinden dolayı (şehirleşme, açık maden aktiviteleri, ormansızlaştırma) sıcaklıklarda ve yağışlarda önemli değişikliklere yola açabileceğine dair önemli sonuçlar elde etmişlerdir. Pamukçu vd. (2014) Marmara Bölgesinde Corine arazi kullanımı ve hidrometeorolojik veriler kullanarak, arazi kullanımı değişiminin akış katsayısında önemli değişiklik yaptığını ortaya koymuşlardır. Ormanların artması ve meraların azalmasının muhtemelen akış katsayısını değişimine etki edebileceğini öne sürmüşlerdir.

Çalışma Alanı

Çalışma alanını Türkiye'nin kuzey batısında kabaca 26°-30° doğu boylamları ile 39°-41° kuzey enlemleri arasında kalan ve sularını Marmara Denizi'ne döken akarsuların havzaları oluşturmaktadır (Şekil 1). Marmara Denizi drenaj havzalarının çalışma alanı olarak seçilmesinin nedeni; havzadaki bütün akarsular ile bu havzaya düşen yağışı ve bunu kontrol eden büyük ölçekli dinamikleri anlamanın rölyef ve jeolojik açıdan daha elverişli olmasıdır. Böylelikle il veya ülke gibi yapay sınırlardan ziyade doğal bir sınır olan havza sınırıyla çalışmak çok daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır. Marmara Denizi havzasına genel olarak sinoptik klimatoloji açısından bakıldığında, kış boyunca Atlantik gezici orta enlem siklonları ile Akdeniz havzası siklonları kaynaklı yağışlı ve nemli hava koşulları görülür. Yazın ise Azor ve Muson basıncının etkisiyle sıcak ve kuru hava desenleri oluşur (Erinç, 1996; Karaca vd., 2000; Türkeş 2010). Bu nedenle havzada Uludağ gibi dağlık alanlar ile yüksek

kısımlarda kış mevsiminde kar yağışı olmakla birlikte, havza genelinde meydana gelen yağışın türü çoğunlukla yağmur şeklinde olup direkt yüzeysel akışa katılımlar daha fazladır. Bu nedenle yağış-akış ilişkilerini belirlemek daha rasyonel olmaktadır. Ayrıca, yağış-akış modellerinin geçerliliği ve güvenirliliği daha yüksek olurken, belirsizlik (ing: uncertanity) azalmaktadır.

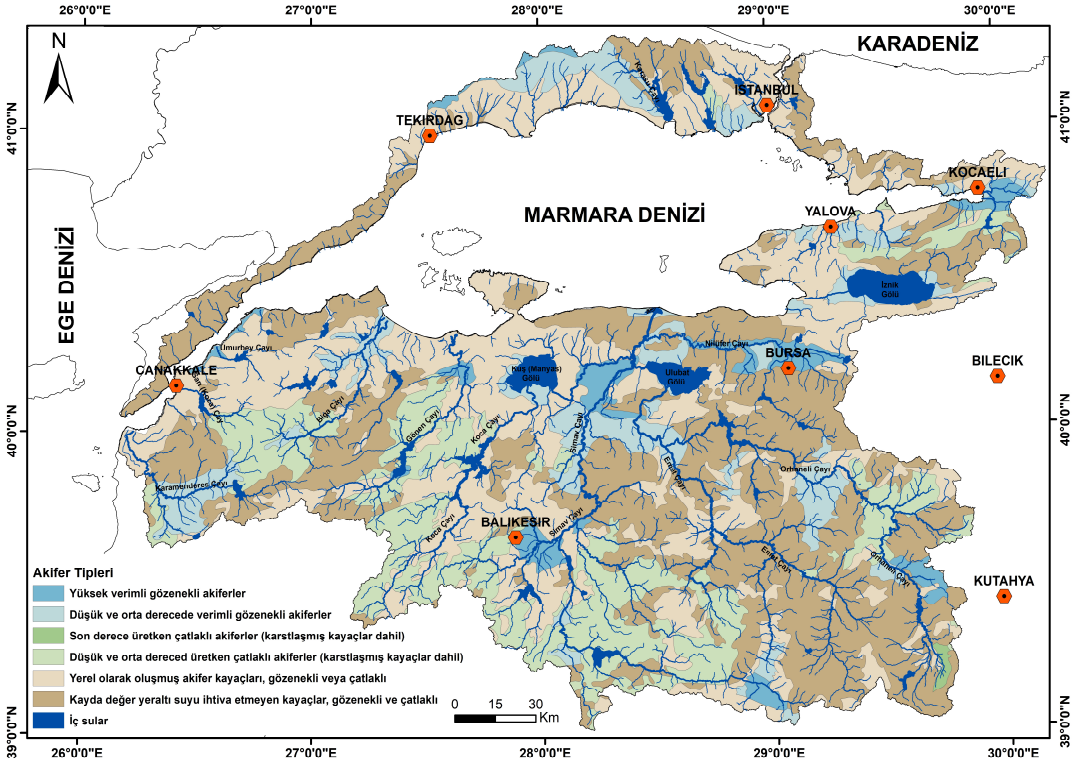


Şekil 1: Marmara Denizi havzasının lokasyon haritası

Marmara Denizi havzası biri Çanakkale diğeri İstanbul boğazı tarafından kuzey ve güney olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Kuzey kısmı güneye oranla daha az alan kaplamakta, güney kısımda ise tüm havzalar oldukça geniş bir alana yayılmaktadır. Yükselti açısından kuzey kısımda güneye oranla düzlük alanlar daha geniş yer kaplarken, kuzey tarafının en yüksek alanını Ganos Dağı ve civarı oluşturmaktadır. Güney kısımda ise yüksek alanlar geniş yer kaplar ve 2532 metre yükseklik ile Uludağ civarı en yüksek yeri oluşturur. Burası ayrıca kendi başına bir mikro iklim oluşturmaktadır (Şekil 3).

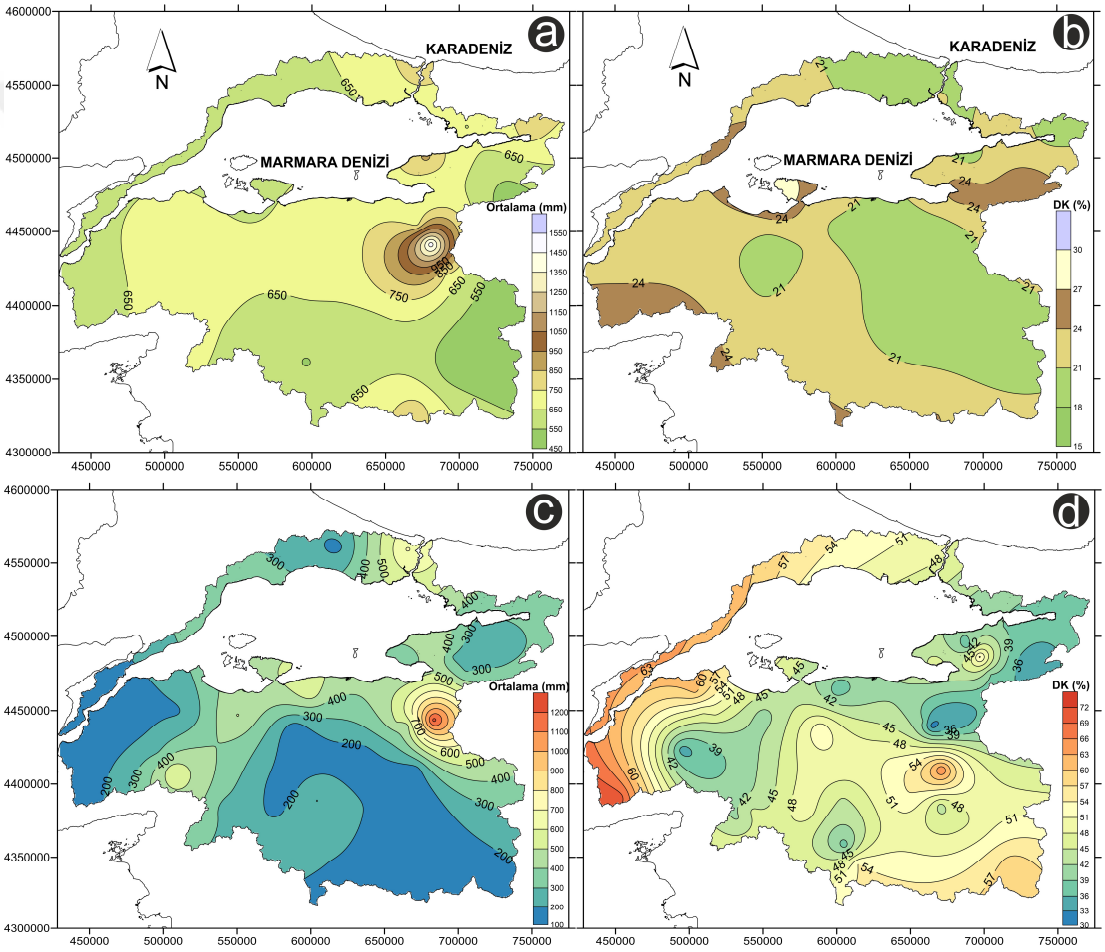
Marmara Denizi havzasının hidrojeoloji haritasındaki akiferlerin dağılışlarına bakıldığında, havzanın kuzey ve güneyinde tüm alanın %38.2'lik bir kısmında kayda değer yeraltı suyu ihtiva etmeyen akifer tipinin bulunduğu görülür. Özellikle Orhaneli,

Emet ve Nilüfer alt havzalarına bakıldığında, diğer akifer tipleri ile bu akifer tipinin alt havzalar içerisinde daha yaygın oldukları görülmektedir (Şekil 2). Bu akifer tipinden sonra en fazla yer kaplayan akifer tipi ise yerel olarak oluşmuş akifer tipleridir. Bu akifer tipi hem kuzey hem de güney kısımda geniş yer kaplarken, Susurluk havzasının Koca Çay bölümü, İznik Gölü havzası ve çevresi, Biga yarımadasının kuzey ve batı kısmı ile Marmara Denizi havzasının kuzeyinde geniş alan kaplamaktadır. Bunu yaklaşık olarak Marmara Denizi havzasının %16'lık bir alanını oluşturan düşük ve orta derecede üretken çatlaklı akiferler takip etmektedir. Bu akiferler Simav, Koca ve Gönen Çaylarının üst çığırları, Biga yarımadası, İznik Gölü kuzeyi ve Orhaneli Çayının üst çığırında yayılış gösterirler. Bu akiferi Marmara Denizi havzasının tüm alanlarında %9,43 alan oranıyla düşük ve orta derecede verimli gözenekli akiferler izlemektedir. Yüksek verimli gözenekli akiferler ise genellikle Balıkesir, Bursa, Simav gibi ova tabanlarında yer almakta ve Marmara Denizi havzasının yaklaşık %3.78'ni kaplamaktadır. Havzada en az alan kaplayan akifer, son derece üretken çatlaklı akiferdir. Bu akifer tipi havzanın %0.17'sini kaplamakta ve Susurluk havzasının Çavdarhisar ilçesi civarında bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Marmara Denizi havzasının yer hidrojeoloji haritası (Uluslararası 1:1 500.000 ölçekli Avrupa Hidrojeoloji haritasının Ankara paftasına göre düzenlenmiştir)

Yağış ve akış verilerinin uzun dönem dağılışı ve değişkenliğini görmek için, bu değerlerin ortalama (mm) ve değişkenlik katsayısı (%) haritaları istasyonlardan elde edilen uzun yıllar ortalamalara göre çizilmiştir. Buna göre Marmara Denizi havzasında yağışın maksimum değerlere çıktığı alanlar Uludağ bölgesi ve civarıdır. Bu durum benzer şekilde akış değerlerinde de görülmektedir (Şekil 3a-c). Ancak akış değerleri yağış değerlerine oranla alansal olarak daha az homojen gözükmektedir. Diğer bir deyişle, alansal olarak kısa mesafede daha çabuk değişmektedir. Havza içinde yağış değerleri, Uludağ civarı haricinde genel olarak 450-750 mm arasındadır.



Şekil 3: Marmara Denizi havzası yağış istasyonlarının a) ortalama (mm) b) değişkenlik katsayıları (ing: coefficient of variation-%) ve akış istasyonlarının c) ortalama d) değişkenlik katsayıları haritaları

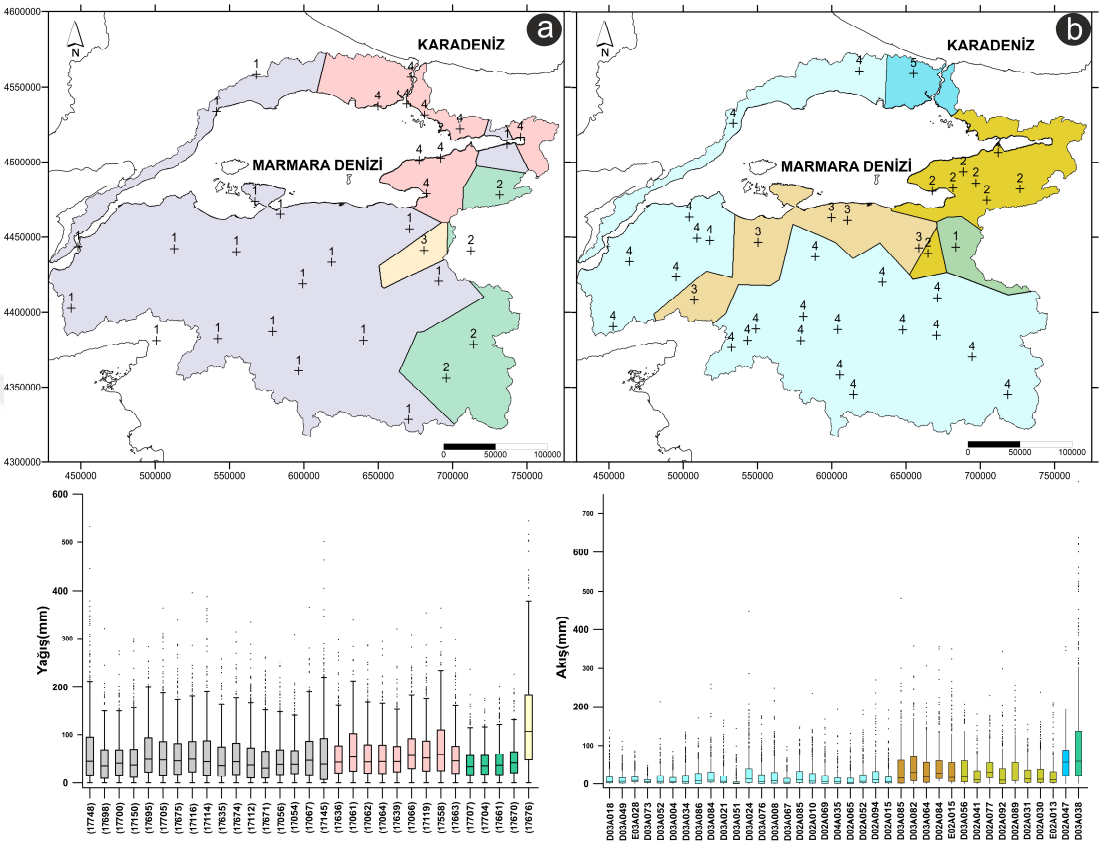
En düşük yağış değeri, Susurluk alt havzasının güneydoğu kesiminde görülmektedir. Yağışlar Uludağ haricinde Marmara Denizi havzasının doğusuna yani İznik Gölü havzası civarına doğru artış gösterir. Havza içinde yağış-akış değerlerinin değişkenlik

katsayılarına bakıldığında özellikle akışlarda çok daha büyük değişkenlik olduğu görülmektedir. Akış değerlerinin değişkenlik katsayısı Susurluk alt havzası ile Marmara Denizi havzasının batısında en fazladır (Şekil 3b- d). Yağış değerleri Erdek ve civarı dışında İznik Gölü havzası ve Karamenderes havzası değişkenlik katsayısının en fazla olduğu alanlardır. Bu durum Susurluk havzasının iç kısımlarında ve İstanbul civarında ise azalma gösterir. Hem yağışta hem de akışta ortalama değerlerin düşük olduğu yerlerde değişkenlik katsayısının fazla olması dikkat çekicidir (Şekil 3a-b-c-d).

Akış istasyonları ve yağış istasyonlarının mekânsal dağılışını anlamak ve akışların benzer ve farklı yönlerini oluşturmak için atmosfer (Wilks, 1995) ve yerbilimlerinde oldukça yaygın olarak kullanılan hiyerarşik kümeleme yöntemi vasıtasıyla bölgeler oluşturulmuştur. Değişkenleri sınıflandırmanın önemli koşullarından biri benzerliğin (ing: similarity) veya benzeşmezliğin (ing: dissimilarity) birimini ölçmektir. Bu çalışmada Hiyerarşik kümelemede yaygın olarak kullanılan Öklid uzaklık birimi kullanılmıştır. Kümeleme için Öklid uzaklık seçildikten sonra yığınsal (ing: agglomarative) algoritmalardan birini seçmek gerekir. Bu konuda birçok algoritma mevcuttur. Bunlar sırasıyla; Single linkage (Nearest Neighbor), Complete linkage (Furthest Neighbor), Average linkage, Centroid ve Ward's algoritmalarıdır. Bu çalışmada hiyerarşik kümelemede sıkça kullanılan Ward's (1965) algoritması tercih edilmiştir. Bu yöntem *n* tek üye grupları ile bütün veriler tek bir grup oluşturuncaya kadar her adımda grupları birleştirir ancak bunu karelerinin toplamını (ing: sum of squares) minimize ederek gerçekleştirir. Ward's (1965) metoduna göre kümelenmiş olan bölgelerin ise daha sonra Box-Whisker grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4).

Yağış istasyonlarında dört, akış istasyonlarında ise beş bölge elde edilmiş ve dağılış açısından yağış ile akışın benzerlik sergilediği görülmüştür (Şekil 3). Yağış ve akış kümeleri incelendiğinde hem yağış hem de akışta Uludağ üzerinde başlı başına bir grup oluşmuştur. Dağılış açısından bakıldığında yağışın bir numaralı bölgesi ile akışın 4 numaralı bölgesi Bursa'dan başlayıp Edremit'e doğru uzanan şerit haricinde benzer bir bölge oluşturmuştur. Diğer taraftan, Molovaderesi Pirinççiköy-D02A047 istasyonu kuzeyde kendi başına bir bölge oluşturmuş olsa da bu durumun benzerine Marmara Denizi havzasının kuzey kısmında rastlanmaktadır. Elde edilen grupların Box-Whisker grafikleri de var olan grupların rengi ile gösterilmiş ve buna göre gruplar arası fark ortaya konmuştur (Şekil 4). Her ne kadar bölge değişkenlikleri ve ortalamalarında

alansal olarak biraz farklılık olduğu görülse de çıkan bölgelerin aşağı-yukarı ortalama değerleri yansıttığı söylenebilir (Şekil 3).



Şekil 4: Marmara Denizi havzası a) yağış b) akış bölgeleri ve bu bölgelerin aylık verilerinin Box-Whisker grafikleri

Amaç ve Kapsam

Doktora tez çalışmasının birinci amacı; çalışma alanı olarak seçilen Marmara Denizi havzasındaki (Şekil 1) yağış ve akış değerleri arasındaki ilişkilerin geçmiş, günümüz ve gelecek perspektifinde araştırılmasıdır. Bu amaçla yağış ile akış arasındaki ilişkilerin ve değişkenlilerin yönü ve kuvveti ile bu değişkenlerin çeşitli desenleri ve bu desenlerini kontrol eden dinamikleri açıklamak tez araştırmasının önemli amaçları içerisindedir. İklim değişikliğinin etkisiyle havzadaki bu parametrelerin değişikliği ve değişkenliği, su yönetimine ait planlamalarda çeşitli önerilerde kullanılması ikinci amacı oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmanın bir amacı da su yönetimi konusunda yağış-akış ilişkileri açısından bir tablo ortaya koymaktır.

Yapılan bu doktora tez çalışması kapsamında birçok hedef ve araştırma sorusu yer almaktadır. Bunlar sırasıyla;

- Marmara Denizi havzası içerisinde hem yağış hem de akış parametrelerinde bir değişkenlik mevcut mudur? Mevcut ise bu değişkenliğin yönü (artış veya azalış) nedir? Yağış ve akış parametrelerinin gösterdikleri değişkenlik benzer midir?
- Atmosferik sirkülasyon ve uzak atmosfer salınım indislerinin Marmara Denizi havzasındaki yağış ve akış değişkenlikleri üzerinde kontrolü var mıdır? Bu durum yağışın ve dolayısıyla da akışın değerlerini etkileyip yönlendirir mi?
- Havza içerisinde yağış-akış ilişkileri detaylı incelendiğinde Marmara Denizi havzası üzerinde bu parametreler yerel koşullardan etkilenmekte midir? Etkileniyorsa bunu kontrol eden dinamikler nelerdir?
- Havzaların iklim değişikliğiyle birlikte toprak nemi, yeraltı suyu, evapotranspirasyon vb. birçok su dengesi bileşeni alansal ve zamansal olarak nasıl etkilenecektir? Marmara Denizi havzasında geleceğe ait projeksiyonlarda yağış ve akış değerleri nasıl bir karakteristik göstermektedir? Projeksiyonlar, değişkenlerin durumunda nasıl bir eğilim göstermektedir? Havza için iklim modellerinden elde edilen yağış değerleri taşkın karakteristiğine yakın mıdır? İklim değişikliği yağış-akış ilişkilerinde ne gibi bir etkiye sahiptir sorusu sorulacaktır. Örneğin yağış karakterinde değişimi var mıdır? Eğer var ise bu akış karakterine nasıl etki eder? İklim değişikliği ile birlikte yağış ekstremlerinde taşkın oluşturma potansiyeli var mıdır? Var ise bunun sıklığı veya diğer bir deyişle frekansı artacak mıdır? Bunlar temel istatistiklerine yansıyacak mıdır?

Marmara Denizi havzası gibi yoğun bir nüfusa ve önemli tarımsal üretime sahip alanlar, günümüzde planlama ve risk yönetimi açısından daha ayrıntılı bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Bu bağlamda yapılacak olan bu çalışma ile iklim modellerinden elde edilen çıktıları kullanmanın yanı sıra bu çıktıların hidrolojik modelleri ile birleştirilmesi hem yağış-akış ilişkilerinde farklılıkları incelemeye hem de su yönetimi açısından havza bazında daha spesifik bir çalışma elde edilmesine olanak vermiştir.

Problemin İfadesi ve Çerçevesinin Çizilmesi

Türkiye'de hidrolojik çalışmalarda genellikle yağış ve akış ve birçok hidroklimatolojik parametre tek tek veya birlikte ele alınarak bunların uzun yıllar boyunca değişimi veya değişkenliği ele alınarak o parametrelerin alansal ve zamansal olarak nasıl değiştiği

hakkında genel bilgi verilir (Kahya ve Kalaycı, 2006; Partal ve Küçük, 2006; Partal ve Kahya, 2006; Türkeş, 1996, Sarış vd., 2010a). Bu doktora tezi çalışmasında ise değişkenliğin yönü ve kuvveti (eğilim ve homojenliklerin istatistiksel anlamlı değişimleri) incelenmekle birlikte elde edilen veriler kara kutu sistemi açısından ele alınıp sistemin uzun yıllar (normaller) boyunca gösterdiği eğilim önemli bir konu oluşturmaktadır. Buna bağlı olarak havzadaki artış ve azalışlar havza içi yağış-akış dinamikleri açısından bir kapalı kutu sistemi olarak incelenmiştir. Diğer yandan bu değişkenlik hem topografik rölyef dahil olmak üzere yerel koşulların oluşturduğu etki hem de kapalı kutu sisteminin girdi (yağış-input) ve çıktı (akış-ouput) değerlerinin atmosferik sirkülasyonlar ile uzak atmosfer salınımları benzer tepki verip vermemeleri açısından ele alınmıştır.

İklim değişikliği günümüzdeki en önemli konulardan olmasına rağmen Türkiye'de genellikle çalışmalar iklim modellerinin düşük çözünürlüklü çıktılarının yağış ve sıcaklık veya iklim modelinden çıkan yüzeysel akış gibi parametrelerin ya dağılışı ya da temel istatistiklerinin incelenmesi ve geniş alanlara etkilerinin yorumlanması şeklinde olmuştur (Demircan vd., 2014: Bozkurt ve Şen, 2013). Bu yaklaşımlar su yönetimi için uzun yıllar ortalamaları karşılaştırmak ve havzaların iklimsel karakteristiklerini anlamak açısından faydalıdır. Her ne kadar iklim değişikliği yağış süreçlerine etki edip dolayısıyla da akışları etkilese de hidrolojik süreçler düşünüldüğünden daha karmaşık süreçler içermekle birlikte birçok parametreye bağlıdır (Davie, 2008) ve ayrıca modellenmesi gerekmektedir. Diğer yandan hem hidrolojik hem de iklim modeli kullanılan çalışmalarda (Fujihara vd., 2008; Kara ve Yucel, 2015) ise modeller istatistik veya dinamik olarak küçültüldüğünde çok yüksek çözünürlüklü değildir ve bunlar konvektif yağışları yakalamada zorlanır (Smith vd., 2014). Marmara Denizi havzası gibi yoğun bir nüfusa ve ayrıca önemli bir tarımsal üretime sahip alanlar, günümüzde planlama ve risk yönetimi (taşkın ve kuraklık) açısından daha spesifik bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Bu bağlamda yapılacak olan bu çalışma ile yüksek çözünürlüklü modelden (10 km) elde edilen çıktıları kullanmanın yanı sıra bu çıktıların hidrolojik modellerle de ayrıca kullanılarak hem yağış-akış ilişkilerinde farklılıkları incelemeye hem de havza bazında potansiyel etkilerinden ziyade direkt etki çalışması ile spesifik bir çalışma elde edilmesine olanak vermiştir.

Veri ve Yöntem

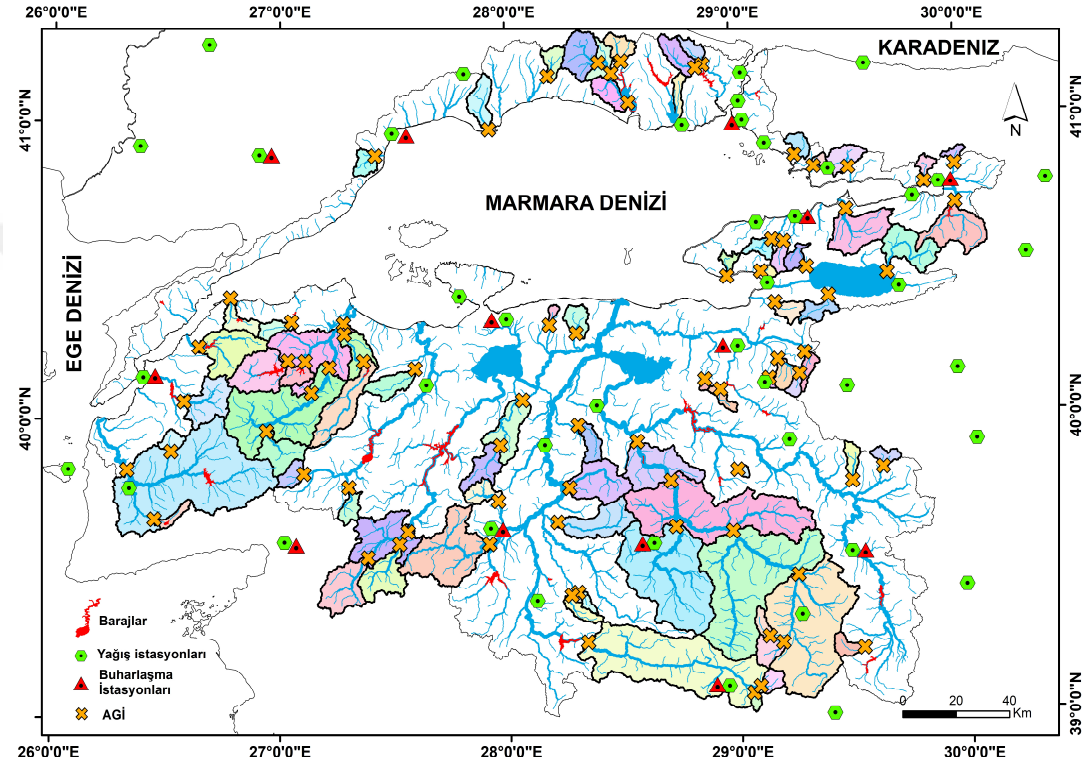
Yağış ve akış değişkenlerinin birbiri ile olan ilişkileri ve bu iki değişkeni etkileyen faktörleri ortaya koymak için tez çalışma konusu gereği Marmara Denizi havzası içerisinde var olan aylık toplam akış verisi (hm^3) Devlet Su İşleri'nden (DSİ) elde edilmiştir (Tablo 1). Akış verilerinde bazı düzeltmeler gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki zaman serisinin homojenliğini bozacak önemli bir konu olan baraj altındaki istasyonlar konusudur. Burada baraj aşağısındaki tüm istasyonlar çıkarılmış ve böylelikle yağış-akış değişkenliği ve ilişkilerinde insan kaynaklı doğal olmayan bir etkinin oluşması engellenmiştir. Bir diğer konu ise akış verilerinin boyutunun değiştirilmesidir. Devlet Su İşleri'nden alınan aylık toplam akış verisi (hm^3) aylık akış yüksekliği (mm) veri setine dönüştürülmüştür. Bunu yapmakla boyutları birbirinden oldukça farklı büyüklükte olan akış istasyonlarının hem birbirleriyle hem de yağış verileriyle karşılaştırılması ve farklılıklarının anlaşılması amaçlanmıştır. Öte yandan hidrolojik modellemelerde kullanmak üzere aylık toplam akış verisi (hm^3) aylık ortalama akışa da (m^3/s) çevrilmiştir. Ayrıca Marmara Denizi havzası içerisindeki tüm akış istasyonlarının gerisindeki su toplama havzaları çizilmiştir (Şekil 5).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) günlük toplam yağış verisi (mm), günlük bağıl nem (%), günlük rüzgâr hızı (m/s), güneş radyasyonu (cal/cm² olarak alında MJ/m^2 çevrildi) ve günlük minimum ve maksimum sıcaklık (^oC) verileri elde edilmiştir. 14 meteoroloji istasyonuna ait günlük toplam buharlaşma (mm - Class A Pan buharlaşma havuzu) değerleri MGM'den alınmıştır ve daha sonra bunlar aylık toplam ve ortalama değerlere dönüştürülmüştür (Tablo 2). Buharlaşma değerleri normal referans buharlaşması değerlerine göre oldukça yüksek çıkmaktadır. Bu bakımdan bu veriler FAO'nun (Allen vd., 1998; Ertek, 2011) önerdiği yönteme göre pan katsayısı kullanılarak referans buharlaşma değerlerine aşağıdaki eşitlik ile çevrilmiştir:

$$ET_o = K_p \, E_{pan} \qquad \text{Eşitlik 1}$$

Burada, ET_o referans buharlaşma (mm/ay), K_p pan katsayısı ve E_{pan}_pan (mm/ay) ise pan buharlaşmasıdır. McMahon vd., (2013) birçok farklı buharlaşma yönteminin hidrolojik çalışmalardaki kullanımı ile alakalı yaptıkları çalışmada, katsayı ile düzeltilmiş pan buharlaşmasının hidrolojik çalışmalarında kullanabileceğini belirtmişlerdir. MGM'nin FAO Penman-Monteith yöntemine göre hazırlamış olduğu referans buharlaşma normal haritaları bu çalışmadaki buharlaşma değerlerini ve bunların alansal dağılışını (Şekil 28-c) oldukça iyi yansıtmaktadır (Şimşek vd., 2013).

Yağış ve buharlaşma verileri zamansal açıdan uyumsuzluk oluşturmaması ve yorumlamalar açısından kolaylık sağlaması için ilk üç bölümde su yılına dönüştürülmüştür. Son bölümde ise hidrolojik modelleme açısından takvim yılı kullanılmıştır. Verilerin genel olarak havza içerisinde tüm havzayı yansıtacak şekilde homojen dağılmasına dikkat edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5: Doktora tez çalışmasında kullanılan tüm istasyonların dağılışları

Devlet Su İşleri'nden elde edilen akış verileri yağış istasyonlarına nazaran zamansal açından daha kısa olmasına rağmen yağış istasyonlarına benzer şekilde eksik veri içermektedir. Yağış istasyonları içerisinde birçok istasyon kapanmış veya kapandıktan sonra aynı yeri temsil edecek şekilde uzun bir zaman eksikliği ile (7 ile14 arasında oluşan bir eksiklik) otomatik hava gözlem istasyonuna (AWOS-Automatic Weather Observation Station) dönüştürülmüştür. Örneğin, 4227 kodlu Gölcük istasyonu, 1969 yılından itibaren veri temini yapmaya başlarken 1999 yılında kapanmıştır. Daha sonra 2007 yılında bu istasyonun devamı olarak 17067 kodlu otomatik hava gözlem istasyonu kurulmuştur, ancak arada 7 yıl gibi bir eksiklik vardır. Bu durumla benzerlik gösteren 3481 kodlu Ezine istasyonu, 1950 yılından itibaren veri temini sağlamaya başlamış ancak 1991 yılında kapanmış daha sonra bu istasyonun devamı olarak 17671 kodlu Ezine istasyonu kurulmuştur. Bu istasyonda 14 yıllık

eksiklik vardır. Eksikliğin giderilmesinde iki yöntem izlenmiştir. Birinci olarak eğer veri eksikliği bir yılı veya birkaç ayı kapsayacak şekilde ise üst ve alt değerlerin ortalaması ile eksiklik giderilmiştir. Ancak yukarıda da bahsedildiği üzere eksik yıllar birkaç yılı kapsayacak şekilde ise bu durumda eksik veri içeren istasyon mekânsal olarak kendisine yakın ve arasında kuvvetli bir korelasyon (Bayazıt, 2003'ün önerisine göre 0.6 ve üzeri korelasyonlar) bulunan bir istasyon ile lineer regresyon modeli kullanılarak ilişkilendirilmiştir. Böylelikle eksik veri içeren istasyon bağımlı değişken, arasında kuvvetli korelasyon olan eksik veri içermeyen diğer istasyon ise bağımsız değişken olmak üzere aşağıdaki eşitliğe göre (Bayazıt, 2003) ilişki kurulmuştur;

$$y = a + b \cdot x \qquad \text{Eşitlik 2}$$

Burada;

x: Bağımsız değişken

y: Bağımlı değişken

a ve b: Regresyon katsayısı

Bu bağıntıya göre En Küçük Kareler yöntemi ile katsayılar elde edildikten sonra denklem kurulup eksik veriler tamamlanmıştır.

Buna göre havza içerisinde oldukça farklı zaman aralığına sahip birçok istasyon elde edilmiştir. Böylece yapılan bu doktora tez çalışmasında her bir bölüm içerisinde çalışmanın metodolojisine uygun olarak yukarıda verilen istasyonların bir kısmı veya tümü kullanılmıştır. Hangi istasyonların kullanıldığı her bir bölümde ayrıca verilmiştir. Yağış ve akış arasındaki kayma etkisini (ing: lag effect) görmemek için doktora tez çalışmasındaki tüm bölümlerde aylık zaman ölçeği kullanılmıştır.

Son olarak iklim değişikliğinin etkilerini anlamak ve SWAT yağış akış modelinin girdi verileri olarak kullanılmak üzere RegCM 4.4 modeli Boğaziçi İklimBU laboratuvarında çalıştırılmıştır. Bu modelin başlangıç ve sınır şartları için MPI-ESM-MR küresel iklim çıktısı kullanılmıştır. Bunun sonucunda günlük toplam yağış verisi (mm), günlük bağıl nem (%), günlük rüzgâr hızı (m/s), günlük güneş radyasyonu (cal/cm² olarak alında MJ/m^2 çevrildi) ve günlük minimum ve maksimum sıcaklık (^{o}C) model verileri elde edilmiştir. Modelin parametizasyonları ile alakalı kısımlar dördüncü bölümde geniş bir şekilde açıklanmıştır.

Tablo 1: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğüne ait akış istasyonları

AGİ_NO	AKARSU	ADI	ENLEM	BOYLAM	ALANI(km^2)	DURUMU	KOT
D02A006	Kirazdere	Yuvacık	40.41	29.58	257.97	Açık	37
D02A010	Kocabaş Çayı	Akkayrak	40.1	27.12	975.8	Açık	29
D02A015	Karasu Deresi	İnceğiz	41.11	28.24	174.9	Kapalı	30
D02A016	Bağlar Deresi	M.Ereğlisi	40.58	27.56	118.3	Kapalı	30
D02A023	Nakkaş Dere	Halkalı	41.1	28.45	43.75	Kapalı	2
D02A024	Çakıl Deresi	Tepecik	41.3	28.32	95.75	Kapalı	3
D02A029	Tavşanlı Dere	Karabük	40.49	29.31	129.4	Kapalı	6
D02A030	Kocadere	Sölöz	40.23	29.25	75.8	Açık	98
D02A031	Karadere	Çakırca	40.27	29.4	234	Açık	10
D02A036	Uludere	Sindal	40.14	26.38	279.4	Kapalı	20
D02A041	Yalak Dere	Ayazma	40.4	29.3	269.8	Açık	21
D02A044	Hoşap Dere	Taşoluk	40.11	27.21	270.6	Kapalı	75
D02A046	Kocadere	B.Kılıçlı	41.1	28.12	54.2	Kapalı	49
D02A047	Molova Deresi	Pirinççiköy	41.9	28.51	111.8	Açık	25
D02A052	Çınardere	Çelikgürü	40.19	27.2	56.8	Açık	31
D02A065	Sarıçay	Nişankaya	40.3	26.34	215	Açık	70
D02A068	Büyük Dere	Aydınlı	40.52	29.16	46	Kapalı	20
D02A069	Kaynarca Deresi	Cihadiye	40.11	27.6	73.7	Açık	40
D02A070	Bayram Dere	Adatepe	40.23	26.46	87	Açık	18
D02A077	Safran Deresi	Kurtköy	40.34	29.13	51.48	Açık	131
D02A078	Bışkı Dere	Hacıoğlu	40.49	29.58	25.04	Kapalı	39
D02A079	Saz Dere	Çayırova	40.49	29.21	18.68	Kapalı	22
D02A080	Çınarlı Dere	Stadyum	40.46	29.51	37.43	Kapalı	10
D02A084	Kocaçay	Aşağıçavuş	39.49	27.5	51.8	Açık	295
D02A085	Kocabaş Çayı	Uzunalan	39.57	26.56	165	Açık	141
D02A089	Küçükkumla Deresi	Küçükkumla	40.28	29.7	20	Kapalı	52
D02A092	Yamandere	Kapaklı	40.28	28.58	32	Açık	6
D02A094	Işıklar Deresi	Naipköy	40.52	27.24	47	Kapalı	22
D02A107	Kılıncı Deresi	Kemerburgaz	41.1	28.52	55	Kapalı	38
D02A116	Sarısu Deresi	İzzettin	41.11	28.31	83.9	Açık	8
D02A123	Kocadere	Muratoba	40.22	29.1	65.79	Açık	92
D02A125	Sellimandıra Deresi	Gökçe Barajı Girişi	40.35	29.1	57.83	Açık	91
D02A129	Karanlık Dere	Kırıklar	39.46	27.17	68.4	Açık	220
D02A131	Altıkulaç Dere	Altıkulaç	40.5	27.8	31.4	Kapalı	75
D03A004	Kille Aliova Çayı	Devecikonağı	39.54	28.33	4888	Açık	62
D03A008	Madra Çayı	Kahve	39.36	27.32	784.45	Açık	181
D03A018	Kızık Suyu	Ağari	39.13	29.32	60.9	Kapalı	1039
D03A021	Üzümlü Çayı	Küçük Bostancı	39.35	27.55	521.5	Açık	100
D03A024	Madra Çayı	Ayaklı	39.31	27.22	239.3	Kapalı	250
D03A028	Aksu Deresi	Gölbaşı Gölü Giriş	40.12	29.18	50.7	Açık	151
D03A034	Simav Çayı	Osmanlar	39.15	28.19	1253.9	Açık	271
D03A038	Kırkpınarlar D.	Uludağ	40.7	29.8	8.83	Açık	1675
D03A045	Güreyin Dere	Kalkan	39.4	29.3	38.81	Kapalı	836
D03A046	Değirmendere	Kalkan	39.5	29.5	42.16	Kapalı	878
D03A049	Cuma Deresi	Cumayeri	39.49	29	127.2	Açık	650
D03A051	Köteyli Deresi	Değirmen Boğazı	39.43	27.57	82	Açık	120
D03A052	Dursunbey Çayı	Sinderler	39.37	28.43	975.2	Açık	294
D03A055	Deliçay	Gözede	40.8	29.17	34.56	Kapalı	626
D03A056	Sultaniye Deresi	Sultaniye	40.5	28.56	38.4	Açık	368
D03A064	Gölecik Dere	Gölecik	40.17	28.17	79.5	Açık	207
D03A067	Mürvetler Deresi	Mürvetler Sol Kanal	40.4	28.2	307	Açık	23
D03A072	Alova Çayı	Hacıahmet	39.47	28.43	4480	Kapalı	211
D03A073	Emet Çayı	Gökçedağ	39.36	28.59	2500	Kapalı	350
D03A076	Karadere	Dadalar	39.34	27.31	209.3	Açık	200
D03A082	Kocadere	Keçiler	40.18	28.11	40.63	Açık	65
D03A084	Değirmencik D.	Eyüpbükü	39.39	28.14	234.4	Açık	160
D03A085	Yaylacık Deresi	İnegazi	40.8	28.52	13.4	Açık	306
D03A086	Kocadere	Adalı	39.23	28.15	63	Açık	375
D03A087	Kocabük Deresi	Yeşilova	39.54	27.58	142	Açık	250
D03A092	Deliçay	Dokuzgözler	40.11	29.11	106	Kapalı	192
D03A095	Kabaklar Dere	Hasanlar	39.15	29.7	43.8	Açık	875
D03A096	Oben Deresi	Okçular	39.24	28.18	24.7	Açık	405
D03A108	Karadere	Paşalar	39.58	28.17	86.51	Açık	95
D03A117	Arapşah Dere	Kütahya	39.14	29.11	50.04	Açık	785
D03A118	Karaerik Deresi	Domur	39.49	29.38	48	Açık	875
D03A120	Kaya Deresi	Yeşilköy	39.47	29.3	46.94	Açık	810
D04A035	Kocadere	Misvak	39.39	26.27	43.5	Açık	135
D04A041	Ilıca D.	Zeytinli	39.53	26.31	50.8	Açık	160
E02A009	Yakacıkderesi	Gürçeşme	40.11	27.2	267.6	Kapalı	48
E02A011	Karasuderesi	Çatalça	41.9	28.28	257.6	Kapalı	10
E02A012	Biga Çayı	Çınarköprü	40.18	27.16	2095.6	Açık	8
E02A013	Oluk Dere	Orhangazi	40.29	29.19	54.1	Açık	100
E02A014	Hoşobaderesi	Gümüşçay	40.17	27.16	380	Kapalı	15
E02A015	Keçi Deresi	Dereköy	40.1	27.35	119	Açık	37
E03A028	Emet Çayı	Dereli	39.27	29.15	1125.6	Açık	557
E03A029	Killeçayı	Büyükbostancı	39.34	27.56	544	Kapalı	105
E03A031	Orhaneli Çayı	Dağgüney	39.55	29.1	3474	Açık	365
E03A032	Darıçukuruderesi	Dereli	39.45	28.16	260.6	Açık	65
E04A007	Karamenderes	Aslanköprüsü	39.49	26.19	1586.4	Kapalı	20

Tablo 2: Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait istasyonların adları ve kodları

İSTASYON ADI	ICAO KOD	İSTASYON NO	ENLEM	BOYLAM
Corlu	CORL	17054	41.16	27.82
Tekırdag	TEKR	17056	40.96	27.5
Kumkoy-Kılyos	KUMK	17059	41.05	29.04
Sarıyer	SARY	17061	41.15	29.05
Goztepe	GZTP	17062	40.99	29.05
Istanbul Bolge-Kartal	KRIB	17064	40.91	29.15
Kocaelı	KOCL	17066	40.77	29.92
Golcuk	GOLC	17067	40.72	29.8
Sakarya	SAKR	17069	40.77	30.39
Gokceada	GOKC	17110	40.19	25.91
Bozcaada	BOZC	17111	39.83	26.07
Canakkale	CNKL	17112	40.14	26.4
Bandırma	BAND	17114	40.33	28
Bursa	LTBE	17116	40.23	29.01
Yalova	YALV	17119	40.66	29.28
Bılecık	BILC	17120	40.14	29.98
Edremıt	EDRM	17145	39.59	27.02
Balıkesır_Hvl	LTBF	17150	39.63	27.92
Kutahya	KUTH	17155	39.42	29.99
Akhısar	AKHS	17184	38.91	27.82
Uzunkopru	UZKP	17608	41.26	26.69
Sıle	SILE	17610	41.17	29.6
Luleburgaz Tıgem	LULE	17631	41.35	27.31
Ipsala	IPSL	17632	40.92	26.38
Malkara	MALK	17634	40.89	26.91
Erdek	ERDK	17635	40.41	27.79
Florya	FLOR	17636	40.98	28.79
Gebze	GEBZ	17639	40.82	29.43
Cınarcık	CINK	17658	40.64	29.11
Iznık	IZNK	17661	40.42	29.73
Geyve	GEYV	17662	40.52	30.30
Gemlik	GMLK	17663	40.44	29.15
Inegol	INGL	17670	40.09	29.49
Ezıne	EZIN	17671	39.77	26.34
Gonen	GONE	17674	40.11	27.64
Mustafakemalpasa	MKMP	17675	40.04	28.39
Uludag	ULUD	17676	40.11	29.13
Keles	KLES	17695	39.91	29.23
Bıgadıc	BIGA	17698	39.39	28.12
Dursunbey	DURB	17700	39.58	28.63
Bozuyuk	BOZY	17702	39.90	30.05
Tavsanlı	TVSL	17704	39.54	29.49
Susurluk	SUSR	17705	39.91	28.16
Emet	EMET	17707	39.33	29.27
Sımav	SIMV	17748	39.09	28.95
Gedız	GEDZ	17750	38.99	29.40

Doktora tez çalışmasında, yukarıda bahsi geçen araştırma sorularına hem nonparametrik ile çok değişkenli istatistik yöntemlerle hem de bölgesel iklim ve hidrolojik modeller kullanılarak cevap aranmıştır. Bunun için sırasıyla;

a. Zaman serilerinin ortalamasında herhangi bir önemli değişikliğin olup olmadığına karar vermek için, zaman serilerine Kruskal-Wallis (K-W) ortalamaların ve varyansların homojenliği sınamaları uygulanmıştır (Sneyers, 1990).

b. Havza içerisinde yağış ve akış değerlerindeki değişkenliği ve trendleri saptamak için hidrolojik ve klimatolojik çalışmalarda sıkça kullanılan nonparametrik bir yöntem olan Mann-Kendall ve Spearman's rho korelasyon katsayısı kullanılmıştır (Mann, 1945; Kendall, 1975; Sneyers, 1990; Türkeş vd., 2009; Yue vd.,2002). Nonparametrik desteklemek ve karşılatırmak için parametrik testlerden biri olan En Küçük Kareler Doğrusal Regresyon Yaklaşımı ile kullanılmıştır. Buna göre iki nonparametrik ve bir parametrik test ile trendlerin yöntemsel açıdan uyumluluğu ayrıca test edilmiştir.

c. Havza içerisindeki çok değişkenli verilerin (yağış ve akışın) boyutunu azaltıp ortoganalleştiren (dikleştiren) boyut azaltma yöntemlerinden ve yer-atmosfer bilimlerinde çokça kullanılan Asal Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis PCA) veya diğer adıyla Ampirik Ortogonal Fonksiyon (Empirical Orthogonal-EOF) kullanılmıştır. Bu yöntem atmosfer bilimlerinde ilk defa Lorentz (1956) tarafından kullanılmıştır (Storch ve Zwiers, 2001).

d. Diğer bir değişkenlik konusu olan yağış ve akış değişkenliğinde Kuzey Atlantik Salınımın etkisi ve rolü bir çok çalışma ile bilinmektedir (Türkeş ve Erlat 2003, 2005, Kahya ve Karabörk, 2001). Örneğin Türkeş ve Erlat'ın (2005) yaptıkları çalışmaya göre yağış noksanlığının diğer bir deyişle kuraklığın olduğu önemli yıllar, NAO'un pozitif faz dönemine denk gelir. Bunun yanı sıra diğer iki önemli indis olan AO ve SOI'nin etkisi de incelenmiştir. Bu durumda uzak atmosfer salınım indislerinin yağış ve yağış değişkenliğini yönlendiren önemli bir parametre olarak etkisi incelenmiştir.

e. Yukarıda sayılan çok değişkenli ve nonparametrik istatistikler haricinde Marmara Denizi havzası için RegCM modeli çıktıları kullanılarak SWAT yağış-akış modeli çalıştırılıp su dengesinin tüm elemanları ve dolayısıyla da yağış ve akış verileri elde edilmiş ve böylelikle gelecekteki yağış-akış ve su dengesi elemanlarının karakteristikleri belirlenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

MARMARA DENİZİ HAVZASINDA YAĞIŞ-AKIŞ DEĞİŞKENLİĞİ

1.1. Giriş

Dünyamızdaki su kaynakları özellikle 20. yüzyılda baraj yapımı, sulama ve birçok insan kaynaklı olaylardan dolayı yoğun bir baskı altında kalmış ve su kaynakları üzerinde doğal olmayan birçok değişikliler ve etkiler yaşamıştır (Müller Schmied vd,. 2016; Vörösmarty vd., 2000). Ayrıca dünyamız üzerinde sanayi devriminden beri atmosfere salınan sera gazlarının atmosferik pencere üzerinde etki etmesiyle sıcaklığın dünya üzerinde artması ve bunun atmosferik ve hidrolojik birçok geri besleme düzenekleri üzerinde pozitif (taşkınlar) veya negatif (birçok kuraklık çeşidi) bir etki oluşturması, su yönetimi açısından günümüzdeki başlıca problemlerdendir (IPCC 2013, Van Vliet vd., 2016, Şen vd., 2014). Örneğin Yücel vd., (2015) Doğu Anadolu bölgesinde Fırat, Dicle, Aras ve Çoruh havzalarını kapsayan alanda gözlem verileri yaptıkları çalışma ile iklim değişikliğiyle birlikte artan sıcaklığın etkisi sonucu yüksek alanlardaki kar örtüsünün daha erken eridiğini ortaya koymuşlardır. Bunun gibi birçok örnek ile hem doğal (iklimin kendi değişkenliğinden kaynaklı) hem de antropojenik süreçler ile birlikte yağışların ve akışların değişkenlikleri önemli bir konu olmuştur. Bu bakımdan bu konu hem uluslararası hem de ulusal birçok çerçevede tartışılmıştır.

Türkiye'de yerel ve ulusal ölçekte birçok çalışma yağış ve akış parametrelerinin alansal ve zamansal değişkenliğini ortaya koymuştur (Aksoy vd., 2008; Cığızoğlu vd., 2004; 200 Göktürk vd., 2008; Haktanır ve Çıtakoğlu, 2014; Hadi ve Tombul; 2018; Kadıoğlu, 2000; Kadıoğlu vd; 1999a ve 1999b; Kahya ve Kalaycı, 2004; Partal, 2010; Partal ve Kahya, 2006; Raja vd., 2017; Sarış vd., 2010a; Topaloğlu, 2006; Yavuz ve Erdoğan, 2012; Tatlı vd; 2004; Topaloğlu,2006; Topaloğlu vd; 2012; Toros, 2012; Türkeş, 1996; Türkeş vd., 2009). Haktanır ve Çıtakoğlu (2014) Türkiye'de standart zamanlardaki maksimum yağışların trendleri, bağımsız olma durumu (ing: independence) ve homojenliklerini incelemişlerdir. Yüzde beş anlamlılık düzeyinde elde ettikleri sonuca göre yıllık maksimum yağışların neredeyse %90'ını trend ve bağımlılık göstermemektedir. Aksoy vd. (2008) yaptıkları bir çalışma ile Türkiye'nin Trakya bölgesindeki hidroklimatolojik verilere (yağış, sıcaklık, akış verilerine) çeşitli

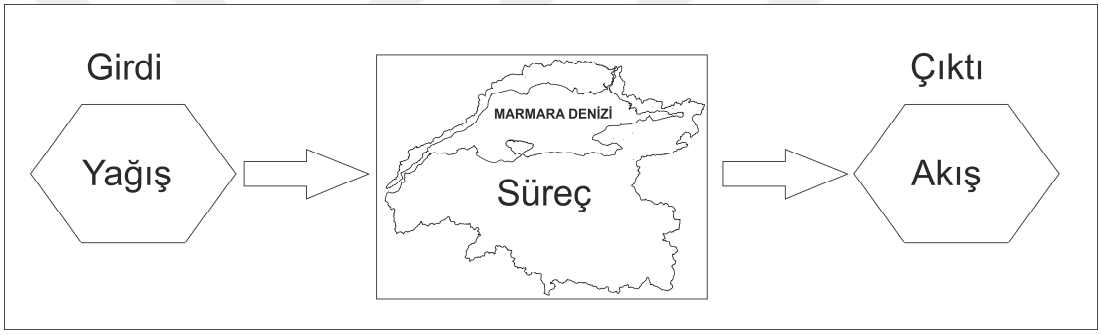
zaman serisi analizleri uygulamalarının yanı sıra bölge için ECHAM4, HadCM2, HadCM3 GCM verilerini üretmişlerdir. Çıkan sonuçlara göre herhangi bir trend ve sıçrama varlığı gözlerine çarpmamış ve GCM modeline göre hem alansal hem de zamansal ölçeklerde sıcaklıılarda artma yağışlarda azalma beklenmekte yanı sıra bölgede ekstremler görülme olasılığının arttığını belirtmişlerdir. Partal ve Kahya (2006) Türkiye'de aylık toplam yağışın Mann-Kendall ve Sen testleri kullanarak alansal ve zamansal değişimlerini değerlendirmişlerdir. Sonuçlara göre Ocak, Şubat ve Eylül aylarında anlamlı trendler bulmuşlardır. Yıllık toplam yağışlarda batı ve güney bölgelerinin yanı sıra Karadeniz kıyılarında da bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Türkeş vd. (2009) yaptıkları çalışma ile Türkiye'de aylık toplam yağış verilerine PCA analizi ve trend analizi uygulayarak yağışın alansal ve zamansal değişimlerini incelemişlerdir. Buna göre aylık toplam yağışların kış mevsiminde azalış diğer mevsimlerde genel bir artış olduklarını belirtmişlerdir. Cığızolu vd., (2004) Türkiye'de bulunan akış istasyonlarının maksimum, minimum ve düşük akışlarına nonparametrik Mann-Kendall trend ile parametrik t testi uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre genel olarak birkaç istasyon dışında azalış trendlerinin egemen olduklarını belirtmişlerdir. Özellikle Türkiye'nin batı, güney ve merkez kısımlarında ortalama ve düşük akışlardaki azalış eğilimlerinin maksimum akışlara oranla daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Topaloğlu (2006) çalışmasında Mann-Kendall trend analizi kullanarak Türkiye'deki 26 havzadaki 84 istasyonunun yıllık minimum, maksimum ve ortalamaları ile aylık ortalama akış değerlerindeki eğilimleri incelemiştir. Ülkenin batısında %5 seviyesindeki anlamlı azalmalar haricinde herhangi bir eğilimin olmadığını belirtmiştir.

Yağış ve akış parametrelerinin uzun yıllar içerisinde değişikliğini ve değişkenliğini anlamanın su yönetiminde, enerji, sulama ve planlama açısından oldukça önemli olduğu birçok araştırmacı açısından ayrıca ortaya konmuştur. (Koç, 2014; Melikoğlu, 2013; Yüksel, 2015).

Doktora tez çalışmasının bu kısmında yağış ve akış parametrelerinin zamansal açıdan normalleri kapsayacak şekilde uzun yıllar boyunca alansal ve zamansal değişkenliğinin karakutu sistemi açısından incelenmesi ve buna göre çıkan sonuçlara göre havza sistemindeki uzun dönemli geri beslemenin (ing: feedback) yönünün (artış veya azalış) anlaşılması amaçlanmıştır

1.2. Veri ve Yöntem

Bu çalışmanın metodolojisi olarak su dengesinin bileşenleri olan yağış ve akış arasındaki ilişki karakutu sistemi olarak ele alınmıştır (Şekil 6) (Chorley, 1971; Bayazıt, 1998). Buna göre her ne kadar yağış ve akış arasındaki ilişki lineer olmasa da uzun dönem çalışmalarda bu iki parametre arasındaki tepki mesafesi (ing: lag) ortadan kalkacağı için yağıştaki bir değişikliğin su dengesini dolayısıyla da akışı da etkilemesi beklenmektedir. Ancak burada önemli olan bir husus yağış-akış arasındaki ilişkinin mümkün olduğunca doğal sebeplerden etkilenmesidir. Bu bakımdan yağış-akış verileri baraj sistemleri, sulama sistemlerinin uzak olduğu ve mümkün olduğu kadarıyla sadece doğal sistemlerden etkilendiği yerlerden seçilmiştir.



Şekil 6: Çalışmanın metodolojisinin gösterimi

Bu değerlerin doğal koşullardan etkilenmesinin yanında bu iki parametreyi de aynı şekilde değişkenliklerini birbirleriyle ilişkilendirmek ve yorumlamak için benzer yıllardan oluşması yani ortak dönemlere sahip olması gerekmektedir. Hem yağış hem de akış istasyonları için ortak dönemler 1985-2014 yıllarını kapsayan 30 yıllık bir zaman aralığı olarak belirlenmiş ve buna bağlı olarak Marmara Denizi havzasındaki hem yağış hem de akış istasyonları bu ortak zaman dilimine göre seçilmiştir. Elde edilen bu ortak dönemin ise normaller olarak adlandırılan 30 yıllık bir zaman aralığı olmasına özen gösterilmiş ve buna göre istasyonların seçimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahası üzerinde birçok yağış ve akış istasyonu olsa da istasyonların birçoğu belirlenen ortak dönem içerisinde olmadığı için çalışmaya eklenmemiştir. Diğer yandan Marmara Denizi havzasının kuzey kısımlarında ayrıca ortak döneme sahip istasyon yoktur. Bu nedenle, İnceğiz (23 yıl) ve Naipköy (28 yıl) istasyonları havzanın kuzey kısmını temsil etmesi için çalışmaya dahil edilmiştir. Buna göre çalışmada kullanılan istasyonlar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Değişkenlik ve homojenlik analizinde kullanılan istasyonlar.

BOYLAM	ENLEM	İSTASYON ADI	KOD	BOYLAM	ENLEM	AGI_NO	AKARSU	İSTASYON ADI
27.81	41.17	Çorlu	17054	27.21	27.21	D02A010	Kocabaş Çayı	Akkayrak
27.49	40.95	Tekirdağ	17056	28.41	28.41	D02A015	Karasu Deresi	İnceğiz
29.05	41.14	Sarıyer	17061	29.41	29.41	D02A030	Kocadere	Sölöz
29.01	40.98	Göztepe-Kadıköy Rıhtım	17062	29.67	29.67	D02A031	Karadere	Çakırca
29.15	40.91	İstanbul Bölge-Kartal	17064	29.51	29.51	D02A041	Yalak Dere	Ayazma
29.91	40.76	Kocaeli	17066	28.97	28.97	D02A047	Molova Deresi	Pirinççiköy
29.8	40.72	Gölcük	17067	27.05	27.05	D02A052	Çınardere	Çelikgürü
26.39	40.14	Çanakkale	17112	26.58	26.58	D02A065	Sarıçay	Nişankaya
27.99	40.33	Bandırma	17114	27.11	27.11	D02A069	Kaynarca Deresi	Cihadiye
29.01	40.23	Bursa	17116	29.23	29.23	D02A077	Safran Deresi	Kurtköy
29.27	40.65	Yalova	17119	27.09	27.09	D02A084	Kocaçay	Aşağıçavuş
27.01	39.58	Edremit	17145	26.94	26.94	D02A085	Kocabaş Çayı	Uzunalan
27.92	39.63	Balıkesir	17150	27.40	27.40	D02A094	Işıklar Deresi	Naipköy
29.1	40.64	Çınarcık	17558	28.57	28.57	D03A004	Kille Aliova Çayı	Devecikonağı
27.79	40.41	Erdek	17635	27.57	27.57	D03A008	Madra Çayı	Kahve
28.78	40.97	Florya	17636	29.53	29.53	D03A018	Kızık Suyu	Ağari
29.43	40.82	Gebze	17639	27.92	27.92	D03A021	Üzümcü Çayı	Küçük Bostancı
29.73	40.42	İznik	17661	27.38	27.38	D03A024	Madra Çayı	Ayaklı
29.15	40.44	Gemlik	17663	28.33	28.33	D03A034	Simav Çayı	Osmanlar
29.49	40.09	İnegöl	17670	29.15	29.15	D03A038	Kırkpınarlar D.	Uludağ
26.34	39.77	Ezine	17671	29.00	29.00	D03A049	Cuma D.	Cumayeri
27.64	40.11	Gönen	17674	27.94	27.94	D03A051	Köteyli Deresi	Değirmen Boğazı
28.39	40.04	M.Kemalpaşa	17675	28.72	28.72	D03A052	Dursunbey Çayı	Sinderler
29.12	40.1	Uludağ Zirve	17676	28.93	28.93	D03A056	Sultaniye Deresi	Sultaniye
29.23	39.91	Keles	17695	28.30	28.30	D03A064	Gölecik Dere	Gölecik
28.12	39.39	Bigadiç KK	17698	28.04	28.04	D03A067	Mürvetler Deresi	Mürvetler Sol Kanal
28.63	39.57	Dursunbey	17700	28.99	28.99	D03A073	Emet Çayı	Gökçedağ
29.49	39.53	Tavşanlı	17704	27.50	27.50	D03A076	Karadere	Dadalar
28.16	39.91	Susurluk	17705	29.32	29.32	E02A013	Oluk Dere	Orhangazi
29.27	39.33	Emet	17707	29.26	29.26	E03A028	Emet Çayı	Dereli
28.97	39.09	Simav	17748					

Marmara Denizi havzası üzerindeki yağış ve akış istasyonlarına ait mevsimlik ve yıllık zaman serileri uzun süreli eğilimler ve değişimler istatistiksel hesaplamalarla çözümlenmiştir. Burada hem nonparametrik hem de parametrik analizler kullanılmış olup monotonik ve lineer eğilimler de birbiriyle karıştırılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

1.2.1. Mann-Kendall Trend Testi

Kendall'ın *tau* istatistiği olarak da bilinen, hidrolojik çalışmalarda sıkça kullanılan, herhangi bir dağılıma uyma zorunluluğu olmayan nonparemetrik bir test olan (Yue vd.

2002) Mann-Kendall trend testi Mann (1945) tarafından oluşturulmuş, Kendall (1975) tarafından çalışılmış ve Hirsch vd. (1982, 1984) tarafından geliştirilmiştir. Mann-Kendall testinin kullanılması hipotezlerin oluşturulmasıyla başlanılır. Buna göre H_0 hipotezinde herhangi bir monotonik bir varlığı yok sayılırken H_1 hipotezine göre ise monotonik bir trendin varlığını kabul edilir.

$$\left.\begin{array}{l} H_o = Monotonik\ trend\ yoktur \\ H_1 = Monotonik\ bir\ trend\ vardır \end{array}\right\} \quad \text{Eşitlik 3}$$

Bu bağlamda hipotezlerin sınanması açısından (S) istatistiği (Eşitlik 4) ve (Eşitlik 5) hesaplanır:

$$S = \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} sgn(x_j - x_i) \quad \text{Eşitlik 4}$$

burada *n* veri serisi uzunluğu ve Sgn ise Signum veya İşaret fonksiyonudur.

$$Sgn(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad \text{Eşitlik 5}$$

Mann (1945) ve Kendall (1975) eğer n≥8 olduğunda S'nin asimptotik olarak normal dağıldığını belirtmiştir ve ortalaması ile varyansı aşağıdaki gibidir:

$$E(S) = 0 \quad \text{Eşitlik 6}$$

$$Var(S) = \left[N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^{k} t_i i(i-1)(2i+5)\,/18 \right] \quad \text{Eşitlik 7}$$

Burada t_i i uzanımlı bağların sayısıdır. Buna göre Z istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{var(s)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{var\,(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad \text{Eşitlik 8}$$

Buna göre eğer Z değeri kritik değer ve diğer bir deyişle anlamlılık seviyesinden (%5 veya %1) küçük ise $|Z_c| < Z_{\alpha/2}$ H_0 hipotezi, aksi durumda H_1 hipotezi kabul edilir. Pozitif Z değerleri "artan trendi" negatif Z değerleri ise "azalan trendi" belirtir.

1.2.2. Spearman's Rho Testi

Spearman's Rho testi hidrolojik ve atmosferik çalışmalarda kullanılan diğer bir nonparametrik testtir (Sneyers, 1990; Yue vd.,2002). Burada, $i = 1, \ldots, n$'e kadar orijinal x_i değerleri yerine, küçükten büyüğe oluşturulan sıralı dizideki sıra numaralarına karşılık gelen y_i değerleri kullanılır. Sınama örneklem değeri, i ve y_i dizileri arasındaki korelasyon katsayısı olan r_s'dir. Bu katsayı:

$$r_s = \frac{6}{n(n^2-1)} \sum_{i=1}^{n} (y_i - i)^2 \qquad \text{Eşitlik 9}$$

eşitliği ile gösterilir.

Boş hipotez altında, r_s'nin dağılımı asimptotik olarak normaldir ve ortalaması ile varyansı aşağıdaki gibidir:

$$E(r_s) = 0 \qquad \text{Eşitlik 10}$$

$$Var(r_s) = \frac{1}{n-1} \qquad \text{Eşitlik 11}$$

Sınama örneklem değeri, $u(r_s)$

$$E(r_s) = r_s\sqrt{n-1} \qquad \text{Eşitlik 12}$$

eşitliği ile gösterildiğinde boş hipotez | $u(r_s)$|'nin büyük değerleri için reddedilir. Eğer elde edilen değer kritik değerin (%5, 1.96) üstünde ise eğilimin varlığından söz edilir. Pozitif $u(r_s)$ değerleri "artan trendi" negatif $u(r_s)$ değerleri ise "azalan trendi" belirtir.

1.2.3. En Küçük Kareler Doğrusal Regresyon (EKKDR) Analizi ve β'nın Anlamlılığı İçin *Student t* Sınaması

EKKDR, ilgilenilen parametre ile zaman arasında arasındaki ilişkiler arasındaki trend testi olarak kullanılan bir parametrik bir trend testidir (Kundzewicz ve Robson,2000; Machiwal ve Jha, 2012; Türkeş ve Sümer, 2004). Buna göre önce hipotezlerin oluşturulmasıyla başlanılır:

$$\left.\begin{array}{l} H_o = Parametrik\ trend\ yoktur \\ H_1 = Parametrik\ bir\ trend\ vardır \end{array}\right\} \quad \text{Eşitlik 13}$$

Daha sonra ise aşağıdaki yaklaşımla regresyon denklemi kurulur.

$$y = a + b \cdot x \quad \text{Eşitlik 14}$$

Daha sonra ise β'nın (regresyon katsayısının) Anlamlılığı İçin Student t Sınaması hipotez sınamasına geçilir. Buna göre önce bağımlı değişkenin artık yani residual varyansı hesaplanır:

$$S_r = \frac{1}{\mathrm{n}-2}\sum_{t=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2 \quad \text{Eşitlik 15}$$

Burada S_r uydurulan eğri ile gerçek değerler arasındaki farktır ve residual varyansı olarak ayrıca adlandırılır.

Daha sonra ise *Student t* sınaması ile β'nın anlamlılığı sınanır:

$$t_s = \frac{\hat{\beta}}{S_{\hat{\beta}}} \quad \text{Eşitlik 16}$$

Buradaki $S_{\hat{\beta}}$ $\hat{\beta}$'nın standart hatasıdır.

$$t_s = \sum_{t=1}^{\frac{S_r}{n}} {x_i}^2 \quad \text{Eşitlik 17}$$

Buna göre elde edilen sonuçlar ile hesaplanan t_s değeri Student t sınaması ile n-2 serbestlik derecesindeki %5 (veya %1) seviyesindeki kritik değerden küçük ise boş hipotez reddedilmez.

1.2.4. Kruskal-Wallis Homojenlik Sınaması

Kruskal-Wallis homojenlik sınaması, ortalamaların ve varyansların homojenliğini sınamak için kullanılan etkili bir nonparametrik homojenlik sınamasıdır. Burada, verilerin kendilerini kullanmak yerine, onların büyükten küçüğe dizilmesiyle oluşturulan toplam sıralı dizideki sıra numaraları kullanılır (Kruskal ve Wallis, 1952; Sneyers, 1990).

1.2.4.1. Ortalamaların Homojenliği

Eğer, k, bağımsız dizilerin sayısı n_j, $j = 1, \ldots., k$'ya kadar j bağımsız alt dizilerin (ya da dönemlerin) örneklem boyutu (gözlem sayısı) ve r_{ij}'j alt dizilerindeki i gözlemlerinden oluşan toplam sıralı dizideki sıra numaraları ise, her bağımsız dizideki sıra numaralarının toplamı, R_j,

$$R_{j=} \sum_{i=1}^{n_j} r_{ij} \qquad \text{Eşitlik 18}$$

ve toplam sıralı dizinin gözlem sayısı

$$n = \sum_{j=1}^{k} n_j \qquad \text{Eşitlik 19}$$

olur.

Sınama örneklem değeri, X_K

$$X_k = \left[\frac{12}{n(n+1)} \sum_{j=1}^{k} \frac{{R_j}^2}{n_j} \right] - 3(n+1) \qquad \text{Eşitlik 20}$$

eşitliğinden hesaplanır (Sneyers, 1990). Sınama örneklem değerini hesaplamadan önce, değerlerinin doğru olup olmadığı,

$$\sum_{j=1}^{k} R_j = \frac{n(n+1)}{2} \qquad \text{Eşitlik 21}$$

eşitliğiyle kontrol edilmelidir.

Ortalamaların homojenliğini sınamak için; hipotezler şu şekilde ifade edilir;

H_0: Gözlem dizisi ortalaması homojendir.

H_a: Gözlem dizisi ortalaması homojen değildir.

Ortalamalar homojendir boş hipotezi altında $X_k$örneklem değeri, (k-1) bağımsızlık sayısıyla yaklaşık ($\mathcal{X}^2$) dağıtılır. Boş hipotezin kabul ya da reddedilmesi, istenilen anlamlılık düzeyinde ($\alpha = 0.05$ ya da $\alpha = 0.01$) ve $f = (k-1)$ bağımsızlık sayısına göre $\mathcal{X}^2$ tablosundan bulunarak X_k ile karşılaştırılacak olan $\mathcal{X}^2$ kritik değerinin büyüklüğüne bağlıdır.

Boş hipotez, X_k'nın büyük değerleri için ($X_k \geq \mathcal{X}^2$) reddedilir.

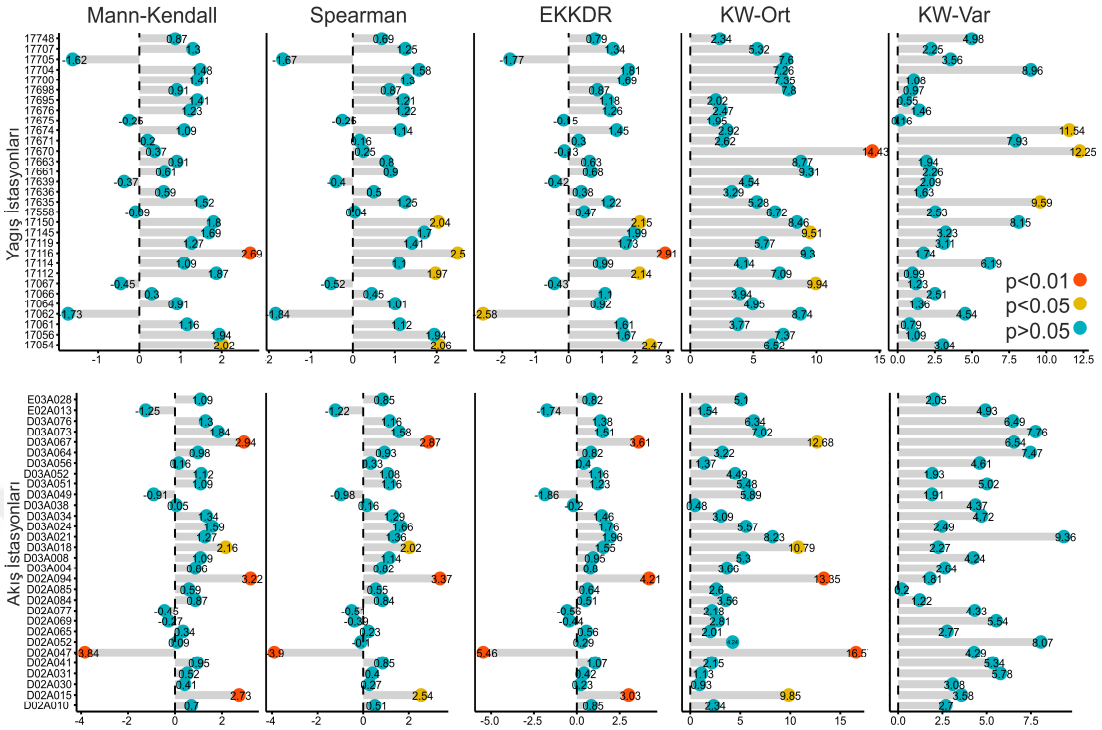
1.2.4.2. Varyansların Homojenliği

Ortalamaların homojenliğinde kullanılan sınama örneklem değeri (X_k), varyansların homojenliğinde de kullanılır. Varyansların homojenliğinde, orijinal gözlemlerin genel ortalamadan farkları kullanılarak elde edilen diziler temel alınır (Sneyers, 1990). Varyansların homojenliğinde r_{ij} sıra numaraları, mutlak farkların ($d = |X_i - \bar{X}|$ küçükten büyüğe sıralanması ile oluşturulan toplam sıralı dizideki sıra numaralarını karşılamaktadır.

1.3. Bulgular

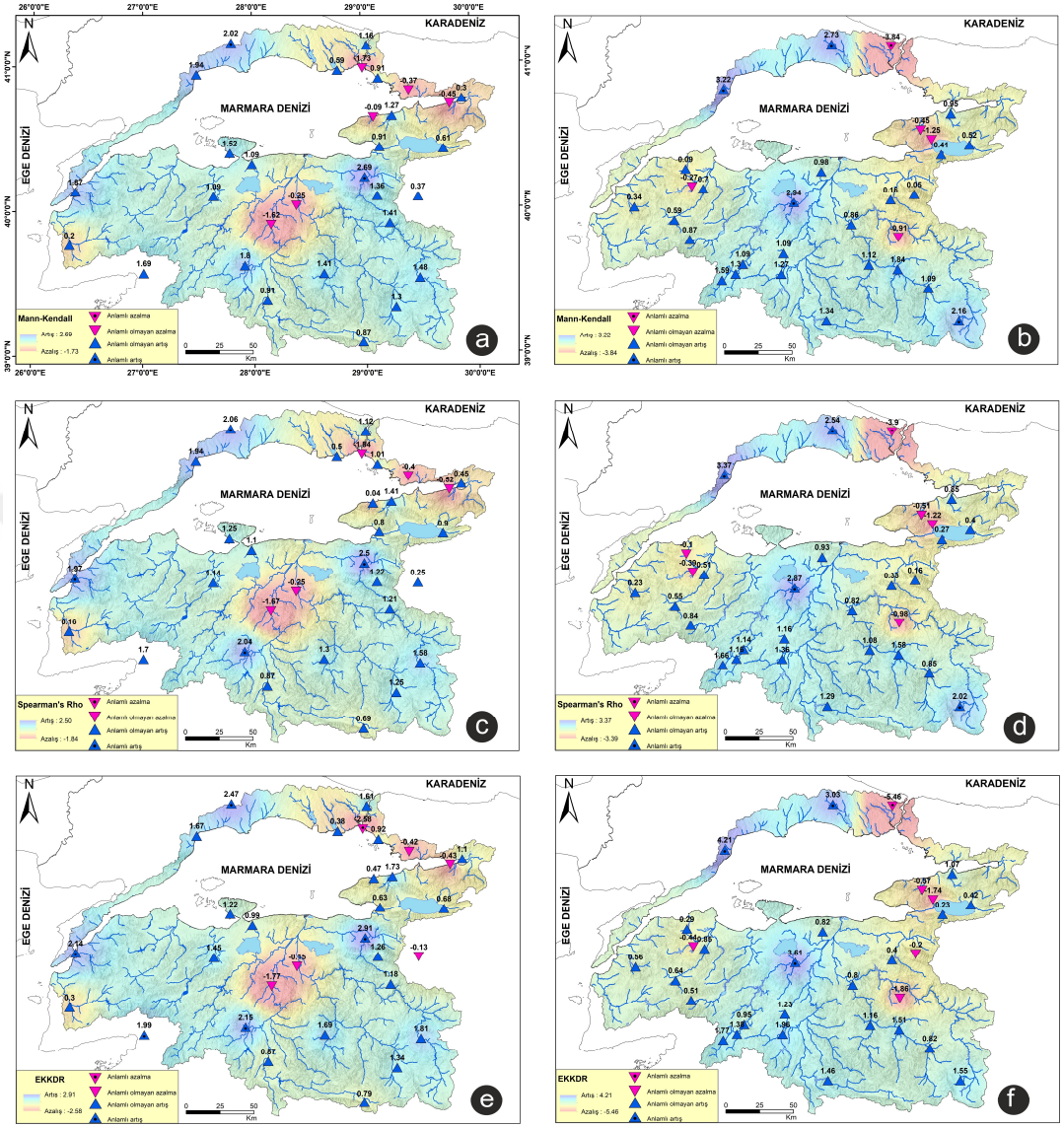
1.3.1. Yıllık Yağış-Akış Zaman Serilerinin Analiz Sonuçları

Marmara Denizi havzasında yıllık zaman serisi analizleri sonucunda hem yağış hem de akış istasyonlarında artış ve azalışlar saptanmıştır. Ancak azalışların çok kuvvetli (istatistik açıdan anlamlı) olmadığı görülmektedir. Yağış istasyonlarının analiz sonuçları incelendiğinde Mann-Kendall ve EKKDR analizine göre 25 istasyonda artış 6 istasyonda azalış görülürken Spearman's rho analizine göre ise 26 istasyonda artış 5 istasyonda azalış gözükmektedir. Ancak Çorlu (17054), Bursa (17116) tüm analiz sonuçlarında, Çanakkale (17112), Balıkesir (17150) Spearman's rho ve EKKDR analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı artış gösterirken bunlardan sadece Kadıköy-Göztepe istasyonu anlamlı azalma göstermektedir. İstatistik olarak anlamlı ve anlamlı olmayan tüm yağış istasyonlarının ≈%80'inde bir artış mevcut iken istasyonların ≈%20'sinde bir azalış görülür. Kruskal-Wallis ortalamaların ve varyansların homojenliği sınamasına göre Gölcük (17067), Edremit (17145) ve Ezine (17671) istasyonlarının ortalamalarında homojenliğin bozulduğu gözlenmekle birlikte, Erdek (17635), İnegöl (17670) ve Gönen (17674) istasyonlarında ise varyans homojenliğinin istatiksel olarak bozulduğu görülmüştür. Havza içerisindeki artış ve azalışların alansal dağılışına bakıldığında genel olarak azalışlar Marmara Denizi havzasının kuzey ve kuzeydoğu kısmında yoğunlaşırken orta kısmında (Susurluk havzasının aşağı kısımlarında) ise azalışlar gözükmektedir. Bunun dışındaki alanlarda ise artışlar görülmektedir (Şekil 7 ve 8).



Şekil 7: Yıllık yağış ve akışların zaman serisi analiz sonuçlarının grafikleri (Kırmızı toplar %1, sarı toplar ise %5 seviyesindeki güven aralığını gösterirken mavi toplar istatistik açıdan anlamlı olmayan değişimleri gösterir).

Akış verilerin yıllık zaman serisi analizlerinin sonuçları bakıldığında yağış verileri ile uyumlu bir şekilde havza içerisinde genel olarak artış eğilimi göstermektedir. Akış istasyonlarının yıllık verilerine göre istasyonların ≈%86'sında artış, ≈%14'ünde ise azalış görülür. Yapılan analizlere bakıldığında analizlerin tümünde Karasu Deresi-İnceğiz (D02A015), Işıklar Deresi-Naipköy (D02A094), Mürvetler Deresi-Mürvetler Sol Kanal (D03A067) istasyonları istatistiksel olarak anlamlı artış gösterirken Kızıksuyu-Agari (D03A018) istasyonu sadece Mann-Kendall ve Spearman's rho analizlerine göre artış göstermiştir. Molova Deresi Pirinççiköy (D02A047) istasyonu ise tüm analiz sonuçlarına göre istatistiksel olarak azalış gösteren tek istasyondur. Homojenlik analizlerine göre ise Kruskal-Wallis varyansların homojenliğinde istatistiksel açıdan herhangi bir anlamlı değişim yoktur. Ancak ortalamaların homojenliğine bakıldığında ise yukarıda anlamlı artış ve azalış gösteren tüm istasyonların homojenliğinin bozulduğu görülmektedir (Şekil 7 ve 8).

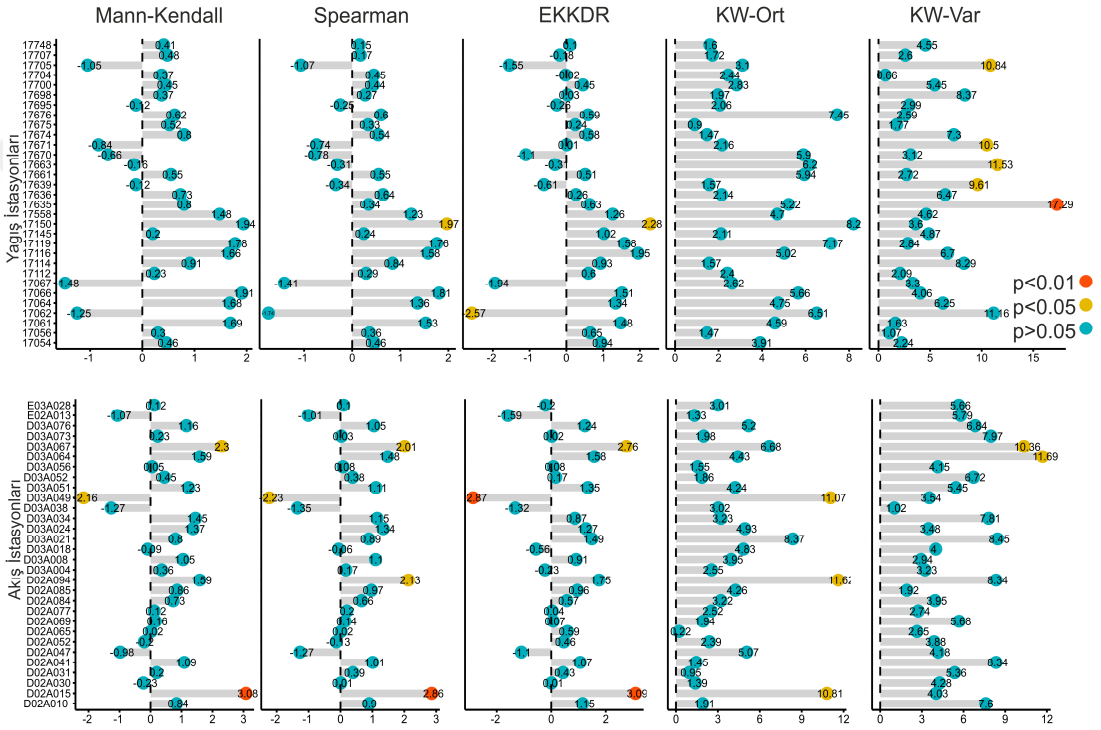


Şekil 8: Yıllık yağışların (a) Mann-Kendall (c) Sperman's Rho (e) EKKDR ve akışların (b) Mann-Kendall (d) Sperman's Rho (f) EKKDR testi sonuçlarının alansal dağılışı.

Akış değerlerinin zaman serisi analizleri sonucu artış ve azalış trendlerinin alansal dağılışlarına bakıldığında yağış değerlerinin analiz sonuçlarına benzer şekilde bir dağılış sergilediği görülmektedir. Azalma trendleri Marmara Denizi havzasının genellikle kuzey ve kuzeydoğu kısmında yoğunlaştığı görülmektedir. Havzanın Biga ve çevresinde ise anlamlı olmayan azalmalar görülür. İstatistik açıdan anlamlı azalma ve artışlar havzanın kuzey ve kuzeybatı kısımda yoğunlaşmaktadır (Şekil 7 ve 8).

1.3.2. Kış Mevsimi Yağış-Akış Zaman Serilerinin Analiz Sonuçları

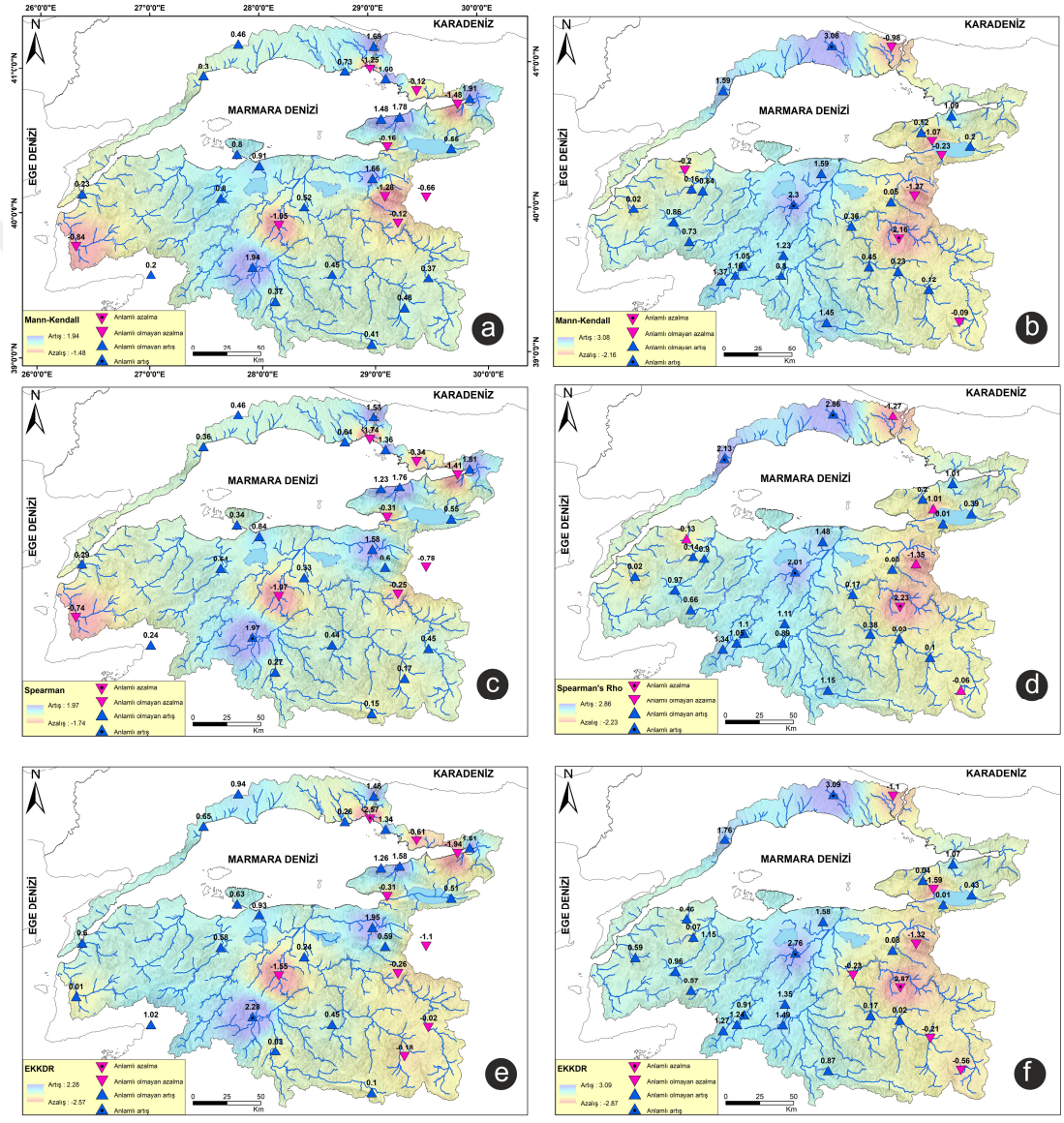
Yağış verilerinin kış mevsimi zaman serisi analizlerinin sonuçları Marmara Denizi havzasında birkaç istasyon ve analiz haricinde genel olarak bakıldığında birkaç istasyon dışında istatistik açıdan anlamlı bir pozitif veya negatif eğilimin olmadığını göstermektedir.



Şekil 9: Kış mevsimi yağış ve akışların zaman serisi analiz sonuçlarının grafikleri

Mann-Kendall ve Spearman analize göre 23 istasyonda artış 8 istasyonda azalış görülürken, EKKDR analizine göre 22 istasyonda artış 9 istasyonda azalış görülür. Mann-Kendall analizindeki artış ve azalışların hiçbiri istatistik açıdan anlamlı değildir. Spearman's rho ve EKKDR analizlerin sonuçlarına göre ise Balıkesir (17150) istasyonu istatistik açıdan anlamlı artış gösterirken, Göztepe (17062) istasyonu ise sadece EKKDR analizine göre anlamlı azalma göstermektedir. Marmara Denizi havzasındaki yağış istasyonlarının tümüne bakıldığında bu istasyonların ≈%70'inde bir artış görülürken ≈%30'unda ise azalış görülür. Kruskal-Wallis ortalamaların ve varyansların homojenliği analizleri sonuçları istasyonların ortalamalarında ve varyanslarında homojenliğin bozulmadığını, ancak homojenliğin varyanslarda sadece Göztepe (17062) istasyonunda bozulduğu görülür. Marmara Denizi havzasının

kuzeydoğusu ile Karamenderes civarı ve Susurluk havzasının güney kısımlarında azalış eğilimleri görülmektedir. Ancak EKKDR analizinde ise Susurluk'un çoğunda anlamlı olmayan azalmalar görülmektedir. Havzanın geri kalan kısımlarında ise artışlar görülmekle birlikte Balıkesir ve civarı anlamlı artışın olduğu tek alandır (Şekil 9 ve 10).



Şekil 10: Kış yağışlarının (a) Mann-Kendall (c) Sperman's Rho (e) EKKDR ve akışların (b) Mann-Kendall (d) Sperman's Rho (f) EKKDR testi sonuçlarının alansal dağılışı.

Akış verilerinin zaman serisi analizleri sonuçları kış ayının yağış verilerinin analiz sonuçlarına benzer şekilde havzadaki genel eğilim kuvvetli (istatistik açıdan anlamlı) olmasa da artış eğiliminin olduğunu gösterir. Buna göre, Mann-Kendall ve EKKDR

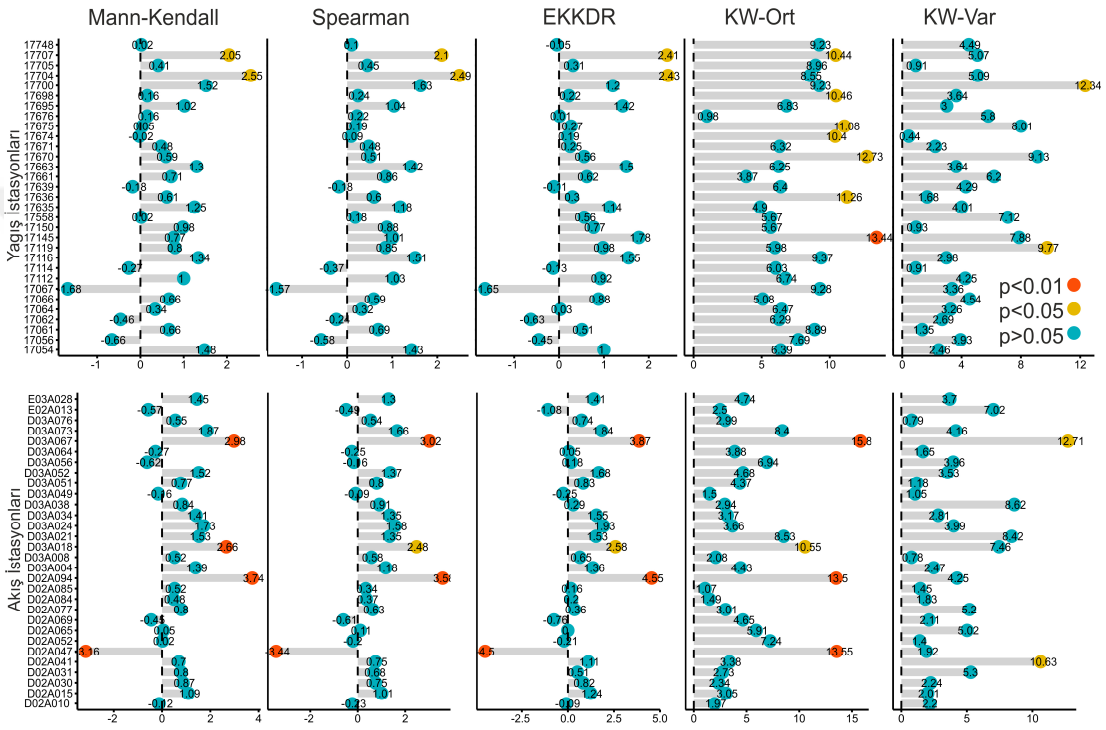
analizlerinde 23 istasyonda artış 8'inde ise azalış görülürken, Spearman's rho analizinde ise 24 istasyonda artış, 7 istasyonda azalış vardır. İstasyonların tümünde ≈%74 artış görülürken geri kalanında ise azalış hâkimdir. Bunlardan Karasu Deresi-İnceğiz (D02A015), Mürvetler Deresi-Mürvetler Sol Kanal (D03A067) tüm analizlerde istatistik olarak anlamlı artış gösterirken, Işıklar Deresi-Naipköy (D02A094) istasyonu ise sadece Spearman's rho analizine göre anlamlı artış gösterir. Cuma Deresi-Cumayeri (D03A049) istasyonu ise istatistik olarak anlamlı şekilde azalama gösteren tek istasyondur. Kruskal-Wallis verilerin homojenliği analizi sonuçları ortalama analizinde Mürvetler Deresi-Mürvetler Sol Kanal (D03A067), Gölecik Dere-Gölecik (D03A064) istasyonlarının homojenliğini bozulduğunu görülürken, Karasu Deresi-İnceğiz (D02A015), Işıklar Deresi-Naipköy (D02A0940), Cuma Deresi-Cumayeri (D03A049) varyans analizinde homojenliğinin bozulduğu görülür.

Buradaki dağılış incelendiğinde ise yağışın dağılışına benzer bir şekilde alansal olarak dağıldığı ve kabaca havzanın ikiye ayrıldığı görülmektedir. Özellikle Susurluk havzasının Emet ve Orhaneli bölgelerini yani Marmara Denizi havzasının doğusundan başlayan alan ile İznik Gölü havzasını geçerek kuzeye doğru olan alanlarda azalmalar görülmektedir. Tüm havzanın batısında ise artış görülür. Ancak burada anlamlı artışlar havzanın kuzeybatı kısmında mevcuttur (Şekil 9 ve 10).

1.3.3. İlkbahar Mevsimi Yağış-Akış Zaman Serilerinin Analiz Sonuçları

İlkbahar mevsimi yağış verilerinin zaman serisi analizleri sonuçlarına göre Marmara Denizi havzasında yağış istasyonlarının çoğunda artış eğilimi görülmektedir. Analizlerin sonuçlarına bakıldığında Mann-Kendall ve EKKDR analizine göre 25 yağış istasyonunda artış görülürken Spearman's rho analizine göre ise 26 yağış istasyonunda artış görülür ve geri kalan istasyonlarda ise azalış vardır. İstasyonların tamamı düşünüldüğünde tüm havza üzerinde yaklaşık olarak %80'lik bir artış olmasına rağmen bu artışlardan Tavşanlı (17704) ve Emet (17707) istasyonları tüm analizlerin sonuçlarına göre istatistik olarak anlamlı bir artış gösterir. Herhangi bir istasyonda istatistik olarak anlamlı azalma yoktur. Homojenlik analizlerinden Kruskal-Wallis varyansların homojenliğine göre Yalova (17119) ve Dursunbey (17700) istasyonlarında homojenliklerin bozulduğu görülür. Öte yandan, Edremit (17145), Florya (17636), İnegöl (17670), Gönen (17674), M. Kemalpaşa (17675), Keles (17695), Dursunbey (17700) yağış istasyonlarının Kruskal-Wallis ortalamaların

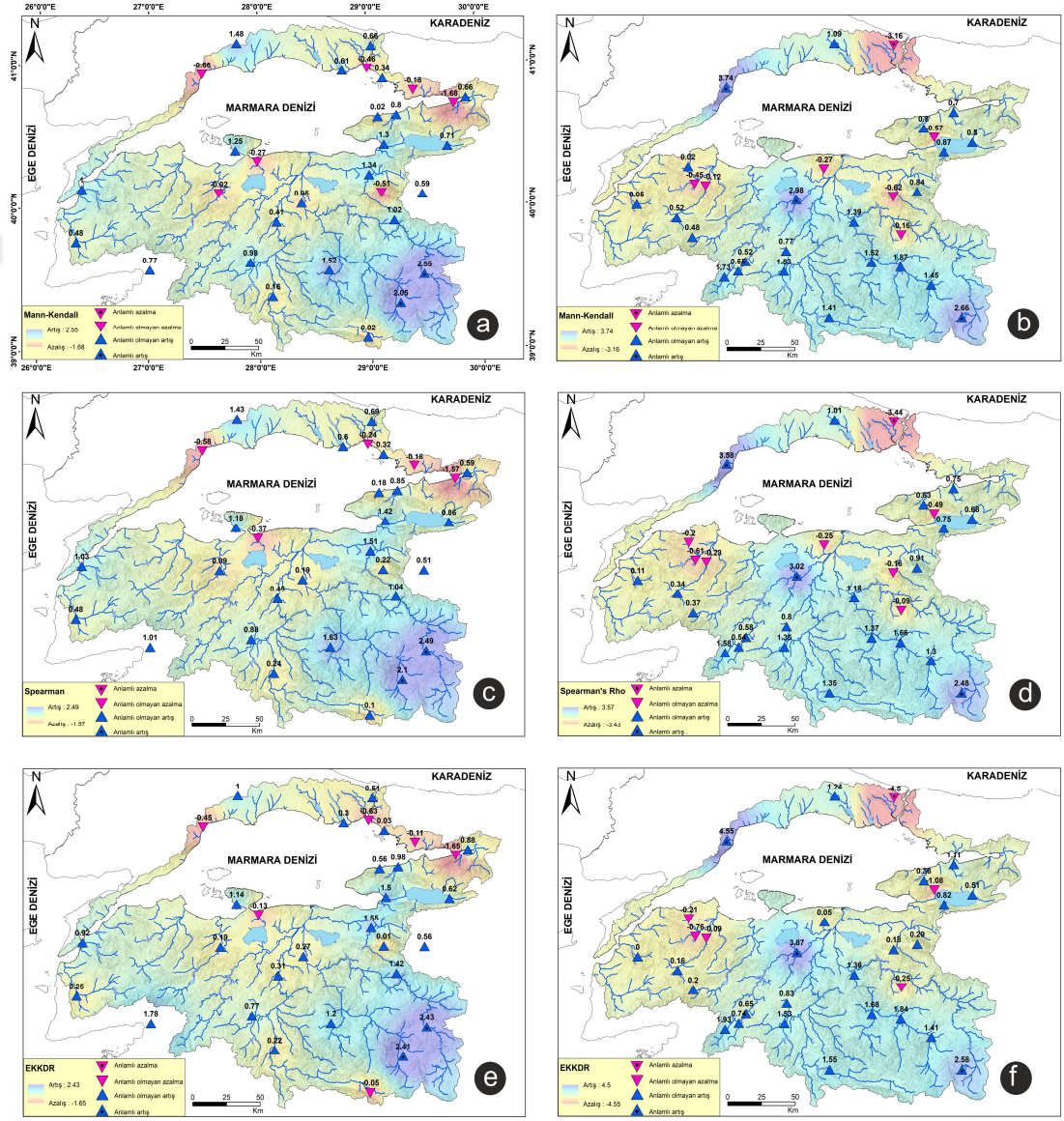
analizine göre istatistiksel olarak homojenliklerinin bozulduğu görülmektedir. İstasyonların dağılışları incelendiğinde burada azalışların genellikle havzanın kuzey kısımlarında kümelendiği görülmektedir. Marmara Denizi havzasının güneyinin tümünde bir artış eğilimi göze çarparken, istatistik olarak anlamlı artış gösteren yağışlar ise havzanın güneydoğusundaki Emet ve Tavşanlı bölgesinde yoğunlaşmıştır (Şekil 11 ve 12).



Şekil 11: İlkbahar mevsimi yağış ve akışların zaman serisi analiz sonuçlarının grafikleri.

Akış verilerinin zaman serisi analizlerinin ilkbahar mevsimi sonuçları yağış verilerine benzer bir şekilde alansal ve zamansal dağılış göstermektedir. Mann-Kendall analizine göre 23, Spearman's rho testine göre 22 ve EKKDR analizine göre ise 24 istasyonda artış olduğu görülmektedir. Buna göre havzadaki akış istasyonlarının yaklaşık %76'sı bir artış göstermektedir. Bu istasyonlardan Işıklar Deresi-Naipköy (D02A094), Kızık Suyu-Ağari (D03A018) ve Mürvetler Deresi-Mürvetler Sol Kanal (D03A067) istasyonları tüm analizlerin sonuçlarına göre istatistik olarak anlamlı bir artış göstermektedir. Molova Deresi-Pirinççiköy (D02A047) istasyonu ise tüm istasyonlar arasında ve tüm analizlere göre istatistik olarak anlamlı azalma gösteren tek istasyondur. Homojenlik analizlerine bakıldığında Yalak Dere-Ayazma (D02A041), Molova Deresi-Pirinççiköy (D02A047) ve Mürvetler Deresi-Mürvetler Sol Kanal (D03A067) Kruskal-Wallis varyansların homojenliği analizine göre istatistik

olarak anlamlı bir şekilde homojenliği bozulmuş istasyonlardır. Işıklar Deresi-Naipköy (D02A094), Kızık Suyu-Ağarı (D03A018) ve Mürvetler Deresi-Mürvetler Sol Kanal (D03A067) istasyonları Kruskal-Wallis ortalamaların homojenliğinde, homojenliği bozulan istasyonlardır ki bu istasyonlar zaman serisi analizlerinde ayrıca istatistik olarak anlamlı artış gösteren istasyonlardır.



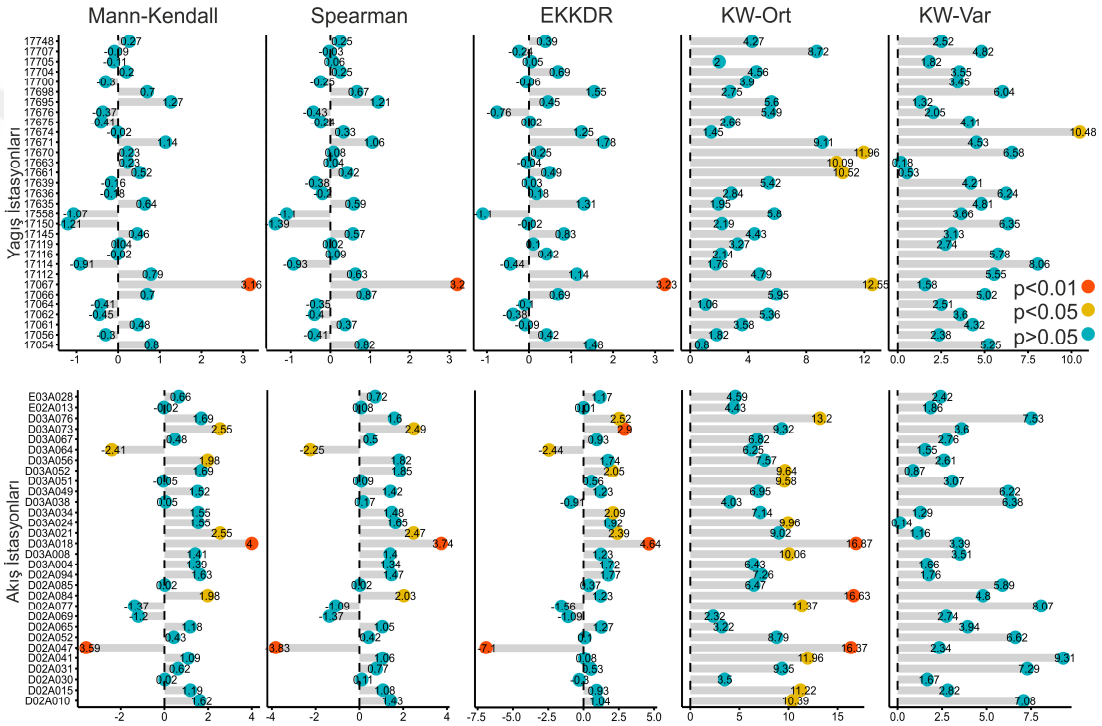
Şekil 12: İlkbahar yağışların (a) Mann-Kendall (c) Sperman's Rho (e) EKKDR ve akışların (b) Mann-Kendall (d) Sperman's Rho (f) EKKDR testi sonuçlarının alansal dağılışı.

Akış istasyonlarının alansal dağılışına bakıldığında havzanın güneyi (Biga ve Uludağ'ın çevresi haricinde) Marmara Denizi havzasının güneyinde artış eğilimleri

egemen dağılış kümesi oluşturmaktadır. Kuzeyinde ise özellikle İstanbul ve İznik çevresinde azalışlar görülür (Şekil 11 ve 12).

1.3.4. Yaz Mevsimi Yağış-Akış Zaman Serilerinin Analiz Sonuçları

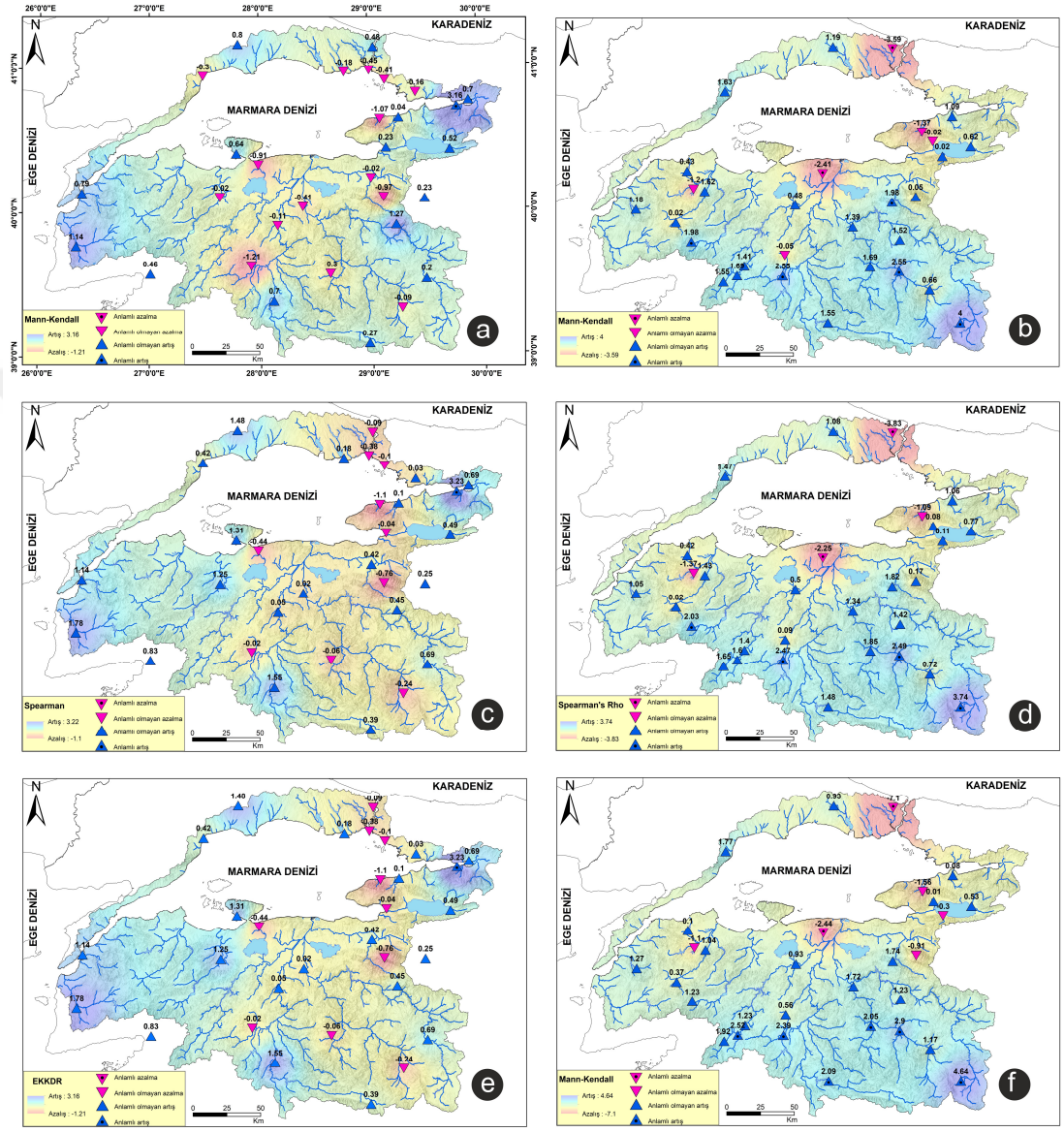
Yaz mevsiminde yağış istasyonlarının zaman serisi analizlerine ait sonuçlar incelendiğinde eğilimler diğer mevsimlere göre daha az kuvvetli ve rassaldır. Bu durum yaz ayının Akdeniz ikliminden kaynaklı kurak geçmesi ile ilgili olabilir.



Şekil 13: Yaz mevsimi yağış ve akışların zaman serisi analiz sonuçlarının grafikleri.

Mann-Kendall analizi 16, Spearman's rho analizi 19 ve EKDDR analizi ise 21 istasyonda artış olduğunu göstermektedir ki bu yaklaşık %58'lik bir kısımdır. Bu artışlardan sadece Gölcük (17067) istasyonu tüm analizlerde istatistik olarak anlamlı artışa sahiptir. Bunun haricinde hiçbir istasyon herhangi bir anlamlı azalışa sahip değildir. Gönen (17674) istasyonu Kruskal-Wallis ortalamaların homojenliği analizine göre homojenlikleri bozulurken Gölcük (17067), Ezine (17671), Gemlik (17663), İnegöl (17670) istasyonları ise varyansların homojenliğine göre homojenlikleri bozulmuştur. Azalışlara bakıldığında artışlar ve azalışlar tüm Marmara Denizi havzasını neredeyse iki kısma ayırmıştır. Susurluk havzanın çoğu olmak üzere havzanın İzmit körfezi civarı haricinde doğu kısmı ve kuzey kısmı kuvvetli olmayan

azalış eğilimleri gösterir. Bunun dışındaki alanlarda ise kuvvetli olmayan artış vardır (Şekil 13 ve 14).



Şekil 14: Yaz yağışlarının (a) Mann-Kendall (c) Sperman's Rho (e) EKKDR ve akışların (b) Mann-Kendall (d) Sperman's Rho (f) EKKDR testi sonuçlarının alansal dağılışı.

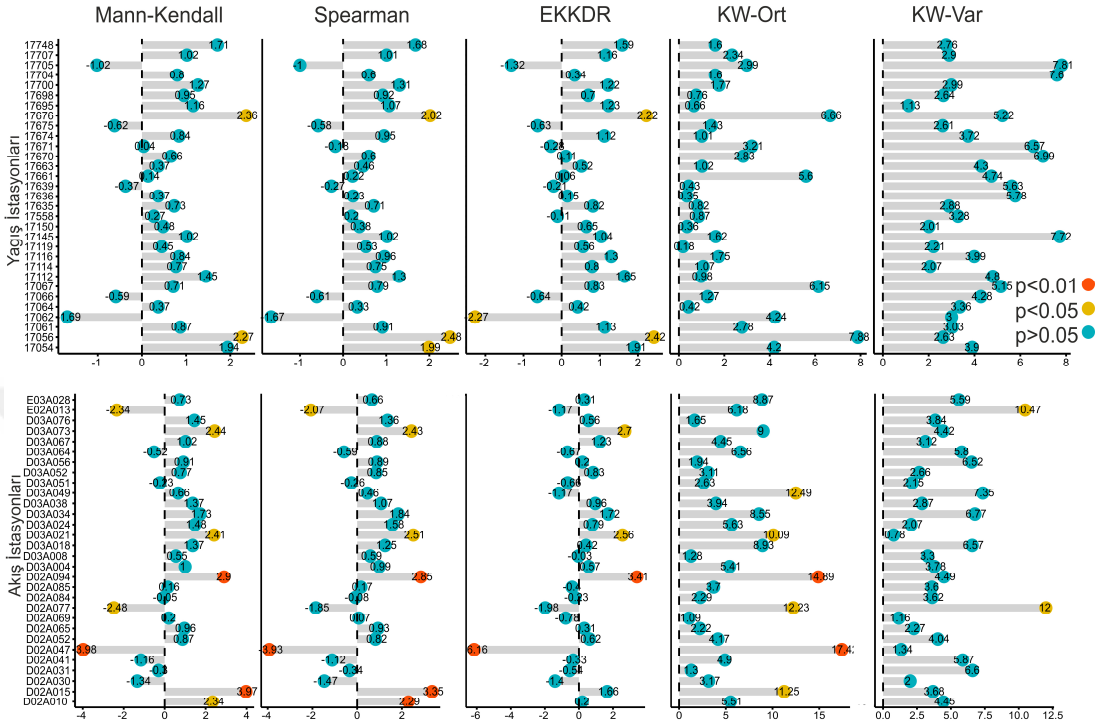
Yaz mevsimi akışları incelendiğinde ise Mann-Kendall ve EKDDR analizinde 24 istasyonda artış, Spearman's rho analizine göre 26 istasyonda artış görülür. Bu bakımdan Marmara Denizi havzasında akış istasyonlarında yaklaşık olarak %80 gibi bir artış vardır. Artış gösteren istasyonlardan, Kızık Suyu-Ağarı (D03A018), Üzümcü Çayı-Küçük Bostancı (D03A021), Emet Çayı-Gökçedağ (D03A073) istasyonları tüm analizlere, Kocaçay-Aşağıçavuş (D02A084) istasyonu Mann-Kendall ve Spearman's

rho analizine, Sultaniye Deresi-Sultaniye (D03A056) Mann-Kendall analizine, Simavçayı-Osmanlar (D03A034), Dursunbey Çayı-Sinderler (D03A052), Mürvetler Deresi-Mürvetler Sol Kanal (D03A067) ve Karadere-Dadalar (D03A067) istasyonları ise EKDDR analizlerine göre istatistik olarak anlamlı artışlar göstermektedir. Molova Deresi-Pirinççiköy (D02A047) ve Gölecik Dere-Gölecik (D03A064) istasyonları tüm analiz sonuçlarına göre istatistik olarak anlamlı azalış eğilimi göstermektedir. Homojenliklerin bozulması açısından Kruskal-Wallis varyansların homojenlikleri analizine göre hiçbir istasyonda istatistik olarak anlamlı bir bozulma yoktur. Öte yandan, Kocabaş Çayı-Akkayrak (D02A010), Karasu Deresi-İnceğiz (D02A015), Yalak Dere-Ayazma (D02A041), Molova Deresi- Pirinççiköy (D02A047), Safran Deresi-Kurtköy (D02A077), Kocaçay-Aşağıçavuş (D02A084), Madra Çayı-Kahve (D03A008), Kızık Suyu-Ağarı (D03A018), Madra Çayı-Ayaklı (D03A024), Köteyli deresi-Değirmen Boğazı (D03A051), Dursunbey Çayı-Sinderler (D03A052), Karadere-Dadalar (D03A076) istasyonlarında ise ortalamaların homojenliği bozulmuştur. Marmara Denizi havzasındaki eğilimlerin alansal dağılışına bakıldığında, havzanın kuzey ve orta kısmında azalışlar geri kalan alanlarda ise artış eğilimleri görülmektedir. Burada anlamlı artışlar havzanın güney kısımlarında görülürken, anlamlı azalışlar ise orta ve kuzey kısmında görülür (Şekil 13 ve 14).

1.3.5. Sonbahar Mevsimi Yağış-Akış Zaman Serilerinin Analiz Sonuçları

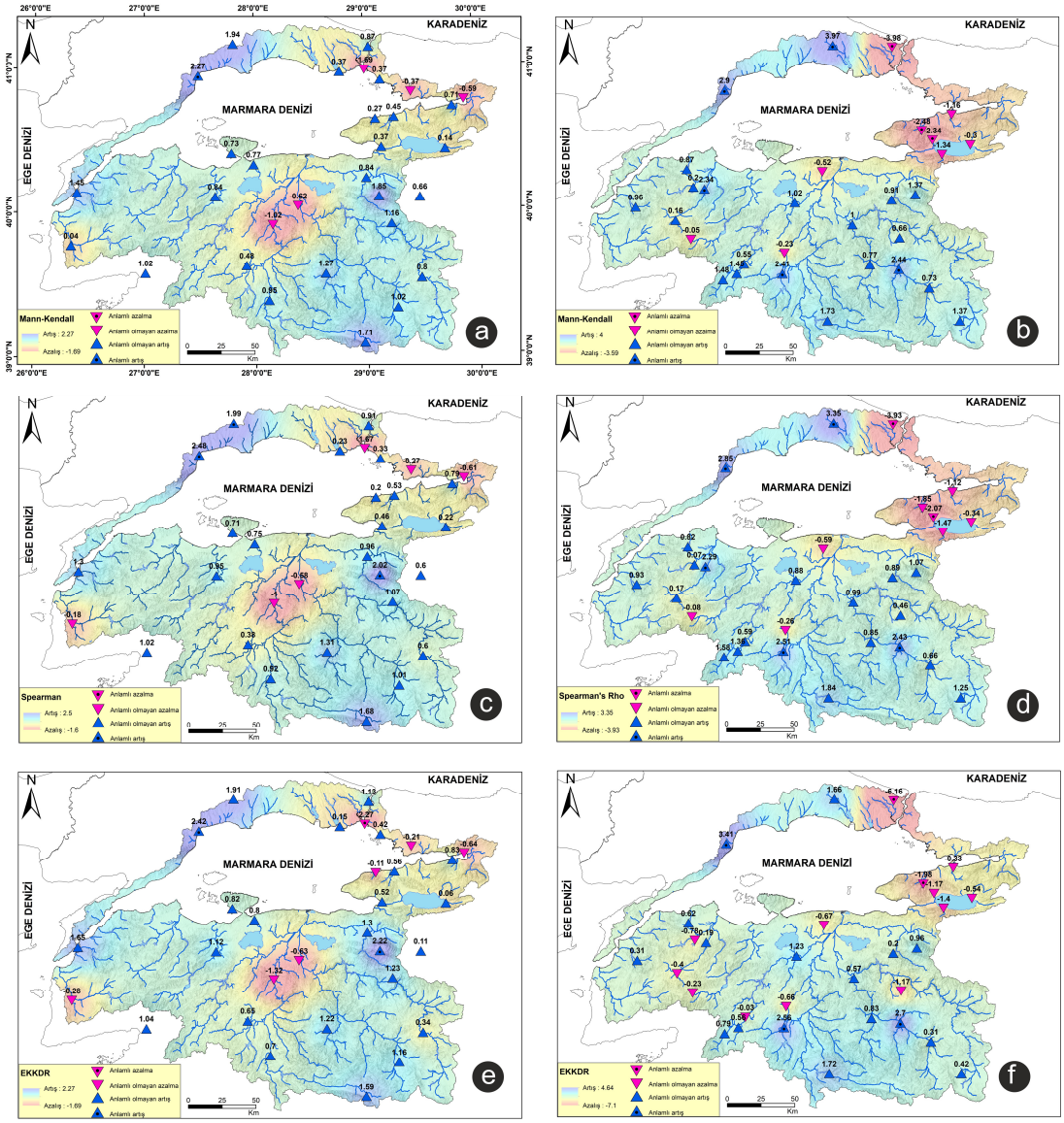
Marmara Denizi havzasında yağış istasyonlarının zaman serisi analizlerinin Sonbahar mevsimi sonuçları incelendiğinde, Mann-Kendall sonuçlarına göre 26, Sperman analizine göre 25 ve EKKDR analizine göre 24 istasyonda artış eğilimleri görülmektedir. Böylelikle yağış istasyonlarının yaklaşık olarak %80'ninde artış eğilimi vardır. Bu eğilimler içerisinde Tekirdağ (17056) ve Uludağ (17676) yağış istasyonları tüm analiz sonuçlarına göre, Çorlu (17054) istasyonu ise sadece Spearman's rho analizine göre istatistik olarak anlamlı artış eğilimi göstermektedir. Göztepe (17062) istasyonu EKKDR analizinde azalış göstermesi haricinde havza içerisinde istatistik olarak anlamlı azalma gösteren bir azalış eğilimi görülmemektedir. Öte yandan Kruskal-Wallis analizleri incelendiğinde ise buna benzer bir şekilde yağış istasyonların hem ortalamalarının hem de varyanslarının homojenliğinde istatistik olarak anlamlı bir bozulma yoktur. Var olan değişimler incelendiğine, azalışların Karamenderes havzası, Susurluk havzasının aşağı kısmı ve Marmara Denizi havzasının kuzey ile

kuzeydoğu kısmında yoğunlaştığı görülürken, diğer alanlarda ise artışların egemen olduğu görülmektedir (Şekil 15 ve 16).



Şekil 15: Sonbahar mevsimi yağış ve akışların zaman serisi analiz sonuçlarının grafikleri.

Akış değerlerinde sonbahar mevsiminde Mann-Kendall ve Spearman's rho analizine göre 21, EKKDR analizine göre ise 17 istasyonda artış görülürken geri kalan istasyonlarda azalış görülür. Işıklar Deresi-Naipköy (D02A094), Üzümcü Çayı-Küçük Bostancı (D03A021),), Emet Çayı-Gökçedağ (D03A073) tüm analizlerde, Kocabaş Çayı-Akkayrak (D02A010), Karasu Deresi-İnceğiz (D02A015) istasyonları Mann-Kendall ve Spearman's rho analizine göre istatistik olarak anlamlı artış gösterir. Molova Deresi Pirinççiköy (D02A047) tüm analizlerin sonuçlarında, Olukdere-Orhangazi (E02A013) Mann-Kendall ve Spearman's rho analizlerinde, Safran Deresi-Kurtköy (D02A077), istasyonlarında ise sadece Mann-Kendall analizine göre anlamlı azalmalar görülmektedir. Artış ve azalışların dağılışlarına bakıldığında yağış istasyonların eğilimi ile yaklaşık olarak uyum içerisinde oldukları görülür. Burada İznik ve çevresindeki tüm istasyonlar ile Marmara Denizi havzasının güneyindeki münferit birkaç istasyon ve kuzey-kuzeydoğusundaki istasyonlarda azalış eğilimleri görülürken geri kalan alanlarda ise artış eğilimleri hakimdir (Şekil 15 ve 16).

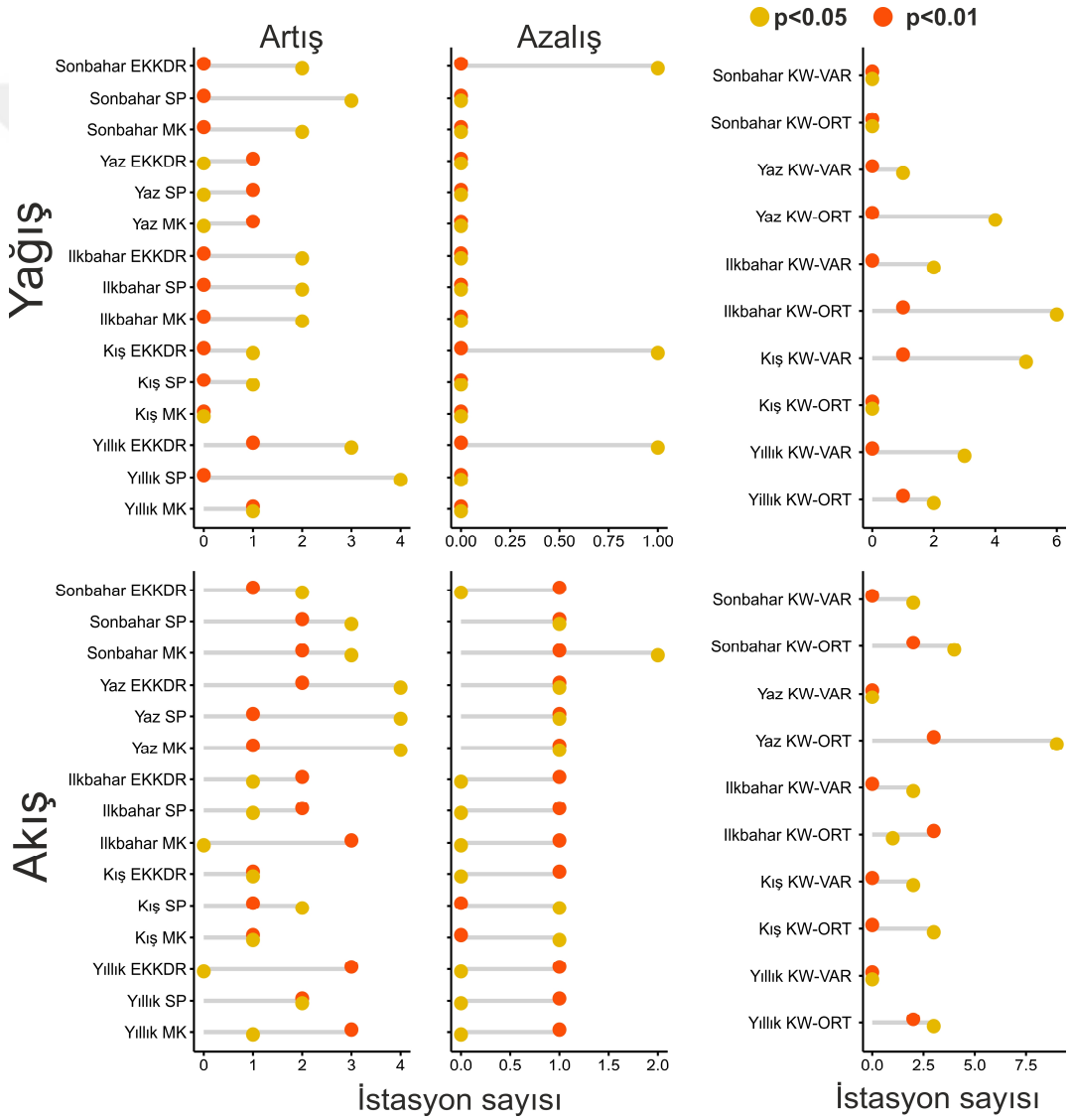


Şekil 16: Sonbahar yağışlarının (a) Mann-Kendall (c) Sperman's Rho (e) EKKDR ve akışların (b) Mann-Kendall (d) Sperman's Rho (f) EKKDR testi sonuçlarının alansal dağılışı.

1.4. Genel Değerlendirme ve Tartışma

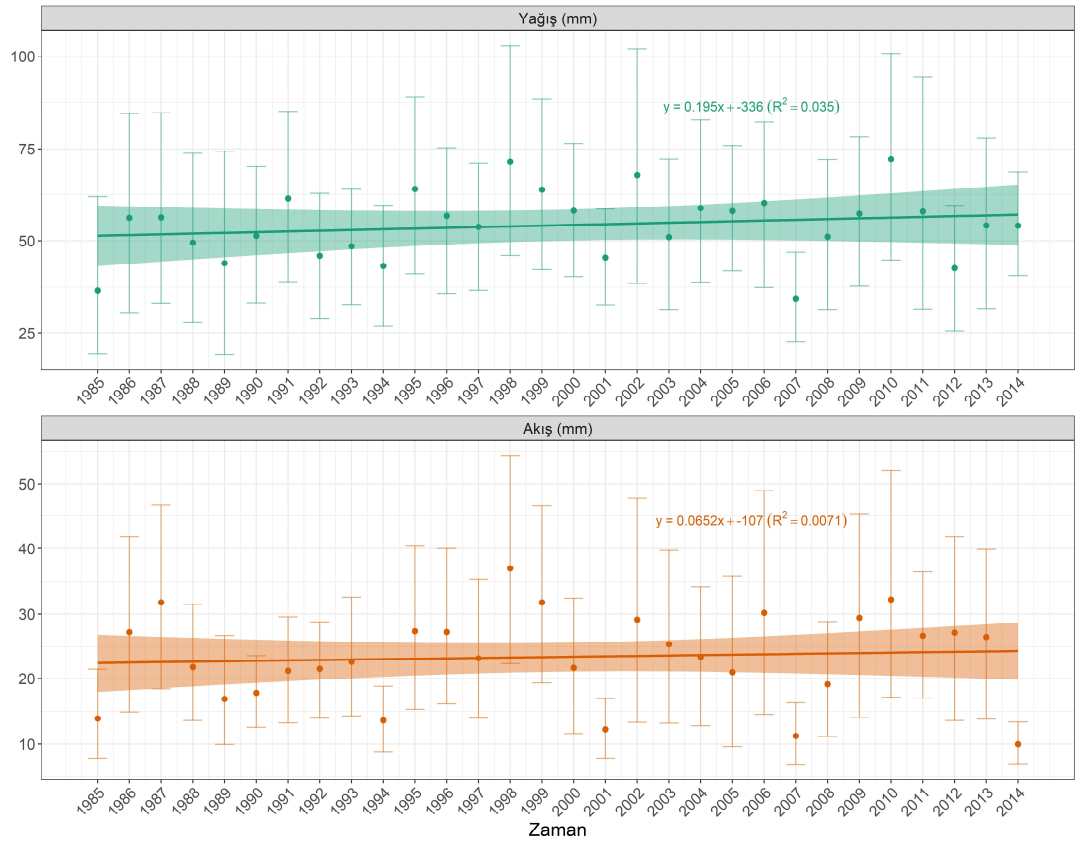
Yağış ve akış su dengesinde (biri girdi diğeri çıktı olmak üzere) iki bileşenin aynı dönem içerisindeki (1985-2014) uzun yıllar değişkenlikleri ve homojenlikleri bu kısımda birçok zaman serisi analizleri kullanılarak incelenmiştir. Buna göre su dengesi içerisindeki yağış ve akış arasındaki direkt ilişkiye bakılarak büyüklü-küçüklü tüm havzalar ile Marmara Denizi havzası karakutu sistemi olarak ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, havza içerisinde yıllık ve mevsimsel olarak hem yağış-akış

parametrelerinin birbiriyle hem de kendi içindeki azalmalar ve artışlarda hem alansal hem de zamansal uyum görülmektedir. Özellikle yağış verilerinin kendi içindeki uyumuna bakıldığında burada yıllık, sonbahar ve kış mevsimindeki artış ve azalışların alansal dağılışları birbiriyle uyum içinde olduğu görülür. İlkbahar ve yaz mevsimindeki dağılış yukarıda sayılan mevsimlerden biraz farklılaşır. Yağış ve akışta yıllık ve tüm mevsimlerdeki analiz sonuçlarına göre 1985-2014 yılları arasındaki zaman aralığında artış ve azalışlar olmakla birlikte, genel olarak Marmara Denizi havzasında hem yağış hem de akış parametresinde bir artış eğilimi belirlenmiştir (Şekil 17 ve 18) .



Şekil 17: Yağış ve akış parametrelerinin Mann-Kendall, Sperman ve EKKDR analizlerine göre anlamlı artış ve azalış gösteren ve homojenliği bozulan istasyonların sayısı.

Bu artış eğilimlerinin çoğu istatistik olarak anlamlı olmasa da istasyonların çoğunun yönü pozitif taraftadır. Bu sonuçla Hadi ve Tombul'un (2018) tüm Türkiye'deki yağış istasyonlarının analizleri üzerine yaptığı sonuçlar ile benzerlik gösterir. Anlamlı artış ve azalışların sayısına bakıldığında ise burada akış istasyonları yağış istasyonlarına oranla daha fazla değişkenlik göstermektedir. Özellikle havza içerisindeki akış istasyonlarında anlamlı artışların sayısı, azalışların sayılarına oranla daha yüksektir. Diğer yandan yağış istasyonlarına bakıldığında ise anlamlı artışların sayısı akış istasyonlarına nazaran daha fazla olmasa da, yağıştaki azalış eğilimlerine nazaran oldukça fazladır.



Şekil 18: Marmara Denizi havzasındaki yağış ve akış istasyonlarının havza ortalama değerlerinin uzun yıllar değişimleri.

Burada dikkati çeken bir konu ise Kruskal-Wallis testlerindeki değişimleridir. Hem yağışta hem de akışta anlamlı olarak homojenliklerin bozulmasında, ortalamaların homojenliklerinin bozulması dikkat çekidir. Ancak zaman serisinin bileşenlerinden sadece trend bileşeni homojenliğin bozulmasını sağlamaz. Bu sıçrama (jump) gibi bileşenleri de etkilemekle birlikte hem yıllık hem de mevsimsel analiz sonuçları incelendiğinde trend bileşeninin anlamlı olduğu istasyonlar ile homojenliklerin

bozulması arasında benzerlik görülmesi, uzun yıllar içerisinde var olan eğilim bileşenlerinin hem yağış hem de akış verilerinin ortalamasında yeni bir istatistiksel evrene doğru geçişin göstergesi olmuştur. Bu bakımdan yağış-akış ilişkisi açısından havza içerisinde hem alansal hem de zamansal (yıllık ve mevsimlik) bir uyum göstermektedir. Böylelikle, 30 yıllık zaman periyodu içerisinde alansal farklılıklar olmakla birlikte ve birçok istasyonda istatistik açıdan çok kuvvetli olmasa da su dengesinde pozitif bir gidiş göstermektedir. Bu zaman periyodu içerisinde hem yağış hem de akışın değişkenliği havzadaki tüm istasyonların ortalaması alınarak incelendiğinde, bu iki parametrenin benzer bir yıllararası değişkenlik diğer bir deyişle salınım yaptığı görülür (Şekil 18). Bu durum akış değerlerinin yılllararası değişiminin yağış değerlerini takip ettiğini belirtebilir ve iklimsel koşullardan etkilendiğini gösterebilir.

Diğer önemli bir konu ise bu çalışmada hem nonparametrik hem de parameterik testlerdeki gerek istatistik açıdan anlamlı gerekse anlamlı olmayan sonuçların birbirlerini desteklemesidir. Ancak kullanılan üç testteki bazı mevsimlerde ve yıllıklarda istatistik açıdan artış ve azalışların gösteren istasyonların sayısının birbiri ile uyuşmaması, kritik değere (%5 veya %1 anlamlılık seviyesine) yakın olmasına rağmen aşamaması ile ilgilidir. Örneğin A yağış istasyonunda Mann-Kendall analizine göre 1.98 değeri 1.96 (%5) anlamlık seviyesini geçmiş ve istatistik açıdan anlamlı değişim göstermiştir. Spearman analizine göre ise 1.95 değerinde kalmış ve istatistik açıdan anlamlı olmayan bir değişim göstermiş olduğu saptanmıştır. Bunun benzeri durumlar EKKDR analizi için de geçerlidir. Bu durumda testlerin kuvveti farklı olabilmektedir ancak aradaki farklar büyük değildir. Bu durum Yue vd. (2002) tarafından geniş bir şekilde tartışılmıştır.

Marmara Denizi havzasında insan etkisinden uzak havzalar seçilmiş ve havzadaki su dengesindeki değişikliğin trendi ortaya konulmuştur. Ancak değişkenliği kontrol eden atmosferik dinamikler nelerdir gibi başka bir soru ortaya çıkmaktadır. Sonraki bölümde bu konu üzerinde durulmuştur.

İKİNCİ BÖLÜM

MARMARA DENİZİ HAVZASINDA YAĞIŞ-AKIŞ PARAMETRELERİ ÜZERİNDE ATMOSFERİK SİRKÜLASYON VE SALINIMLARIN ETKİLERİ

2.1. Giriş

Atmosferik sirkülasyon ve uzak atmosfer salınımları (NAO, AO ve SOI) ile yağış-akış gibi hidroklimatolojik değişkenlerin alansal ve zamansal ilişkileri havza içerisindeki su dengesini kontrol eden dinamikleri ile havza su yönetimi açısından önem arz eder. Örneğin Xoplaki vd. (2004) yaptıkları çalışma ile Akdeniz üzerinde nemli dönemde yağışın %30'unun lineer olarak atmosferik sirkülasyon ile açıklanabileceğini ve Kuzey Atlantik salınımın (North Atlantic Oscillation-NAO) yağışın yıllar arası değişkenliğinde önemli bir role sahip olduklarını belirtmişlerdir. Jónsdóttir ve Uvo (2009) İzlanda'da yaptıkları çalışma ile yağış ve akış verileri üzerinde AO indisi ile yüksek korelasyonlar elde etmiş ve kış yağışları ile deniz düzeyi basıncı arasında ilişkiler elde etmişlerdir.

Atmosferik sirkülasyonun ve salınım indislerinin Türkiye'de hidroklimatolojik etkilerini araştıran birçok araştırma ayrıca gerçekleştirilmiştir (Cullen ve Demenoca, 2000; Kadıoğlu vd., 1999a; Kahya vd., 2001; Karabörk ve Kahya, 2003,2009; Karabörk vd., 2005 ve 2007; Sarış vd., 2010b; Şen vd., 2011; Sönmez ve Kömüşcü, 2011; Tatlı, 2006 ve 2007; Tatlı vd., 2004; Türkeş, 1996, 1998; Türkeş ve Erlat 2003, 2005 ve 2006; Türkeş ve Sümer, 2002a). Örneğin Türkeş ve Erlat (2003) Türkiye'deki yağış istasyonlarını kullanarak yaptıkları çalışma ile NAO indisi ile yağış arasındaki ilişkileri incelemişler ve özellikle Türkiye'nin Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgelerindeki yağış değişkenliğin NAO'nun yağış değişkenliği ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Kutiel vd. (2001) Türkiye'deki yağış istasyonları ile deniz seviyesi basıncı arasındaki ilişkileri incelemişler ve kış yağışları ile deniz seviyesi basıncı arasında ilişkiler bulmuştur. Karabörk vd. (2005) Türkiye'deki akış ve yağış verilerinin kış mevsiminde NAO tarafından etkilendiğini söylemişlerdir. Bu ve bunun gibi birçok çalışma yağış ve akış değişkenliği ile yüksek atmosfer ilişkilerini ortaya koymuştur. Kalaycı ve Kahya (2006) Türkiye'de akış verilerine PCA analizi uygulamış ve çıkan sonuçlar ile NAO ve SOI arasında korelasyonlar kurmuşlardır ve bu değişkenler ile kuvvetli ilişkiler elde etmişlerdir.

Doktora tez çalışmasının birinci bölümünde elde edilen yağış-akış değişkenliğini kontrol eden yüksek atmosfer dinamiklerinin bu parametreler üzerindeki etkilerinin araştırılması bu bölümün temel amacını oluşturmaktadır.

2.2. Veri ve Yöntem

Bu bölümde Marmara Denizi havzasında, yağış-akış parametreleri ile Kuzey Atlantik Salınımı (North Atlantic Oscillation-NAO), Atlantik Salınımı (Atlantic Oscillation-AO) ve El Nino-Güneyli Salınımı (The Southern Oscillation Index-SOI) arasındaki ilişkilere bakılmıştır. Kuzey Atlantik Salınımı, subtropikal yüksek basınç (Azorlar Yükseği) ile subpolar alçak basınç (İzlanda Alçağı) alanları arasındaki atmosferik dalgalanmalarıdır (Hurrell, 1995). NAO verisi National Center for Atmospheric Research Center'ın Climate Analysis Section Hurrel'in (1995) orijinal verisine dayanan Iceland (Reykjavik), Ponta Delgada (Azores) istasyonların verisinden (Türkeş ve Erlat, 2005), SOI verisi ise Tahiti ve Darwin arasındaki basınç verilerimin normalize edilmiş verisinden elde edilerek kullanılmıştır (https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/pci.htm). AO verisi ise NOAA'nın veri tabanından elde edilmiştir (https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/ao). NAO, AO ve SOI yağış-akış parametresinin ilişkilerinin anlamak için Pearson lineer korelasyon kullanılmıştır (Wilks, 2011). Korelasyon katsayısı %5 düzeyinde $p(<0.05)$ anlamlı çıkarsa NAO, AO ve SOI ve yağış/akış arasında istatistik olarak anlamlı bir ilişki olduğu söylenir. Bu parametreler hem yıllık hem de mevsimlik olarak aylık ölçekte su yılına göre incelenmiştir. Ancak yıllık ve mevsimlikte o yılın ve mevsimin ortalamasından ziyade o yıldaki ayların kendisi direkt olarak sıralı şekilde hesaplanmıştır.

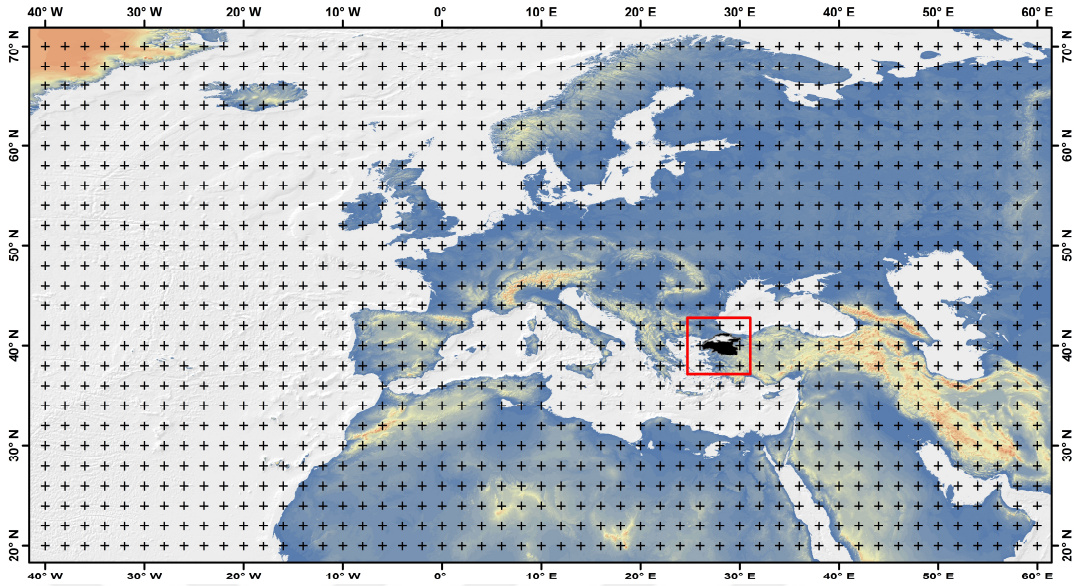
500 hPa jeopotansiyel yükseklik verisi ECMWF ERA-İnterim reanalysis (Dee et al., 2004) 2^0x2^0 aralıklı veri setinden 1980-2014 yılları arasında su yılına göre düzenlenmiştir (Şekil 19). 40B-60D boylamları ile 20-70K enlemleri arası elde edilerek bölgenin Sinoptik ölçekli hidroklimatolojisini daha iyi yansıtacak şekilde düzeltilmiştir.

Marmara Denizi havzasında bulunan yağış ve akış istasyonlarına Asal Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis-PCA) uygulanmıştır. Ancak burada analizin uygulanabilmesi için ortak yıllardan oluşan matris setinin oluşması gerekmektedir. 1970-2014 yılları içeren yağış veri seti ile ECMWF ERA-İnterim reanalysis (Dee et al., 2004) veri seti arasındaki ilişkiler kurulacağı için yağış veri setinin 1980-2014 arasındaki ortak yılları kullanılmıştır (Tablo 4).

Tablo 4: Analizlerinde kullanılan istasyonlar

İSTASYO	KOD	BOYLAM	ENLEM	AGI_NO	AKARSU	ADI	ENLEM	BOYLAM
Çorlu	17054	27.81	41.17	D02A010	Kocabaş	Akkayrak	40.1	27.12
Tekirdağ	17056	27.49	40.95	D02A030	Kocadere	Sölöz	40.23	29.25
Sarıyer	17061	29.05	41.14	D02A031	Karadere	Çakırca	40.27	29.4
Göztepe-	17062	29.01	40.98	D02A041	Yalak	Ayazma	40.4	29.3
İstanbul	17064	29.15	40.91	D02A047	Molova	Pirinççikö	41.9	28.51
Kocaeli	17066	29.91	40.76	D02A052	Çınardere	Çelikgürü	40.19	27.2
Gölcük	17067	29.8	40.72	D02A065	Sarıçay	Nişankay	40.3	26.34
Çanakkal	17112	26.39	40.14	D02A069	Kaynarca	Cihadiye	40.11	27.6
Bandırma	17114	27.99	40.33	D02A077	Safran	Kurtköy	40.34	29.13
Bursa	17116	29.01	40.23	D02A084	Kocaçay	Aşağıçav	39.49	27.5
Yalova	17119	29.27	40.65	D02A085	Kocabaş	Uzunalan	39.57	26.56
Edremit	17145	27.01	39.58	D02A089	Küçükku	Küçükku	40.28	29.7
Balıkesir	17150	27.92	39.63	D02A092	Yamander	Kapaklı	40.28	28.58
Çınarcık	17558	29.1	40.64	D02A094	Işıklar	Naipköy	40.52	27.24
Erdek	17635	27.79	40.41	D03A004	Kille	Deveciko	39.54	28.33
Florya	17636	28.78	40.97	D03A008	Madra	Kahve	39.36	27.32
Gebze	17639	29.43	40.82	D03A018	Kızık	Ağari	39.13	29.32
İznik	17661	29.73	40.42	D03A021	Üzümlü	Küçük	39.35	27.55
Gemlik	17663	29.15	40.44	D03A024	Madra	Ayaklı	39.31	27.22
İnegöl	17670	29.49	40.09	D03A034	Simav	Osmanlar	39.15	28.19
Ezine	17671	26.34	39.77	D03A038	Kırkpınarl	Uludağ	40.7	29.8
Gönen	17674	27.64	40.11	D03A049	Cuma	Cumayeri	39.49	29
M.Kemalp	17675	28.39	40.04	D03A051	Köteyli	Değirmen	39.43	27.57
Uludağ	17676	29.12	40.1	D03A052	Dursunbe	Sinderler	39.37	28.43
Keles	17695	29.23	39.91	D03A056	Sultaniye	Sultaniye	40.5	28.56
Bigadiç	17698	28.12	39.39	D03A064	Gölecik	Gölecik	40.17	28.17
Dursunbe	17700	28.63	39.57	D03A067	Mürvetler	Mürvetler	40.4	28.2
Tavşanlı	17704	29.49	39.53	D03A073	Emet	Gökçedağ	39.36	28.59
Susurluk	17705	28.16	39.91	D03A076	Karadere	Dadalar	39.34	27.31
Emet	17707	29.27	39.33	D03A082	Kocadere	Keçiler	40.18	28.11
Simav	17748	28.97	39.09	D03A084	Değirmen	Eyüpbükü	39.39	28.14
				D03A085	Yaylacık	İnegazi	40.8	28.52
				D03A086	Kocadere	Adalı	39.23	28.15
				D04A035	Kocadere	Misvak	39.39	26.27
				E02A013	Oluk Dere	Orhangazi	40.29	29.19
				E03A028	Emet	Dereli	39.27	29.15

Diğer yandan akış istasyonları içerisinden ortak yıl (matris) oluşturmak için yağıştaki değişkenlik ve homojenlik analizinde kullanılan istasyonlara birkaç istasyon eklenmiş ve buna göre 1988-2014 yıllarını kapsayan bir köşegen matris veri seti elde edilmiştir(Tablo 4).

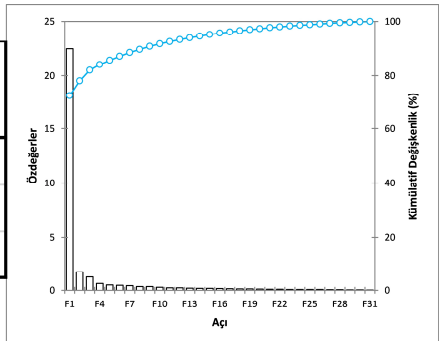


Şekil 19: 500 hPa jeopotansiyel yükseklik verisi ECMWF ERA-İnterim reanalysis verisi alansal dağılışı

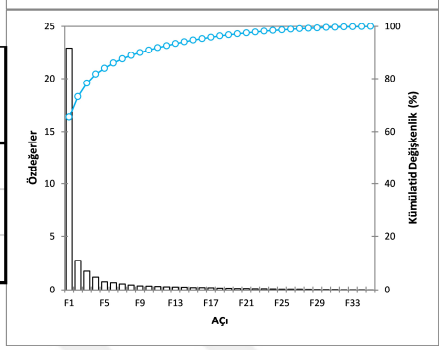
500 hPa jeopotansiyel yükseklik versi ile ortak dönemi oluşturulan yağış ve akış veri setlerine Asal Bileşenler Analizi (PCA) uygulanmıştır. Asal Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis-PCA) klimatolojik çalışmalarda ilk defa Lorentz (1956) tarafından İzlanda'nın alt bölgelerinin hidroklimatolojik karakteristiklerini belirlemek için yağış ve akış verilerine uygulanmıştır. Lorentz bunu ilk defa Emprical Orthogonal Function (EOF) analizi olarak tanıtmıştır. PCA ve EOF yaygın olarak kullanılır ve her iki isim de yöntemin uygulanışında aynı prosedürü kullanır. PCA uygulanan yağış istasyonlarında özdeğeri birin üstünde olan üç adet bileşen elde edilmiştir. Akış istasyonlarında ise dört adet bileşen bulunmuştur (Şekil 20). PCA çalışmalarında bileşen sayısının seçilmesinde iki eşik yöntem bulunur. Bunlardan birincisi özdeğeri birin üstünde olan yöntem, diğeri ise özdeğerlerin zaman serisi olarak çizilip kırılma gösterdiği yerdeki bileşen sayısı seçmedir (Wilks, 2011; Von Storch ve Zwiers, 2001). Elde edilen verilere göre akışın dördüncü bileşeninin özdeğeri ve değişkenliği açıklamada payı küçük olduğu için elimine edilmiştir ve hem yağış hem de akışta üç adet bileşenin seçilmesine karar verilmiştir. Yağışta elde edilen ilk bileşen yağışın varyansının (değişkenliğin) %72.5'ini açıklamaktadır. İkinci bileşen %5'ini üçüncü bileşen ise ≈%4'ünü açıklamaktadır. Buna göre ilk üç bileşen yağış değişkenliğinin toplamda %82'sini açıklamaktadır. Diğer taraftan akıştan elde edilen ilk bileşen akışın varyansının %65'ini açıklamaktadır. İkinci bileşen %7'sini üçüncü bileşen ise %5'ini açıklamaktadır ve akış istasyonlarının toplamda %78'sini açıklamaktadır (Şekil 20).

Hem yağış hem de akışın toplamda değişkenliği açıklama yüzdeleri, verilerin değişkenliğini yansıtmada iyi olmasının yanı sıra havzanın farklı sistemleri yansıtması açısından iyidir.

Bileşen	Özdeğer	Varyans'ın Yüzdesi(%)	Kümülatif Varyans %
PCA1	22.50	72.59	72.59
PCA2	1.70	5.48	78.07
PCA3	1.23	3.98	82.05



Bileşen	Özdeğer	Varyans'ın Yüzdesi(%)	Kümülatif Varyans %
PCA1	22.88	65.37	65.37
PCA2	2.77	7.90	73.28
PCA3	1.75	5.01	78.28



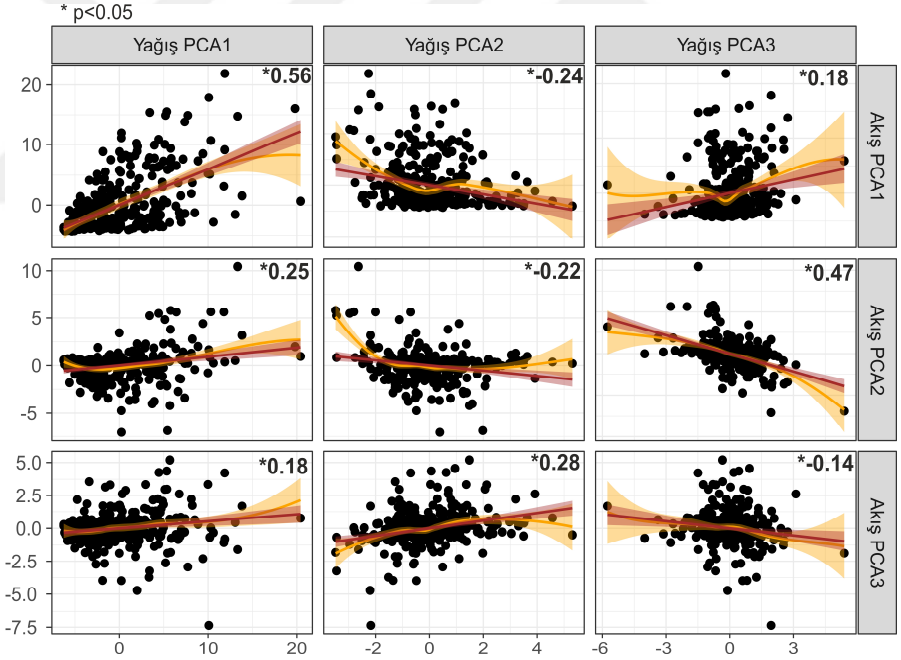
Şekil 20: Asal Bileşenler Analizi (PCA) sonucunda a) yağış b) akış için elde edilen bileşen sayısı, varyansları ve kümülatif varyanslarının yüzdeleri.

Dolayısıyla elde edilen üç adet bileşen ile hem yağış hem de akış istasyonları oldukça geniş bir veri seti kullanmak yerine, boyutları indirgenerek tüm istasyonlar tek bir zaman serisi gibi kullanılmasına hazır hale getirilmiştir. Ancak her bileşen kendi içerisinde ayrı bir sistemi yansıtmaktadır. Şöyle ki ilk bileşen hem yağış hem de akış üzerinde etkili olan daha büyük ölçekli sistemleri (genel atmosfer dolaşımı, cepheler, jet akımları) yansıtırken, bileşen sayısı arttıkça daha yerel koşullar egemen olur (Barry ve Carleton, 2001; Wilks, 2011). Bu kapsamda, çalışma gereği Marmara Denizi havzasında geniş ölçekli atmosferik sirkülasyonların etkisini incelemek ve bu tezin önermelerinden biri olan yağış-akış üzerinde atmosferik sirkülasyonların etkisi olduğunu açıklamak için Sinoptik ölçüde bilgi veren özellikle hava kütleleri ile cephelerin ve jet akımlarının yönlendirilmesinde ve sıcaklıkların üzerinde önemli etki (Türkeş, 2010; Barry ve Carleton, 2001) eden ECMWF ERA-İnterim reanalysis (Dee et al., 2004) 500 hPa jeopotansiyel yükseklik verisi ile yağış-akış bileşenlerinden elde edilen zaman serileri arasında korelasyonlar kurulmuştur. Zaman serilerinin ölçeği aylık olduğu için örneklem büyüklüğünü arttırmakta ve bu durum 0.1 mertebesindeki

oldukça düşük korelasyonlara istatistik açıdan anlamlılık vermektedir. Bu bakımdan doktora tez çalışmasında korelasyonların istatistik açıdan anlamlılık seviyelerinden ziyade desenleri (ing:pattern) üzerinde daha çok durulmuştur. Marmara Denizi havzasındaki sistemleri ayırmak ve bunun atmosferik sirkülasyon ile ilişkilerini kurmak için yağış-akış parametrelerinin 3 adet PCA bileşeninin yükleri kullanarak PCA bileşen yük haritaları çizilmiştir ve buna göre yorumlamalarda bulunulmuştur. Diğer taraftan her bir PCA bileşeninin zaman serisi ile NAO, AO ve SOI gibi uzak atmosfer salınım indisleri arasında korelasyonlar kurulmuştur.

2.3. Bulgular ve Tartışma

Hem yağış hem de akış verilerinin PCA yükleri elde edildikten sonra, bu iki değer arasındaki korelasyon katsayıları ve bu katsayıların istatistik olarak anlamlılıkları elde edilmiştir (Şekil 21).



Şekil 21: Yağış ve akış PCA yükleri arasındaki korelasyonların gösterimi (Polinom ve doğrusal eğri uydurulan verilerin etrafındaki alanlar güven aralıklarını göstermektedir).

Yağış ve akış PCA yükleri arasındaki negatif ve pozitif doğrusal ilişkilerin tümü istatistik olarak anlamlı çıkmaktadır. Yağış PCA1 ile akış PCA1 yükleri bu parametrelerin değişkenliğini en fazla açıklayan bileşen (ing: component) olma özelliğini taşımaktadır. Bu iki bileşen arasında istatistik açıdan anlamlı yaklaşık olarak 0.56'lık pozitif doğrusal ilişki bulunması, bu iki değişkenin atmosferik süreçler açısından benzer sistemlerden etkilendiğinin gösterebilir. Özellikle bu iki parametre

arasındaki ilişki diğer bileşenler içerisinden en kuvvetli olanıdır. Diğer PCA yükleri arasında yağış PCA3 ve akış PCA2 verileri arasında istatistik açıdan negatif ve anlamlı kuvvetli bir ilişki görülür. Bunun haricinde diğer veriler istatistik açıdan anlamlıdır.

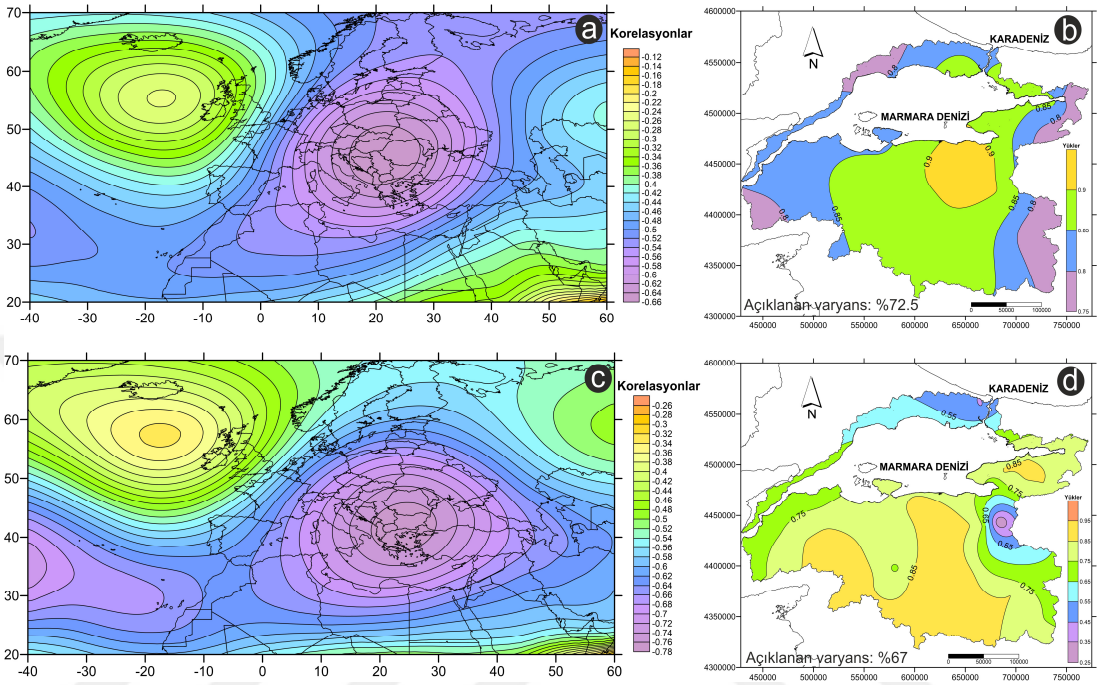
2.3.1. Üst Atmosfer (500 hPa) ile Yağış-Akış İlişkileri

2.3.1.1. Yağış-Akış PCA1 ve 500 hPa Jeopotansiyel yükseklik arasındaki İlişkilerinin Yorumlanması

Yağış-akış parametrelerinin PCA1 özdeğerleri yağış için uzun yılların toplam varyansın %72.5 ve akış için ise %65.3'nün oldukça yüksek ve önemli bir kısmını açıklamaktadır (Şekil 20). Yağış ve akışın PCA1'in elde edilen zaman serisi ile 500 hPa arasında ilişkiler incelendiğinde, alansal olarak oldukça büyük benzerliğin olduğu görülür. Ayrıca bu parametreler arasında negatif korelasyonlar egemendir. Yağış PCA1 ve 500 hPa korelasyonları incelendiğinde, özellikle İngilterenin kuzeyi ve İzlanda arasında -0.2 ile -0.4 arasında değişen negatif yönlü korelasyonların oluşturduğu bir merkez gözlemlenir. İkinci olarak -0.5 ile -0.68 arasında değişen en yüksek ve kuvvetli korelasyonlar, Orta ve Doğu Avrupa üzerindeki desenlerdir. Ayrıca Rusya civarındaki -0.4 ile -0.5 arasında korelasyonların olduğu görülen bir merkez vardır (Şekil 22). Akışın PCA1 ve 500 hPa Jeopotansiyel yükseklik arasındaki korelasyonları incelendiğinde yağışa neredeyse tamamen benzeyen bir alansal desen çıkmakla birlikte, yine yağış gibi tamamen negatif ve kuvvetli korelasyonların (0.78) hâkim olduğu görülmektedir. Ayrıca yağış-akış PCA1 yük değerleri incelendiğinde, yağışta 0.7-0.9, akışta ise 0.2-0.9 arasında değişen korelasyon katsayılarının olduğu görülür (Şekil 22d). Akış değerlerinde değişkenliğin daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu değişkenlikler aşağı yukarı uzun süreli yağış-akış hidroklimatolojisini yansıtmaktadır (Şekil 3). Bu durumda Marmara Denizi havzasındaki nemli dönemi oluşturan süreçlerin birinci PCA bileşeninde en iyi yansıtıldığı görülür.

Bu bağlamda, Türkiye'de ve Marmara Denizi havzasında nemli koşulları oluşturan sinoptik klimatolojik süreçler düşünüldüğünde, özellikle Polar cepheye bağlı olarak oluşan İzlanda soğuk çekirdekli derin alçak basıncı kaynaklı ve polar jetler önlerinde bulunan birçok orta enlem siklonlarının, jetlerin güneye doğru göç etmesi, bununla birlikte gelen mP nemli-soğuk hava kütlesi batı ve kuzeybatılı akımlarla Avrupa üzerinden gelmesinin yanı sıra (Şekil 22'de görüldüğü gibi) Akdeniz'e ulaşan mP hava

kütleleri termal modifikasyona uğrayarak nemli ve kararsız Akdeniz hava kütlesine dönüşmesi ve gelen cepheler Türkiye'nin batısına dolayısıyla da Marmara Denizi havzasına ulaştığı zaman bol yağışlı ve nemli durumlara sebep olmaktadır.

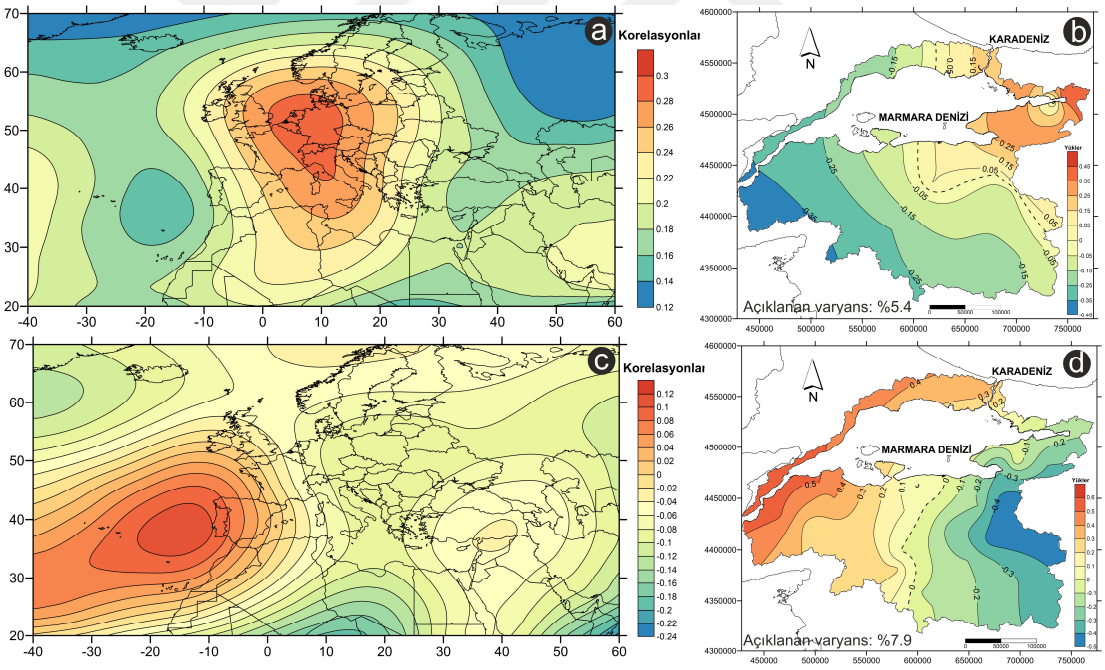


Şekil 22: a) Yağış PCA1 500 hPa korelasyonları b)yağış PCA1 yükleri c) akış PCA1 500 hPa korelasyonları d) akış PCA1 yükleri

Diğer taraftan soğuk çekirdekli sığ yüksek basınç sistemi olan Sibirya yükseğinden doğan kuzey ve kuzeydoğulu cP hava kütlelerinin de Karadeniz üzerinden geçerken termal modifikasyonlara uğraması sonucu nemli bir karakter kazanması sonucunda kararsızlaşır. Baltacı vd. (2017) yağış klimatolojisi için Automated LambWeather Types classification metodu yaptıkları ile çalışmada Marmara Bölgesinin (Marmara Denizi havzası değil) yağış miktarlarında sirkülasyon tiplerini etkilerini belirlemeye çalışmışlardır ve yaptıkları çalışmanın sonucuna göre yıllık ve kış (havza klimatolojisi için nemli-yağış getiren dönem) için yağış oluşturan temel sirkülasyon tiplerinin batılı, kuzeyli ve kuzeybatılı ve batı kısmının ise güney ve güneybatılı (Akdenizden gelen akımlar) olduklarını belirtmişlerdir. Buna göre Şekil 22'e bakıldığında hem yağış hem de akış korelasyon değerlerinin burada yüksek olması bununla ilgili olabilir. Bununla birlikte özellikle yağış-akış değerlerini kontrol eden sinoptik etkilere ek olarak Marmara Denizi havzasındaki karasallığın, kara-deniz dağılışının ve orografik etkinin de önemli parametreler olduğu söylenebilir (Şekil 22).

2.3.1.2. Yağış-Akış PCA2 ve 500 hPa Jeopotansiyel yükseklik arasındaki İlişkilerinin Yorumlanması

Yağış-akış parametrelerinin PCA2 özdeğerleri yağış için toplam varyansın %5.4 ve akış için ise %7.9'unu açıklamaktadır (Şekil 20). Hem yağış hem de akışın PCA2 bileşenlerinin zaman serileri ile 500 hPa jeopotansiyel yükseliğin zaman serileri arasındaki korelasyonlarının desenleri aşağı yukarı benzerlik sergilediği söylenebilir. PCA1 bileşeninden farklı olarak burada korelasyonların negatif yönlü olmadığı ve pozitife de geçtiği görülmektedir. Ancak akışta yine negatif korelasyonlar olmakla birlikte etki alanı çok dardır. Buna göre yağışların genel olarak korelasyon desenleri incelendiğinde iki merkez göze çarpmaktadır. Bunlardan birincisi 0.3 civarında en yüksek korelasyonun bulunduğu Orta Avrupa üzerindeki merkezdir. Diğeri ise 0.2 civarındaki korelasyon ile Ortadoğu (İran ve Irak çevresinde) üzerinde görülen merkezdir (Şekil 23 a-c).



Şekil 23: a) Yağış PCA2 500 hPa korelasyonları b)yağış PCA2 yükleri c) akış PCA2 500 hPa korelasyonları d) akış PCA2 yükleri.

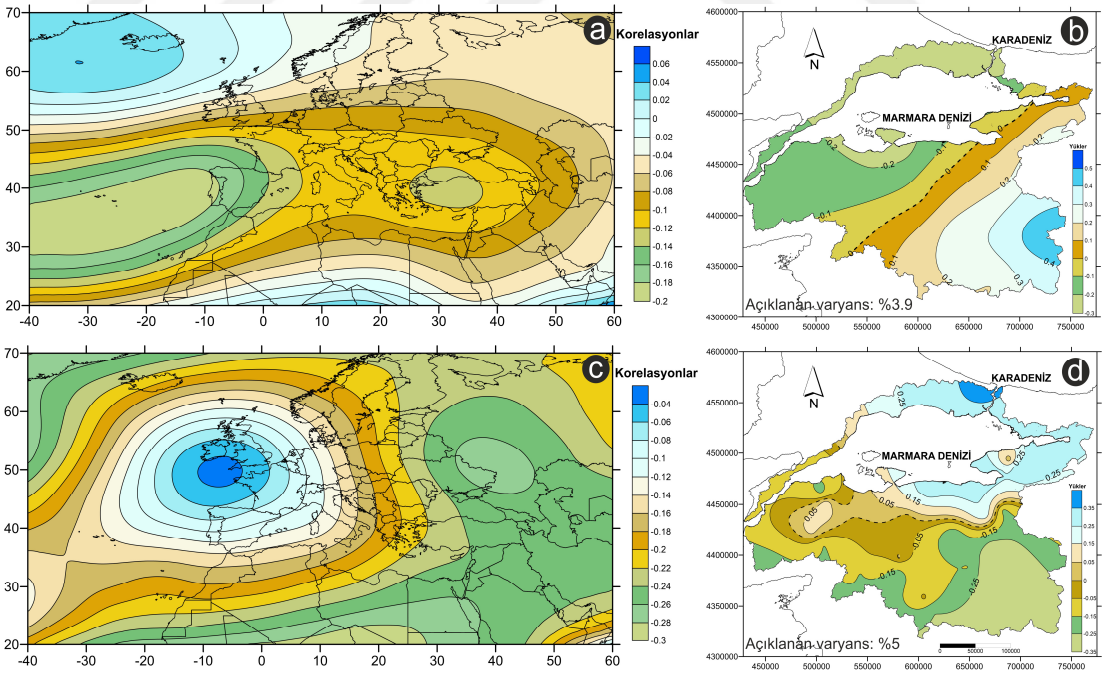
Akış korelasyonları incelendiğinde ise merkezin daha batıya kaydığı görülmektedir. En yüksek korelasyonun (0.12) bulunduğu yerler İspanya yarımadası batısınında Azorlar üzerinde bir merkez kurarken, ikinci merkezin yağışa benzer şekilde -0.04'lük bir korelasyon ile Ortadoğu çevresinde olduğu görülür. Yağış ve akışın yük değerlerine bakıldığında ise atmosferik sirkülasyon ile yükler arasındaki korelasyonun

desenine benzer şekilde havza üzerinde iki temel sistemin belirgin olarak desen sergilediği görülmektedir (Şekil 23 b-d).

Hem yağış hem de akışta (akış değerlerinde bu daha belirgin olmak üzere) doğu-batı yönlü bir desen olduğu görülür ve korelasyonlar akış değerlerinde daha yüksektir. Bu bağlamda Türkiye üzerinde ve dolayısıyla Marmara üzerinde etkili olan iki temel sıcak çekirdekli derin Azor yüksek basınç sistemi ile sıcak çekirdekli sığ alçak basınç sistemi olan Musonların etkisi olarak görülebilir. Buna göre bazen hem Muson hem de Azor alçağı, bazen bütünleşerek birleşik bir anomali oluşturabilir (Şekil 23a-c)

2.3.1.3. Yağış-Akış PCA3 ve 500 hPa Jeopotansiyel yükseklik arasındaki İlişkilerinin Yorumlanması

Yağış-akış parametrelerin PCA3 özdeğerleri yağış için toplam varyansın %3.98 ve akış için ise %5'lik bir kısmını açıklamaktadır (Şekil 20). Yağış ve akışın PCA3 bileşenlerinin zaman serileri ile 500 hPa yükseklik arasındaki korelasyonlarının desenlerine bakıldığında, önceki iki PCA'ya göre alansal desenleri biraz farklılık göstermektedir (Şekil 24).



Şekil 24: a) Yağış PCA3 500 hPa korelasyonları b)yağış PCA3 yükleri c) akış PCA3 500 hPa korelasyonları d) akış PCA3 yükleri.

Bunun dışında korelasyonlara bakıldığında önceki iki bileşene göre biraz daha düştüğü ve yüksek korelasyonlar PCA1'de olduğu gibi negatif korelasyonlarda

görülür. Buna göre yağışın üçüncü bileşeninde 0 ile -0.2 arasında değişen korelasyonlar, bir kemer gibi Atlantik üzerinde Hazar denizine kadar uzanmaktadır. Bunun üzerinde İzlanda civarında 0 ile 0.06 arasında değişen düşük korelasyonlu desenler görülmektedir (Şekil 24a). Akışın üçüncü bileşeni incelendiğinde ise İngiltere'nin güneyinden başlayıp Orta Avrupa ve Kuzey Afrika üzerinde egemen olan -0.04 ile 0.20 arasında dağılış gösteren korelasyonların olduğu görülür. Ayrıca Ortadoğu, Doğu Avrupa ve Sahra üzerinde 0.22 ile 0.28 arasında değişen bir korelasyon dağılışı vardır.

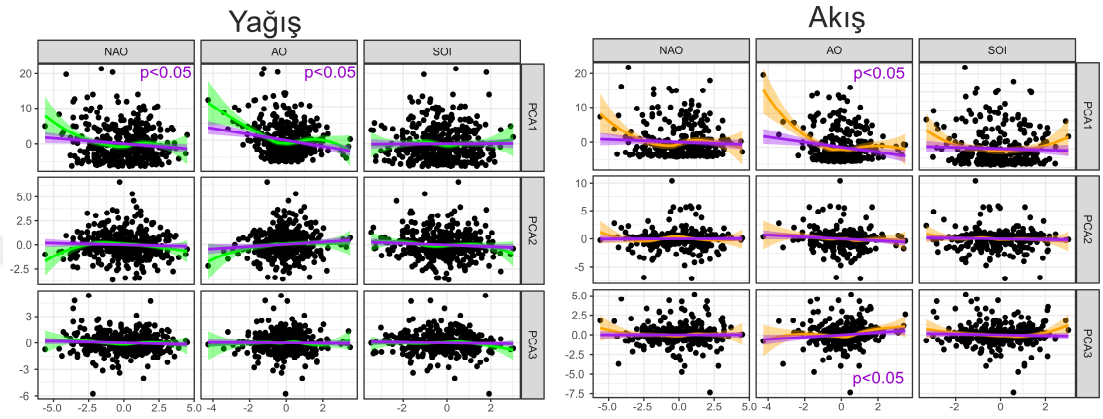
Yağış ve akışın yük bileşenleri incelendiğinde ise PCA2 deki desenden farklı olarak yağışta az belirgin olmasına karşın zonal bir desenin ortaya çıktığı görülür. Bu durum Marmara havzası üzerinde güneyli ve kuzeyli sistemler olmak üzere düşünülebilir. Bu bağlamda kuzeyli sistemler; orta enlem gezici alçak basınçlarını ve Sibirya yükseği kaynaklı ile kuzeyli hava akımlarını yansıtırken, güneyli sistemler ise Muson ve Azor alçağının etkilerini yansıtmaktadır.

2.3.2. Yağış-Akış Parametrelerinin NAO, AO ve SOI ile İlişkileri

Uzak atmosfer salınımları (ing: teleconnections) ile yağış ve akış parametrelerin asal bileşenler analizi (PCA) arasında korelasyonlar kurularak değişkenlerin yağış ve akışla nasıl bir ilişki içerisinde oldukları, birbirlerini nasıl etkiledikleri ve dolayısıyla da jeopotansiyel yükseklik sonuçları ile ilişkileri anlaşılmaya çalışılmıştır. Hem yağış hem de akış değerinin PCA zaman serileri Uzak Atmosfer Bağlantıları arasında ilişkiler yıllık ve mevsimlik olarak incelenmiştir.

Yıllık olarak elde edilen sonuçları incelendiğinde, yağış ve akış parametrelerinin uzak atmosfer salınımları ile 500 hPa jeopotansiyel yükseklik sonuçları gibi benzer bir ilişki içerisinde oldukları görülmektedir. Burada yağış verilerinin PCA zaman serileri incelediğinde özellikle PCA1, NAO ve AO arasında istatistik açıdan anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 25). Bu durum özellikle önceki başlıktaki incelenen koşullardan PCA1 ile 500 hPa jeopotansiyel yükselik arasındaki ilişkinin de bir açıklaması olabilir zira NAO'nun negatif evresi gerçekleştiğinde İzlanda alçağı kuvvetlenir ve bundan dolayı polar jet daha güneye inerek Türkiye'nin batısına dolayısıyla da Marmara Bölgesine yağış bırakır (Türkeş ve Erlat 2003, 2005). Bu bakımdan, 500 hPa ile PCA1 koşulları NAO'nun ve AO'nun negatif evresini yansıtıyor olduğu söylenebilir. NAO ve AO arasında yüksek korelasyonlar olması benzer mekanizmalardan etkilendiğini göstermektedir (Şekil 25). AO ve NAO aslında polar

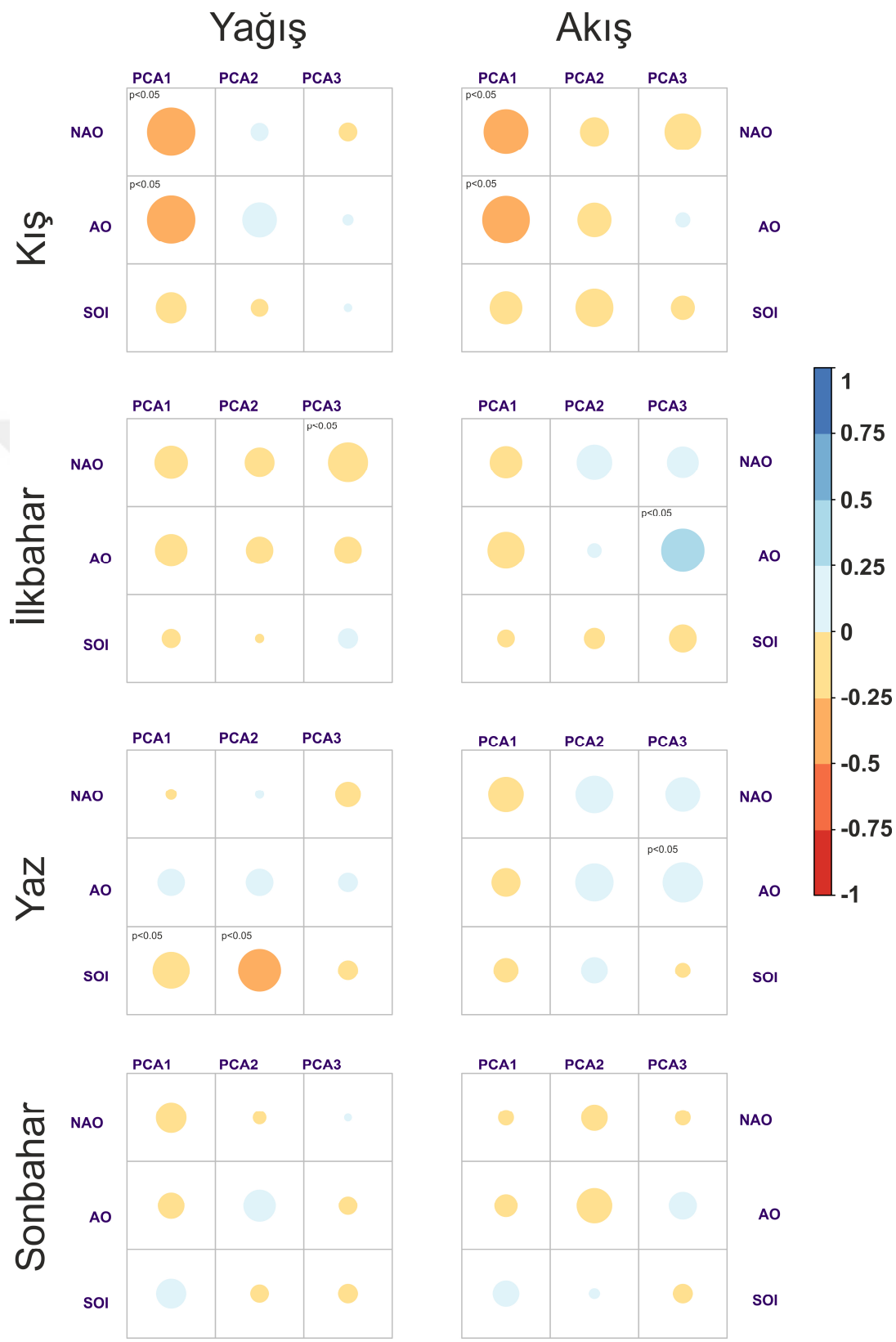
vorteks ile ilişkili olduğu ve aşağı yukarı benzer koşullardan etkilendiği için bu iki indis Rossby dalgalarının güneye inmesiyle etkilenmektedir. Ayrıca akış değerleri incelendiğinde ise burada akışın PCA1 ve PCA3 değerleri ile AO arasında ilişki olduğu görülmektedir. Bu durum hem yağışın hem de akışın kuzeyli akımlardan etkilendiğini açıkça göstermektedir.



Şekil 25: Yıllık yağış-akış PCA zaman serileri ile NAO, AO ve SOI arasında saçılım diyagramları ile korelasyonları (Polinom ve doğrusal eğri uydurulan verilerin etrafındaki alanlar güven aralıklarını göstermektedir).

Öte yandan yağış-akış parametreleri ile uzak atmosfer salınım indisleri arasındaki mevsimsel korelasyon sonuçları değişkenlik arz etmektedir. Örneğin kış mevsimi yağış ve akış PCA1 zaman serileri ile NAO ve AO arasında istatistik açıdan anlamlı korelasyonlar bulunmuştur (Şekil 26). Yağış ve akışın açıklanan varyansının büyük bir kısmını barından PCA1 ile NAO ve AO arasındaki ilişkinin olması yağış oluşturan sistemlerin kışın NAO tarafından etkilendiği birçok araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur (Kalaycı ve Kahya, 2006; Türkeş ve Erlat, 2003, 2005, 2006)

Diğer yandan bir diğer önemli ilişki ise yaz mevsiminde gözükmektedir. Bu durum Marmara Denizi havzasında yaz kuraklığının oluşmasına etkisi olmuş olabilir (Kadıoğlu vd., 1999a; Kahya vd., 2001; Karabörk vd., 2003). Yaz mevsimindeki bu ilişki güneyli salınımların Marmara Denizi havzası üzerindeki etkisini göstermektedir ki bu durum 500 hPa ve PCA2 arasındaki desen ile ilişkili olabilir. Diğer yandan Sonbahar mevsiminde yağış ve PCA zaman serileri ile uzak atmosfer salınımlar arasında herhangi bir korelasyona rastlanmamıştır. İlkbahar mevsiminde sadece AO indisi ile akış PCA3 değerleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.



Şekil 26: Mevsimlik yağış-akış PCA zaman serileri ile NAO, AO ve SOI arasındaki korelasyonlar.

2.4. Genel Değerlendirme

Bu bölümde yağış-akış üzerinde NAO, AO ve SOI gibi uzak atmosfer salınımlarının verileri ile 500 hPa jeopotansiyel yükseklik verisi kullanılarak atmosferik sirkülasyonun etkileri incelenmiştir. Bundan yola çıkarak elde edilen sonuçlara göre yağış hidroklimatolojisinin değişkenliğini etkilemesi açısından temel dinamiğin atmosferik sirkülasyonun olduğu görülmekte, akışın da yağışa benzer davranışlar sergilediği görülür. Buna göre, PCA bileşenlerinin zaman serileri ile 500 hPa jeopotansiyel yükseklik verileri incelendiğinde, yağış ve akış PCA1 zaman serilerinin toplam varyansının en fazla kısmını açıklamasıyla, Marmara Denizi'nde önemli sinoptik ölçekli sistemlerin hem yağışın hem de akışın hidroklimatolojisini yönlendirmesinde önemli bir etkisi olduğu söylenebilir. Ayrıca, yağış ve akış PCA1 zaman serileri ile NAO arasındaki ilişkiler bu olguyu desteklemektedir. Bu durum, İzlanda alçağı kaynaklı mP hava kütlesi ile orta enlem cephesel sistemleri, Akdeniz cephesel sistemleri ile Sibirya yükseği kaynaklı cP hava kütlesi yağış-akış süreçlerinin temel mekanizmaları olduğu görülmektedir. Diğer yandan, yağış ve akış PCA2 zaman serileri 500 hPa jeopotansiyel yükselik verileri arasındaki korelasyonların desenleri ise Marmara Denizi havzasındaki yağış ve akış dinamiklerinin doğu ve batılı havza sirkülasyonlarından etkilediğini göstermektedir ki buna benzer desen özellikle Türkiye'de yaz kuraklığının oluştuğu dönemde Azor yükseği ve Muson alçağından dolayı oluşur. PCA3 ise kuzey ve güneyli sistemlerin havzayı etkilediğini göstermektedir ve AO ile akış PCA3 arasındaki ilişki bunu kanıtlar niteliktedir.

Yağış ve akış PCA zaman serileri ile uzak atmosfer salınımları arasındaki yıllık ve mevsimlik analizler, havza içerisindeki su dengesinin temel girdisi olan yağışın ve çıktısı olan akışın uzak atmosfer salınımlarından özellikle NAO ve AO tarafından etkilendiğini göstermektedir. Özellikle kış mevsimindeki bu ilişki daha da belirginleşmiştir ki hem yağışta hem de akışta NAO-AO arasında istatistik olarak anlamlı negatif ilişkiler elde edilmiştir. Öte yandan yağış ve SOI arasındaki negatif ve anlamlı ilişki yaz kuraklığının bir göstergesi olabilir.

Marmara Denizi havzası içerisindeki yağış-akışın değişkenliğinin yerel koşullardan nasıl etkilendiği araştırma konusudur. Bu bakımdan bir sonraki bölümde, Marmara Denizi havzasında yağış-akış ilişkileri su dengesi ve rölyef ile ilişkilendirilip daha ayrıntılı olarak yerel koşulların etkisi temelinde incelenmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MARMARA DENİZİ HAVZASINDA YAĞIŞ-AKIŞ KOŞULLARINI ETKİLEYEN YEREL KOŞULLAR İLE HAVZANIN HİDROKLİMATOLOJİK DİNAMİKLERİNİN BELİRLENMESİ

3.1. Giriş

Havza içerisindeki yağış, akış, evaporasyon gibi hidroklimatolojik parametrelerin ve bunlardan türetilen göstergelerin karakteristiklerinin belirlenmesi, hidrolojik sistemlerin anlaşılmasına dolayısıyla da risk yönetimi, taşkın erken uyarı sistemleri ve su yönetimi açısından katkı sağlayacaktır. Günümüzde özelliklede havzanın iklimsel ve hidrolojik koşullarını yansıtan gözlem verisinin eksikliği veya verilerin bir bölgeyi tam temsil edememesi havza içi dinamiklerin anlaşılmasını zorunlu kılmıştır (Beven, 2011). Sanayi devrimi ile birlikte atmosfere salınan sera gazlarının artışı iklim parametrelerinin uzun süreli istatistiksel ve iklimsel karakteristiklerini değiştirmiştir. İklim değişikliğinin artan etkisi ile birlikte hidroklimatolojik parametrelerin alansal ve zamansal özelliklerinde artış ve azalmalar görülmüştür (Compagnucci vd., 2001; Demircan vd., 2017; Öztürk vd., 2015; Stocker vd., 2013; Şen, 2014; Turp vd., 2014). Milly vd. (2005) yaptıkları çalışma ile iklim değişikliğinin oluşturacağı etki ile 2050 yılına kadar Orta Doğu ve Güney Avrupa'da dolayısıyla da Türkiye'de akışlarda %10 ile %30 arasında bir azalmanın olabileceğini belirtmişlerdir.

Hidrolojik döngüyü, nüfusun artması ve dolayısıyla da artan nüfusun etkisi ile var olan suyun enerji, tarım ve endüstride kullanılması ve arazi kullanımının değişimi önemli ölçüde etkilemektedir. Bu bakımdan birçok çalışma, artan nüfus ile birlikte nüfusun arazi üzerinde oluşturduğu baskı ve arazi kullanımının değişiminin iklimsel parametrelere etkisinin yanı sıra yeryüzüne düşen yağışın yüzeysel akışa dönüşmesini etkilediğini belirtmişlerdir (Özdemir ve Elbaşı, 2015; Vörösmarty vd., 2000; Yang ve Tian 2009). Örneğin Müller Schmied vd. (2016) yaptıkları çalışma ile tüm dünyanın model temelli su dengesinin bileşenlerini 1901-2010 yılları arasında alansal ve zamansal açıdan ele almışlar ve elde ettikleri sonuçlara göre özellikle 20. yüzyılda su kaynakları üzerinde baraj yapımı ve su kullanımından dolayı su dengesi üzerinde insan kaynaklı etkilerini belirlemişlerdir.

Doktora tez çalışmasının bu kısmında iklim değişikliği ile alakalı çalışmalara geçilmeden önce Marmara Denizi havzasındaki gözlem verisinin mekânsal

uyumunun sorgulanarak bunun hidrolojik model için kullanılabilir olup olmamasının araştırılması amaçlanmıştır. Buna göre veri seti tekrardan oluşturulmuş ve hidrolojik model için kullanılabilir hale getirilmiştir. Bir diğer amaç ise, havzanın temel girdisi olan yağış ile çıktısı olan akış değerlerinin atmosferik koşullardan etkilendiği önceki çalışmada gösterilirken bu durumun yerelde yani birçok alt havza içinde ve topografik (rölyef) koşullar ile alansal olarak nasıl değiştiği sorgulamaktır.

3.2. Veri ve Yöntem

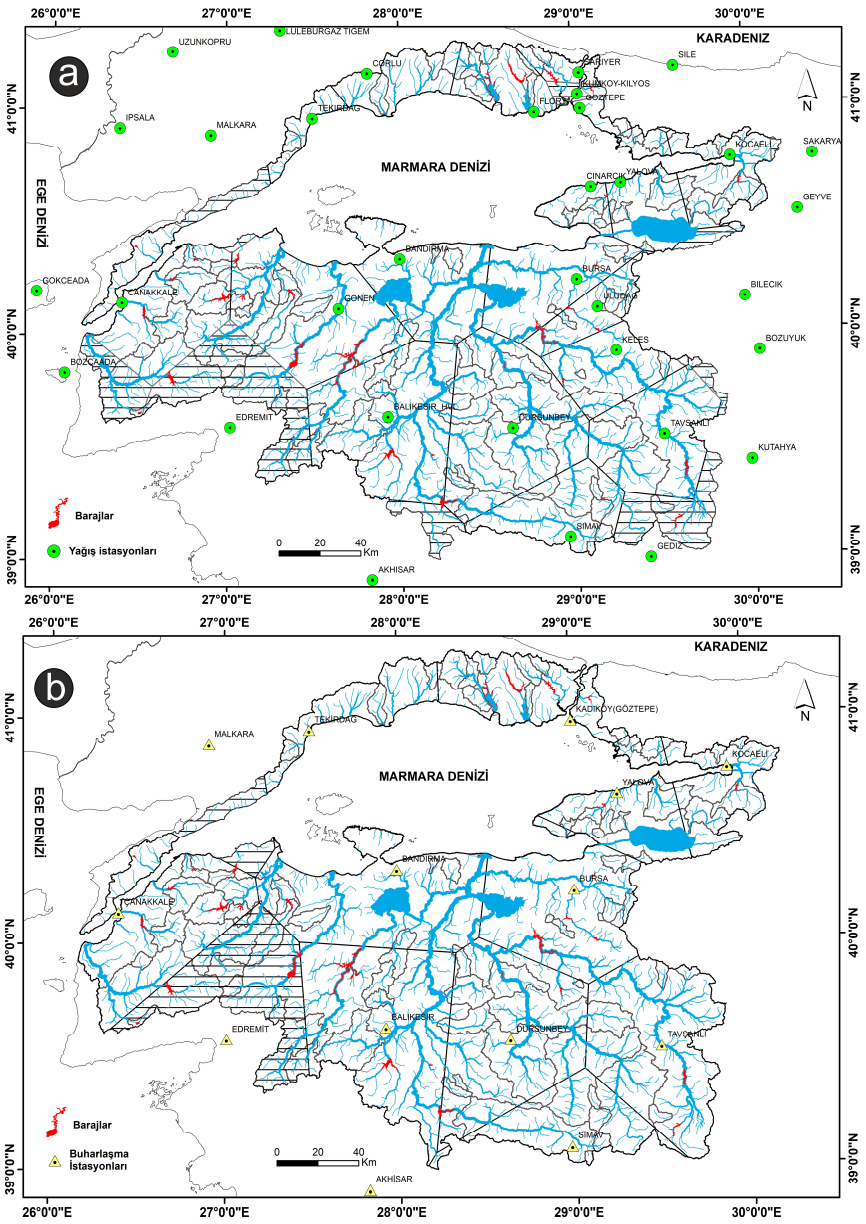
Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) ve Devlet Su İşleri'nden (DSİ) elde edilen 3 farklı veri seti kullanılmıştır. 34 meteoroloji istasyonuna ait olan aylık toplam yağış değerleri (mm) ile 14 meteoroloji istasyonuna ait aylık toplam buharlaşma (mm - Class A Pan buharlaşma havuzu) değerleri MGM'den alınmıştır (Şekil 27). DSİ'den 77 akarsu gözlem istasyonundan (AGİ) aylık toplam akış (hm^3) değerleri elde edilmiştir (Şekil 5). Diğer önemli bir konu ise noktasal bir veri olan akarsu ve buharlaşma verisinin AGİ istasyon havzalarının kapsayacak şekilde alansal olarak temsil edilmesi gereğidir. Bunun için hem yağış hem de buharlaşma istasyon değerleri, Thiessen poligon ile alansal olarak dağıtılmıştır (Şekil 27). Buna göre her bir AGİ istasyon havzası için 1982-2006 yılları arasındaki ortak dönem içerisinde bulunan akış istasyonunun veri uzunluğuna bağlı olarak (her bir AGİ havzasında akış istasyonunun verisinin dönemine göre yağış ve buharlaşma da aynı dönem içinde kullanılmıştır) akış katsayıları ve su dengesi hesaplanmıştır. Burada su dengesi havza için hesaplanırken ideal denklemdeki şekliyle ve iki varsayımla hesaplanmıştır. Buna göre su dengesi;

$$X - Y = \Delta S \qquad \text{Eşitlik 22}$$

şeklinde düşünüldüğüne ΔS uzun dönem olduğu için 0 olarak (Wilson, 1990) varsayılmış:

$$P - (E + Q) = \Delta S \qquad \text{Eşitlik 23}$$

böylelikle su dengesi yukarıdaki şekliye hesaplanmıştır. Burada P: Yağış (mm), E: Buharlaşma (mm), Q: Akış (mm) ve ΔS: Depolanan su miktarı (mm) şeklinde ifade edilebilir. Burada bir diğer varsayım ise yeraltı suyunun tekrardan yüzeylenip akarsuya kavuşmasıyla istasyon tarafından ölçülmesidir. Böylelikle de yeraltı suyu bilgisi akış verisi tarafından karşılanmaktadır.



Şekil 27: a)Yağış ve b) buharlaşma verilerinin Thiessen poligon ile alansal olarak dağıtılması (Çizgili bölgeler havza dışındaki istasyonların kapsadığı alanlarını göstermektedir.)

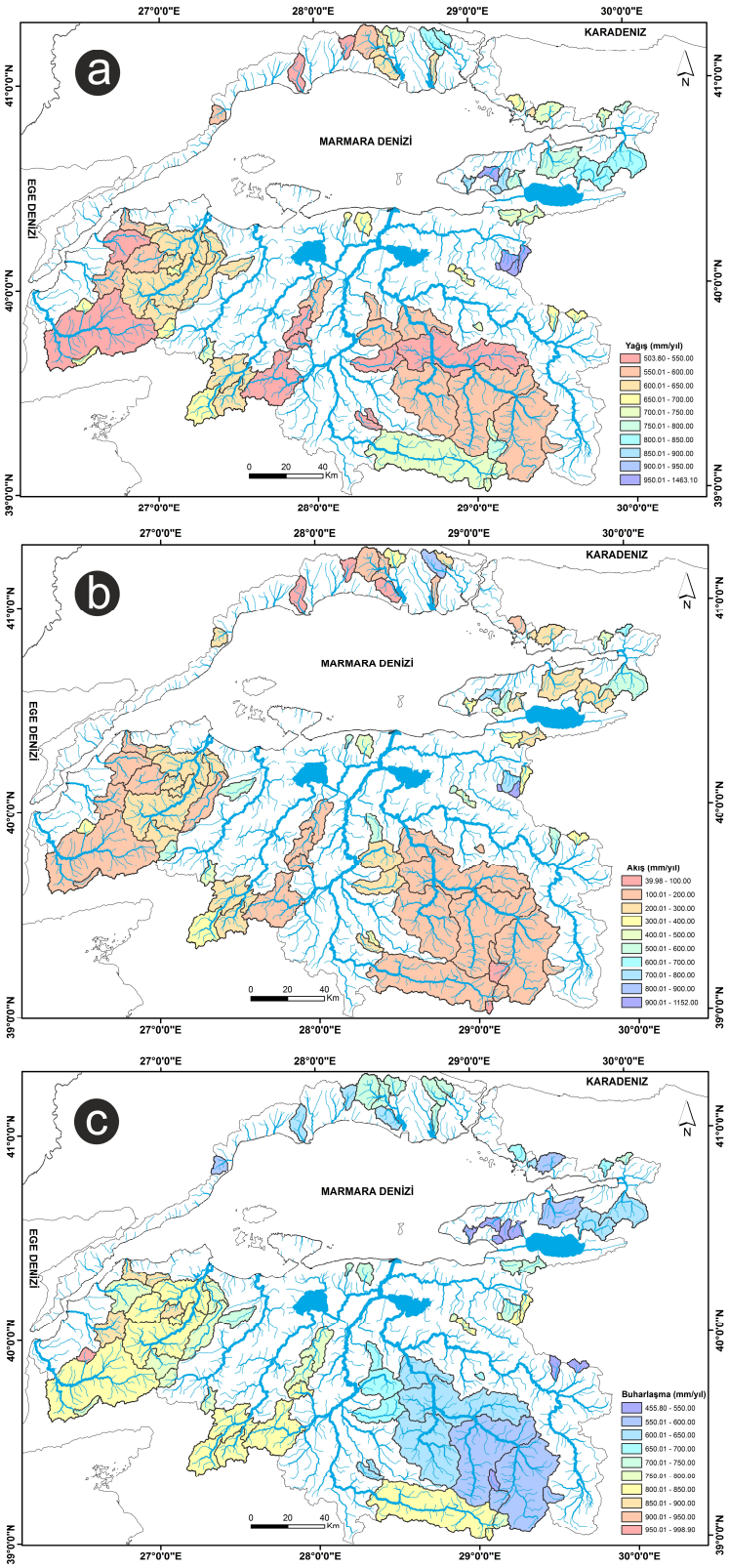
Yağış ve akış arasındaki ilişkinin anlaşılması ve diğer parametrelerle ilişkisinin kurulması için basit bir eşitlik olan akış katsayısı hesaplanmıştır. Havza içerisinde dağıtılan yağışa göre havzaların akış katsayıları (Critchley vd., 1991) aşağıdaki eşitlik ile elde edilmiştir:

$$Akış\ katsayısı = \frac{Akış\ (mm)}{Yağış\ (mm)} \qquad \text{Eşiklik 24}$$

Bu eşitliğe göre alansal olarak hesaplanan uzun yıllık ortalama akış değerleri yağış değerlerine bölünmüş ve akış katsayısı elde edilmiştir. Bir yerdeki akış katsayısının belirlenmesi için en az iki yıl bulunması şarttır. 0 ile 1 arasında değişen ve boyutsuz olan bu katsayı, bir havzada yağışın akışa geçişini gösterir. Örneğin, herhangi bir havzada 1 bulunan katsayısı yağışın tamamımın yüzeysel akışa geçtiğini gösterir. Tüm istasyonların 1982-2006 yılları arasını kapsayan zaman dilimleri içinde 2 yıldan 25 yıllara kadar değişen yağış, akış ve buharlaşma verileri yukarıda anlatılan yöntemlerin hesaplanmasında kullanılmıştır. Ayrıca bu analizlerin yanında yükseltinin değişimi ile birlikte havzalarındaki hidroklimatolojik parametrelerinin değişimini anlamak için Swath analizi yapılmıştır (Blomqvist ve Whipp, 2016). Daha sonra bu değişkenler korelasyon ve saçılım grafiği matrisi ile ilişkilendirilmiştir.

3.3. Bulgular ve Tartışma

Elde edilen analizlerin sonuçlarına göre yağış, akış, buharlaşma ve akış katsayısı ve su dengesi arasında ilişkiler kurulmuş ve çeşitli haritalar ve grafikler oluşturularak parametrelerin dağılışları gösterilmiştir. Buna göre, Marmara Denizi havzasında yağış, akış ve buharlaşma değerleri her bir alt havza içerisinde farklılıklar göstermektedir (Şekil 28). Yağışın alansal dağılışına bakıldığında özellikle Uludağ çevresindeki havzalar 950-1463 mm ile en yüksek yağış değerleri olarak Marmara Denizi havzasında yer almaktadır. Bunu İznik havzası ve çevresindeki havzalar 750-950 mm civarındaki değerler ile takip etmektedir. Küçükçekmece havzası ve batısından irili ufaklı havzalar ile Gönen, Biga ve Karamenderes Çayı havzaları ise 550-700 mm civarında yağış değerleri gösterir. Susurluk havzasına bakıldığında Uludağ ve çevresi ile Simav Çayı havzası ve etrafındaki irili ufaklı havzalar (650-750mm) dışında yağış değerleri 500-700 mm civarında değişmektedir (Şekil 28a). Akış değerlerinin alansal dağılışı yağış değerlerine göre daha az farklılaşmaktadır. Yağışa benzer şekilde Uludağ ve çevresindeki havzalar ve Molova Deresi havzası 750-1152 mm akış değeri ile Marmara Denizi havzasındaki en yüksek akış değerini gösterir. Bunu İznik Gölü havzasındaki ve Kocaeli civarındaki havzalar ve Gönen Çayı üzerindeki havzalar 300-600mm arasındaki değerler ile izler. Susurluk, Biga, Karamenderes ve kuzeyindeki havzalar ise 100-300 mm akış yüksekliği değeri gösterir. Burada en düşük değerler Büyükçekmece ve çevresindeki havzalar ile Susurluk havzasındaki birkaç havzada görülür (Şekil 28b).

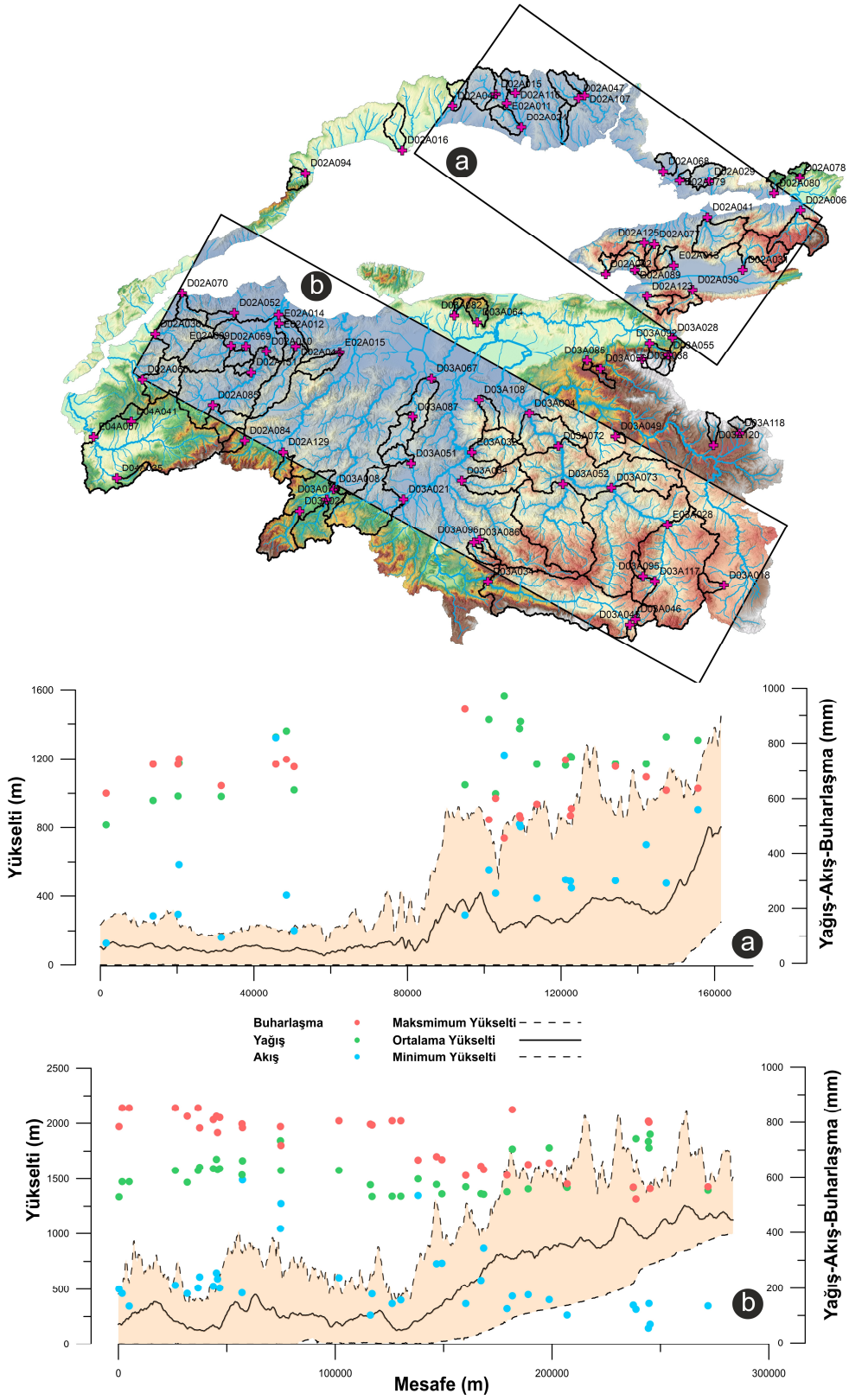


Şekil 28: Marmara Denizi havzasında a)yağış b)akış ve c)buharlaşma değerlerinin dağılışı

Buharlaşma değerleri incelendiğinde, havza içeresinde kabaca doğu-batı şeklinde ayırmak mümkündür. Özellikle Biga yarımadası ve çevresi 700-1000mm civarındaki değer aralıklarıyla en yüksek buharlaşmanın olduğu alanları gösterirken, havzanın kuzeyine ve doğusuna doğru kademeli olarak azalmaktadır (Şekil 28c). Doğu ve kuzey bölgelerinde bu değerler 450-700 mm arasında değişmektedir.

Elde edilen bu dağılış desenlerinin daha sonra topografik açıdan nasıl bir farklılaşmaya uğradığını belirlemek için Swath profili üzerinde yağış, akış ve buharlaşma değerleri ile topografyanın minimum, maksimum ve ortalama değerleri arasındaki ilişkilere bakılmıştır. Buna göre birincisi Büyükçekmece havzasından İznik havzasına olmak üzere, diğeri ise Biga havzasından Susurluk havzasına doğru neredeyse tüm havzaları yansıtacak şekilde 8 km'lik iki profil alınmıştır. Bunlardan birinci profile bakıldığında minimum, maksimum ve ortalama yükselti değerleri doğudan batıya doğru artarken buharlaşma değerleri bu değişkenlerin zıttı bir şekilde kademeli olarak azalma gösterir. Yağış ve akış değerlerinde topografyanın artışı ile birlikte hafif bir artışın olduğu görülmektedir (Şekil 29a). Diğer profilde ise önceki elde edilen profile benzer şekilde buharlaşma değerlerinin topografyayı düzgün bir şekilde izlediği ve topografyanın yükselmesiyle kademeli olarak azaldığı görülmektedir. Akış verileri de buharlaşmaya benzer şekilde göreceli olarak azalmaya uğrar. Bunun yanı sıra yağış değerlerinde ise artış azalış olsa da genel olarak düz bir ilerleyiş söz konusudur (Şekil 29b). Ancak genel olarak bakıldığında bu profillerde buharlaşma değerlerinin diğer değişkenlere oranla daha çok etkilendiği oldukça aşikârdır.

Elde edilen Swath profilleri üzerindeki havzaların yağış, akış ve buharlaşma değerleri ile minimum, maksimum ve ortalama yükselti değerleri arasında hem tüm verilerin (Cor) hem de profillerin (Profil a,b) korelasyonları elde edilmiş ve saçılım diyagramları çizilmiştir (Şekil 30). Elde edilen bu grafiğe göre yükselti ve diğer hidroklimatolojik parametreler arasında anlamlı ilişki olmasa da burada buharlaşma Swath profilinde de görüldüğü üzere negatif ve oldukça kuvvetli bir korelasyon ile öne çıkmaktadır. Bu bakımdan her ne kadar birçok denetçisi olsa da buharlaşmanın havza içerisinde topografyadan önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Bu durum Şimşek vd., 2013 tarafından da ayrıca dile getirilmiştir (Şekil 30). Fakat burada topografya ile kastedilen topografya ile birlikte rüzgâr, nem gibi birçok parametrenin değerlerinin etkilenmesi ve buharlaşma miktarına etki etmesidir.



Şekil 29: a) Küçükçekmece-İznik Gölü havzası b) Biga-Susurluk havzası arasında Swath profili çıkarımı ve yağış, akış ve buharlaşma ile ilişkileri

Örneğin Wang vd., (2015) Çin'de Three-River Source Region bölgesinde yaptıkları çalışma ile bölgede alçak ve yüksek topografya farklılığının buharlaşmayı etkilediğini belirtmişlerdir.

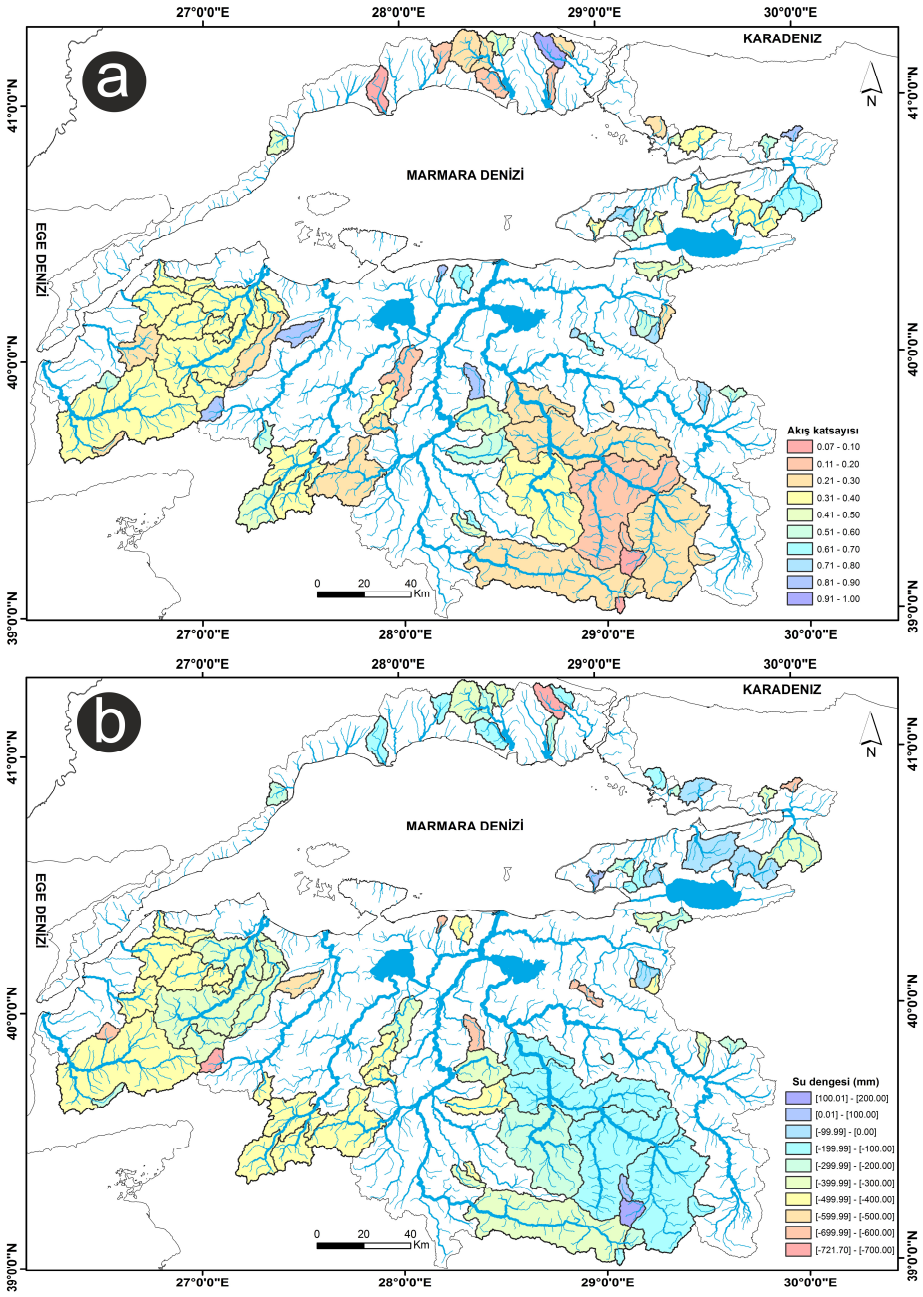


Şekil 30: Küçükçekmece-İznik Gölü havzası (Profil a) ve Biga-Susurluk havzası (Profil b) arasında Swath profillerinin minimum, maksimum ve ortalama yükselti değerlerinin profil üzerindeki yağış, akış ve buharlaşma verileri ile saçılım diyagramları ve korelasyon.

Buharlaşmayı alçak yükseltilerde net radyasyon ve rüzgârın etkilemiş olabileceğini belirtirken yüksek alanlarda ise sıcaklıktan ve aktüel buhar basıncından etkilenmiş olabileceğinden bahsetmişlerdir. Bu bakımdan Marmara Denizi havzasında bu durum sıcaklığın düşmesi ile ilişki olabilir. Çünkü Clausisu-Clapeyron eşitliği, buharlaşmanın (buhar basıncı) sıcaklığın bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Bu bakımdan topografyanın kademeli geçişi ile birlikte sıcaklığın düşüşü buharlaşmanın da (her ne kadar rüzgâr, radyasyon, buhar basıncı ve nemlilik etkili olsa da buharlaşmanın alansal dağılışı pan buharlaşma üzerinden elde edilip referans buharlaşmaya çevrildiği için bu değişkenlerde ayrıca göz önünde bulundurulmuş sayılmaktadır (Allen vd., 1998) azalmasına katkı sağladığı söylenebilir. Ancak bu durum akış ve yağış için söylenemez. Zira, akış değerleri yağışın bir fonksiyonudur ve yağış her ne kadar

topografik bariyerden etkilense de oldukça kompleks ve kaotik bir yapıya sahiptir (Tatlı, 2014)

Marmara Denizi havzası için akış katsayısı ve su dengesi hesaplamaları yapılmıştır (Şekil 31). Buna göre akış katsayısının dağılışı incelendiğinde Biga havzası ile Karamenderes havzalarında 0.20 ile 0.4'lük akış katsayısının dağılışı gözükmektedir.

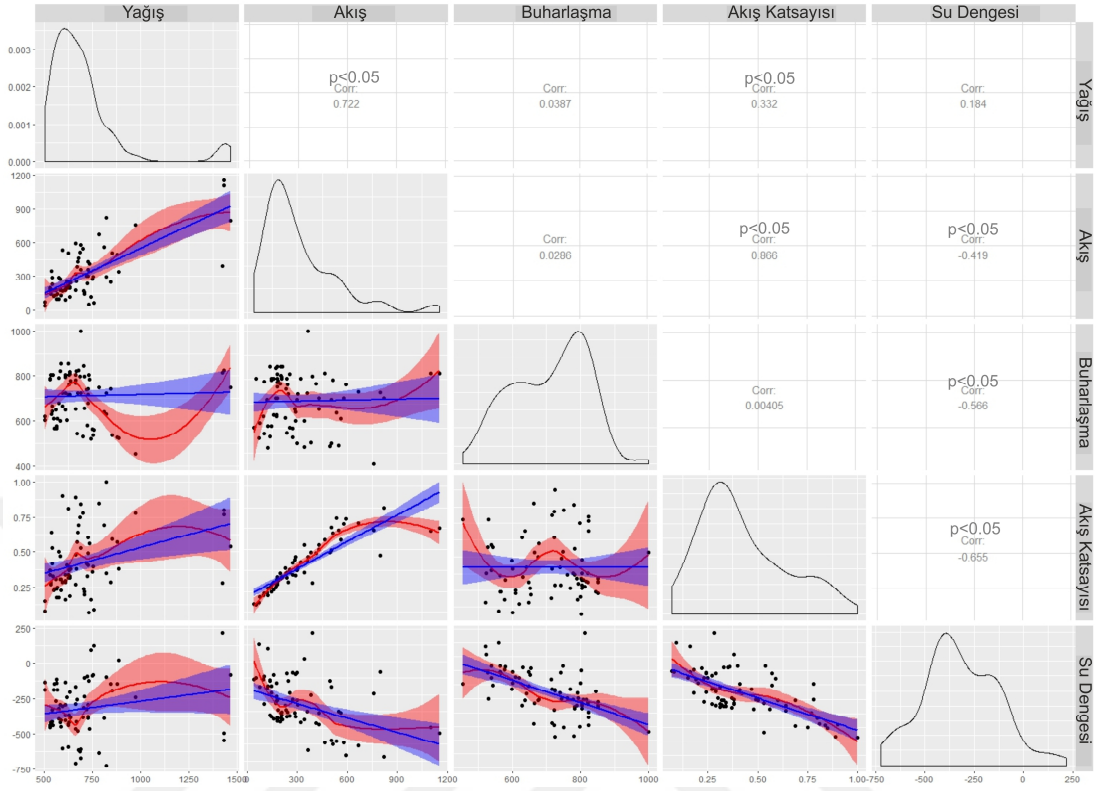


Şekil 31: Marmara denizi havzasında akış katsayılarının (a) ve su dengesi (b) detaylandırılmış dağılış haritası.

Buna benzer dağılış Susurluk havzasının Emet kolu üzerindeki alt havzalarda da görülmektedir. Ancak Susurluk'un Madra Çayı üzerindeki alt havzalar ile Simav Çayının belli başlı havzalarında ve Gönen Çayı havzası üzerindeki havzalarda 0.3 ile 0.8 arasında değişen bir dağılış görülmektedir. Uludağ ve İznik havzası civarındaki irili ufaklı havzalar, akış katsayının yüksek olduğu alanları temsil ederken, Molova Deresi haricinde Marmara Denizi havzasının kuzeyinde düşük akış katsayıları görülmektedir. Marmara Denizi havzasının üzerindeki tüm havzaların akış katsayılarının ortalaması yaklaşık olarak 0.42'dir (Şekil 31a). Bu durum her ne kadar farklı alansal dağılış olsa da havza üzerine düşen 1 birim yağışın neredeyse yarısının akışa dönüştüğünü göstermektedir. Diğer yandan havzaların su dengesi hesaplamalarından sonra elde edilen dağılışına bakıldığında ise Biga yarımadası ve çevresi en yüksek su açığının olduğu alanlara denk gelmektedir. Ayrıca Susurluk havzasının batısındaki alanlarda ise benzer şekilde su dengesinin açık verdiği ancak doğusuna doğru ilerledikçe bunun azaldığı görülür.

Diğer yandan Marmara Denizi havzasının kuzeyinden Molova Deresi havzası haricinde su bütçesi görece olarak daha az açık verdiği alanlara karşılık gelmektedir. Su bütçesinin dağılışı bir bakımdan buharlaşma verisinin dağılışını yansıtmaktadır (Şekil 30c ve 31b). Yapılan bu analizler sonucu Marmara Denizi havzasındaki tüm AGİ temelli su toplama havzalarının hidroklimatolojik değişkenlerinin alansal dağılışlarının yanı sıra birbiriyle olan ilişkilerine bakmak için korelasyon ve saçılma diyagramı matrisi oluşturulmuştur (Şekil 32).

Ölçülmüş ve türetilmiş veriler arasında saçılma diyagramlarında kullanılmasının sebebi hem bu veriler arasında ilişkiyi görebilmek hem de bu gösterge verilerde yağış, akış ve buharlaşma gibi hangi bileşenin etkisinin ne kadar olduğunu belirleyebilmektir. Buna göre yağış ve akış değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı ($p<0.05$) kuvvetli doğrusal bir ilişki olduğu görülür. Ancak yağış ve akış arasındaki saçılım diyagramındaki ekstrem veriler ise Uludağ ve civarındaki ve Molova Deresindeki yüksek akışlardan kaynaklanır. Bunun yanı sıra yağış ve akış katsayısı arasındaki çok kuvvetli bir doğrusal ilişki olmasa da istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmasına karşın akış ile akış katsayısının arasındaki ilişki oldukça kuvvetlidir. Diğer yandan akış, buharlaşma ve akış katsayısı ile su dengesi arasında istatistiksel açıdan anlamlı negatif doğrusal ilişkiler göze çarpmaktadır (Şekil 32).



Şekil 32: Yağış, akış, buharlaşma, akış katsayısı ve su dengesi değişkenlerinin saçılım diyagramları ve korelasyon katsayıları (Polinom ve doğrusal eğri uydurulan verilerin etrafındaki alanlar güven aralıklarını göstermektedir).

3.4. Genel Değerlendirme

Yapılan bu çalışmada Marmara Denizi havzasındaki yağış, akış, buharlaşma, akış katsayısı ve su dengesi gibi değişkenlerin birbiriyle ilişkileri ele alınmış ve alansal dağılışları incelenmiştir. Thiessen poligonları kullanılarak yağış ve buharlaşma alansal veriye dönüştürülmüştür. Bu yöntem aniden yükselen topografyada eğer iyi bir gözlem verisi yoksa bazen dağılışı göz ardı etmektedir ancak havza içerisinde ani olarak topografya yükselmesi sadece Uludağ civarında gözükür. Fakat bu alan Uludağ istasyonu ile temsil edilir ve diğer alanlar kademeli olarak yükselir. Ayrıca, topografya ile yağış, akış ve buharlaşma arasındaki ilişkilere bakıldığında yüksek topografyaya doğru geçişle buharlaşmanın azalması dikkat çekicidir ki, su dengesinin görece olarak düşük olduğu yerler bu alanlara denk gelmektedir. Ayrıca, Marmara Denizi havzasının batısında özellikle Biga yarımadası ve çevresindeki tüm havzalar su dengesinin görece olarak düşük ve su noksanlığının en yüksek yaşandığı alanların başında gelmekle birlikte, neredeyse havzanın tamamında bir negatif su dengesi göze çarpmaktadır. Saçılım diyagramları da incelendiğinde su dengesi buharlaşma,

akış ve akış katsayısı arasında negatif ilişki gösterir. Bu durum Marmara Denizi havzasında temel denetçinin buharlaşma olduğu ve havzaların su dengelerinin oluşmasında buharlaşmanın egemen olduğunu göstermekle birlikte topografyanın net radyasyon, rüzgâr, su buharı ve sıcaklık gibi buharlaşmanın önemli denetçilerini etkileyerek alansal olarak farklılaşmasını sağladığı söylenebilir. Öte yandan su dengesi ve akış katsayısı arasındaki ilişki net bir şekilde göstermektedir ki su dengesinde açık veren alanlarda akış değerleri yüksek olsa da yüksek buharlaşmadan kaynaklı su bütçesi negatif vermektedir.

Havza içerisindeki yağış ve akış arasında yüksek korelasyon varlığı ile birlikte havzanın bütünündeki tüm alt havzaların akış katsayısının 0.42 olması, yağış ve akış arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğunu göstermekle birlikte bunun alansal olarak dağılışına bakıldığında farklılıklar gözükmektedir. Özellikle Türkiye'nin en önemli ve en yoğun nüfuslu olduğu İstanbul ve civarındaki havzalar incelendiğinde Molova (Alibey Barajının olduğu havza) haricinde akış katsayıları oldukça düşük çıkmaktadır.

Diğer yandan elde edilen sonuçlar göstermektedir ki veriler arasında alansal açıdan uyum vardır. Burada Uludağ ve civarında birkaç ekstrem durum olmakla birlikte bu veri yapısından kaynaklı değil topografik etkiden dolayıdır. Elde edilen sonuçlar, verilerin güvenirliliği ve kullanılabilirliğinin yüksek ve ayrıca hidrolojik model için girdi olmaya müsait olduğunu göstermektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SUSURLUK HAVZASI ÖRNEĞİNDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU DENGESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

4.1. Giriş

Atmosfere salınan çeşitli sera gazlarıyla birlikte artan pozitif ışınımsal zorlama sonucu dünya atmosferinde küresel olarak sıcaklığın artmasıyla iklimin birçok parametresinin ve hidrolojik döngünün birçok alt bileşeninin alansal ve zamansal ölçekte etkileneceği öngörülmektedir. (Hagemann vd., 2013; Stocker vd., 2013). Özellikle iklim değişikliği ile birlikte hidrolojik döngüdeki birçok parametrenin sıklığında ve frekansında değişikliğin olması birçok doğal afetin yanı sıra su yönetimi açısından farklı problemler ortaya çıkarmakta ve nüfusun artışıyla birlikte su kıtlığına dönüşmektedir (Alfieri vd., 2015; Kundzewicz vd., 2008; Müller Schmied vd., 2016; Vörösmarty vd., 2000, 2005, 2010). Örneğin, Bozkurt ve Şen (2013) Türkiye'nin sınırları içerisinde olan Fırat ve Dicle havzasında iklim değişikliğinden dolayı birçok senaryoya göre havza içerisinde istatistiksel açıdan anlamlı bir şekilde kar-su eşdeğeri, yüzeysel akış ve kış yağışlarında azalmalar elde etmiş ve yüzeysel akış açısından havza içinde bulunan ülkelerden biri olan Türkiye'nin durumunun bu konuda hassas olduğunu ifade etmişlerdir. Cüceoğlu vd. (2018) yaptıkları çalışma ile İstanbul'un nüfusundan kaynaklı hem İstanbul'da hem çevresinde bulunan havzaların su potansiyelleri hesaplamışlar hem de şehrin Asya tarafının Avrupa tarafına oranla su potansiyelinin daha fazla olduğunu söylemişlerdir.

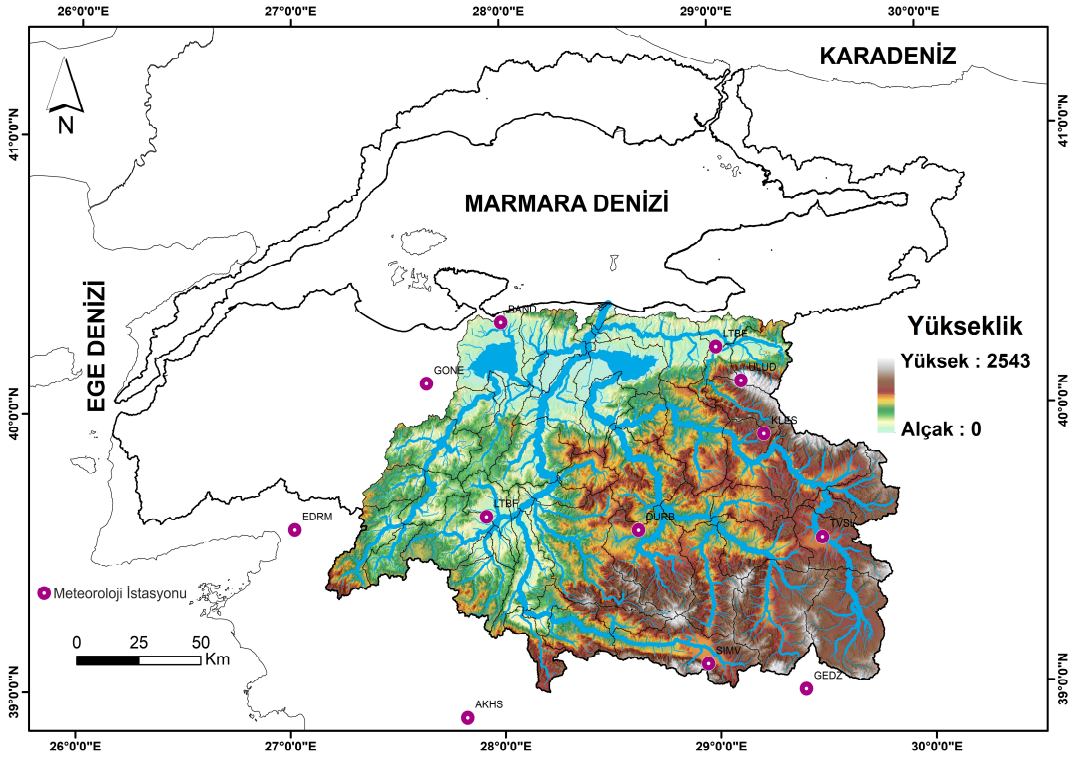
Özellikle CGM (General Circulation Model) veya RegCM (Regional Climate Model) çıktı verilerinin yağış-akış modellerine girdi olarak kullanılması ve iklim değişikliğinin hidrolojik süreçler üzerindeki etkilerinin anlaşılması önemli bir çalışma konusu olmuştur (Chattopadhyay ve Jha, 2016; Stehr vd., 2008; Zeng vd., 2012). Örneğin Bucak vd. (2017) Beyşehir gölünde arazi kullanımı ve iklim değişikliğinin gölün seviye değişiklilerine etkisini anlayabilmek için göl seviyesi ile SWAT modelinin hidrolojik çıktıları arasında istatistik modelleme yaparak gölün gelecekte kuruma riski ile karşı karşıya kaldığını ortaya koymuşlardır.

Doktora tez çalışmasının bu kısmında, Marmara Denizi üzerinde iklim değişikliğinin hidrolojik döngüdeki veya su dengesi parametreleri üzerindeki etkisini anlamak için %57'lik oranıyla Marmara Denizi havzasının neredeyse üçte ikisini kapsayan

Susurluk havzası pilot havza olarak seçilmiştir. Susurluk havzasında Nilüfer çayında dağlık iklimin etkisi haricinde, Marmara Denizi havzasına benzer şekilde genel olarak Akdeniz iklimini yansıtmakta (Peel vd., 2007) ve bu durum tüm havzaların iklim değişikliğine etkisini ortaya koymaktadır. Böylelikle, bu kısımda iklim değişikliğinin Susurluk havzası örneğiyle Marmara Denizi havzasındaki su dengesi parametreleri üzerindeki etkilerini, değişimlerini ve değişkenliklerini ortaya koymak amaçlanmıştır.

4.2. Çalışma Alanı

Marmara Denizi drenaj havzasının güneyinde bulunan Susurluk havzası, Mustafakemalpaşa Çayı, Kocaçay, Nilüfer Çayı ve Simav çayı gibi büyük akarsular ile Uluabat ve Manyas göllerini kapsamaktadır. Ayrıca Balıkesir, Bursa ve Kütahya'nın önemli ilçeleri gibi yoğun nüfus içeren şehirler Susurluk havzası sınırı içerisinde bulunmaktadır (Şekil 33).



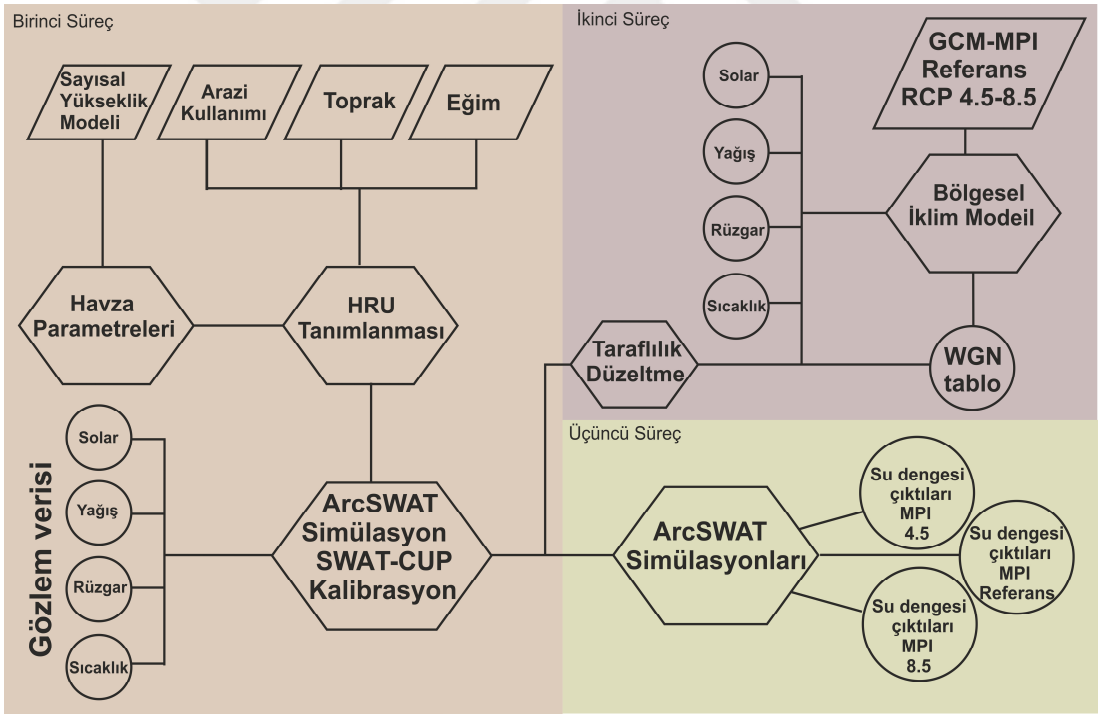
Şekil 33: Susurluk havzasının lokasyon haritası.

Su toplama veya yağış toplama alanı yaklaşık olarak 22,339 km^2 olup havzanın yıllık ortalama akışı ise 5,43 km^3'tür (Ayaz, 2010). Susurluk havzasına Köppen iklim sınıflandırmasına göre Ilıman yada kışları ılıman nemli orta enlem ana iklimi olan "C" grubu veya diğer bir deyişle tipik Akdeniz iklimi içeresinde yer alır. Ana iklim grubunun

altında alt iklim olarak ise sıcak yaz ile karakterize olan Csa ve serin yaz ile karakterize olan Csb olarak yer almaktadır. Ayrıca, Uludağ yöresi civarı ise dağlık alandan dolayı soğuk yada kışları soğuk nemli orta enlem iklimi olan “D” grubunun Dsb grubunda yer almaktadır (Öztürk vd., 2017; Peel vd, 2007).

4.3. Veri ve Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde yağış-akış ilişkileri üzerinde iklim değişikliğinin etkileri anlamak amacıyla yağış-akış ve iklim modelleri kullanılarak nicelleştirilmesi ve su yönetimi açısından kullanılması temelinde bir metodoloji ile gidilmiştir. Bunun için Marmara Denizi havzasının büyük bir kısmını içeren Susurluk alt havzası seçilmiştir (Şekil 33). Seçilen Susurluk havzasının içerisinde iklim değişikliğinin etkisini anlamak için RegCM4.4 bölgesel iklim modeli kullanılmıştır. Bu modelden elde edilen veri seti, Susurluk havzasında SWAT (Soil and Water Assesment) yağış-akış modeli için girdi verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 34: Yağış-akış modelinin akış diyagramı.

Ancak çalışmanın metodolojisi gereği havzanın önce gözlem verisi ile kalibre edilmesi gerekmektedir. Bunun için modelde önce havzanın fiziksel özellikleri elde edilmiştir (Arazi kullanımı, toprak ve eğim kullanılarak Hidrolojik Tepki Birimi (Hydrological Response Unit-HRU’nun elde edilmesi)). Daha sonra Susurluk havzası ve çevresinde bulunan meteorolojik gözlem istasyonları kullanılarak havzanın akış istasyonları ile

kalibrasyonları yapılmıştır. İklim modelinin tarihsel (referans) ve projeksiyon (gelecek) verileri kullanılmadan önce havza ve çevresinde istasyon verileri kullanılarak taraflılık (ing: Bias) kontrolü yapılmıştır. Daha sonra SWAT model ve bölgesel iklim modelinden elde edilen veriler ile model çalıştırılıp su dengesi parametreleri ile gösterge elemanların verileri elde edilmiştir (Sekil 34).

Modele ait veri seti ve bunun özellikleri sonraki kısımlarda daha geniş bir şekilde açıklanmıştır. Veri altyapısı Marmara Denizi havzasının tümü için açıklanmakla birlikte modellemenin yapıldığı Susurluk havzasına ait kısmı tüm Marmara Denizi havzası altyapısından çekilip kullanılmıştır.

4.3.1. SWAT Yağış-Akış Modeli

Marmara Denizi havzası içinde bulunan Susurluk havzasında iklim değişikliğinin alt havzalardaki su dengesi parametreleri ve dolayısıyla da akış üzerindeki etkilerini ve oluşacak değişimlerini incelemek için USDA Agriculture Research Service (ARS) ve Agricultural Experiment Station in Temple, Texas tarafından geliştiren SWAT (Soil and Water Assessment Tool) yağış-akış modelinin ara yüzü olan ArcSWAT modeli kullanılmıştır (Arnold vd. 1998, 2012). SWAT arazi kullanımı uygulamalarının su, sediment ve tarımsal etkiler üzerindeki etkilerini, değişen uzun dönemli arazi kullanımını, toprak ve yönetim koşullarını göz önüne katarak evapotranspirasyon, bitki büyümesi, infiltrasyon, akış (yüzeysel ve lateral), erozyon gibi parametrelerin simülasyonlarını kullanarak hesaplayan havza ölçekli modeldir.

SWAT yarı-dağıtımlı (semi-distrubited) fiziksel temelli bir modeldir. Bir havza boyunca girdi ve çıktılardan oluşan veri setinin istatistiksel olarak modellenmesinden ziyade model havza içerisindeki topografik (jeomorfometrik özellikler), vejetasyon, iklim verilerine ihtiyaç duymaktadır. Böylelikle verisi olmayan (ungauged) havzaların girdi parametreleriyle ilişkili su, akış ve sediment vb. parametreler modellenebilmektedir.

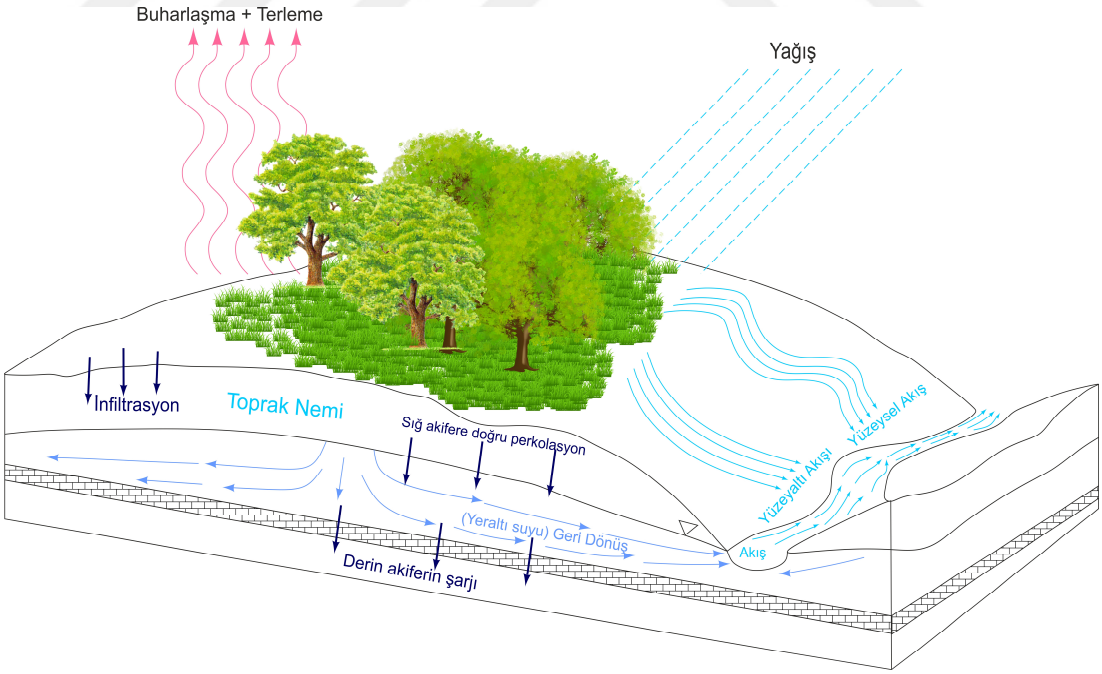
SWAT anlık yağış-akış modeli olmaktan çok bir havza içerisinde uzun dönemli değişimleri izlemek için geliştirilen bir modeldir. Hidroklimatolojik ve arazi kullanımına bağlı uzun süreli değişimleri incelemek için oldukça faydalı bir araçtır (Neitsch vd., 2011). Bu bakımdan da çalışmanın amacına uygun bir modeldir. Her bir havza daha faydalı olması açısından birçok alt havzaya ayrılır ve havza girdileri buna göre kategorize edilir. Diğer yandan her bir alt havzaya ait toprak, arazi kullanımı ve eğimin üst üste çakıştırılması (overlay) ile HRU (Hydrological Response Unit) denilen kombinasyonlar elde edilir. Her bir HRU'dan tahmin edilen akış, akarsu ağına direkt

olarak yönlendirilir. HRU'nun hidrolojik bileşenleri intersepsiyonu, yağışı, kar erimesi ve sulama suyunu yüzey akışı arasında bölünmesini, infiltrasyonu, toprak profilindeki suyun yeniden dağıtımını, kök (bitki) bölgesindeki evapotranspirasyonu, toprak profilindeki yüzey altı lateral akışı, sığ yeraltı sularından geri akışı (ing: return flow) kapsamaktadır (Beven, 2011; Neitsch vd., 2011).

SWAT'ta çalışılan konu fark etmeksizin tüm süreçleri temelde su bilançosu yönlendirmektedir ve modelin su bilançosu kullandığı eşitliği şu şekilde açıklanabilir:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t} \left(R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw} \right)$$

Burada, SW_t toplam toprak su içeriği (mm H_2O), SW_0 i'inci gündeki ilksel toprak su içeriği(mm H_2O), t zamanı (günlük), R_{day} i'inci gündeki yağış miktarını (mm H_2O), Q_{surf} i'inci gündeki yüzeysel akış miktarını (mm H_2O), E_a i'inci gündeki evapotranspirasyon miktarını (mm H_2O), w_{seep} i'inci gündeki toprak profilinden vadoz zona (doymamış zon) giren suyun miktarını (mm H_2O), Q_{gw} i'inci gündeki yeraltı suyu (geri dönüş) miktarını göstermektedir (Şekil 35).



Şekil 35: Swat yağış-akış modelinin su dengesi bileşenleri.

Bu bileşenler elde edilerek alt havza ve tüm su toplama havzası temelli olarak su dengesinin hesaplanmasında tüm bileşenlerin alansal ve zamansal özellikleri elde edilebilmektedir.

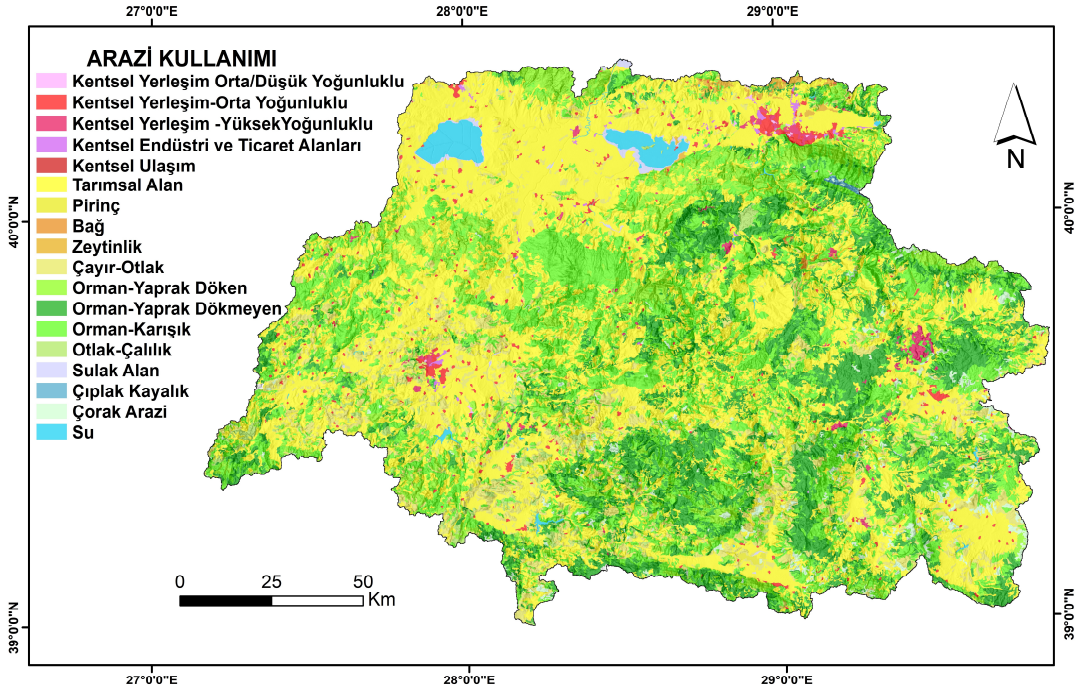
4.3.2. Veri Tabanı

4.3.2.1. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

Susurluk havzasının akarsu ağı ve havza ile alt havzalarının çıkarımı için 90 metre çözünürlüklü HydroSHEDS (Hydrological data and maps based on SHuttle Elevation Derivatives at multiple Scales) verisi kullanılmıştır (Lehner vd., 2008). Bu veri temel olarak Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) üzerinden türetilmiştir ancak birçok süreçten geçirilerek hidrolojik çalışmalar için kullanılacak duruma getirilmiştir (Şekil 33). Her ne kadar 30 metre (ALOS, ASTER) ve 10 metre çözünürlüğünde (1:25000 ölçekli topografik haritalardan) üretilmiş SYM verileri mevcut olsa da bu verilerin ova tabanı gibi düzlüklerde akarsu ağlarını gerçek durumdan çok farklı göstermesinden dolayı hidrolojik olarak doğru sonuçlar veren HydroSHEDS verisi tercih edilmiştir. Akarsu ağı ve havzalar 15000 eşik değeri kullanılarak oluşturulmuş ve bunun sonucundan 58 alt havza elde edilmiştir.

4.3.2.2. Arazi Kullanımı

SWAT yağış-akış modelinde yukarıda da bahsedildiği üzere HRU oluşturmak için gerekli olan bir diğer veri de arazi kullanımı (Landuse-Landcover) verisidir (Şekil 36).

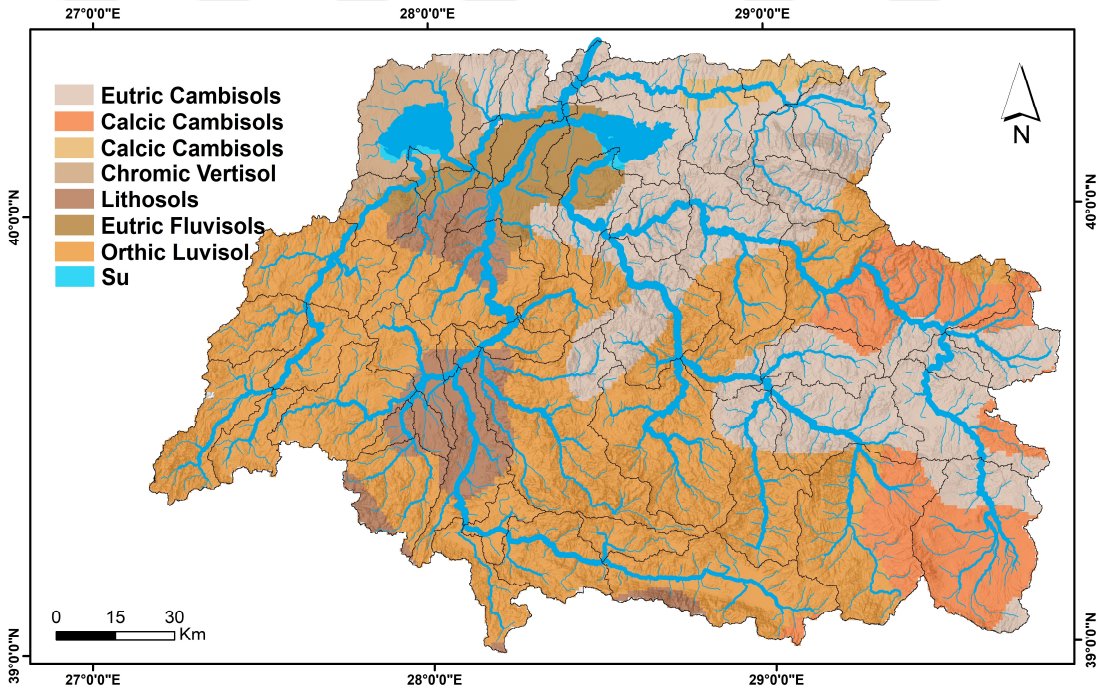


Şekil 36: Susurluk havzasında Corine 2012 yılı arazi kullanımı.

Arazi kullanım verisi için Corine arazi kullanım verisi kullanılmıştır. Arazi kullanımın verisinin çözünürlüğü 100 metre olup 2012 yılına aittir. Susurluk havzası arazi kullanımı incelendiğinde geniş alanların ormanlar tarafından kaplandığı görülmekle birlikte Bursa ve Balıkesir başta olmak üzere Tavşanlı, Mustafa Kemalpaşa ve Bandırma civarlarından kentsel yerleşimin yoğun olduğu görülür. (Şekil 35). Bu durum hizmet sektörleri ile birçok sanayi merkezinin burada olması ile ilişkilidir. Bunu yanı sıra, tarımsal alanlar varlığı dikkat çekicidir. Corine Arazi kullanımı SWAT'ın veri tabanındaki arazi kullanımına uygun değildir. Bu bakımdan var olan arazi kullanımı verisinin kullanılabilmesi açısından Corine arazi kullanımı verisi SWAT veri tabanındaki arazi kullanımına çevrilmiştir.

4.3.2.3. Toprak Veri Tabanı

SWAT veri tabanı açısından oldukça önemli bir paya sahip olan toprak verisi için (http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/) Harmonized World Soil Database 1:5 000 000 ölçekli FAO-UNESCO dünya toprak verisine göre oluşturulan (1 km çözünürlüklü) toprak veri tabanından faydalanılmıştır (Şekil 37).



Şekil 37: Susurluk havzasındaki toprak grupları dağılımı

4.3.2.4. SWAT İklim ve Hidroloji Veri Tabanı

SWAT iklim veri tabanı temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi günlük (yağışlarda dakikalık ve saatlik olabilir) zaman serileri şeklindedir. Bunlar sırasıyla günlük toplam yağış verisi (mm), günlük bağıl nem (%), günlük rüzgâr hızı (m/s), günlük güneş radyasyonu (cal/cm² olarak alınıp MJ/m^2 birimine çevrildi) ve günlük minimum-maksimum sıcaklık (ºC) verileridir. İkinci kısım ise Wgn olarak verilen veri tabanıdır ve tüm veriler aylık ortalamalar şeklinde girmektedir. Bu veri tabanı weather generator olup eksik veriler bu kısımdaki temel istatistiklerden yola çıkılarak tamamlanır. Susurluk havzası için gerekli veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan ve Marmara Denizi havzasının tümü için hazırlanan veri tabanından çekilmiştir. Aşağıdaki istasyonlardan oluşan veri tabanı Susurluk havzası için kullanılmıştır (Tablo 5-Şekil 33).

Tablo 5: Susurluk havzasında yağış-akış modellemesi için kullanılan meteoroloji istasyonları.

İSTASYON ADI	ICAO KOD	İSTASYON NO	ENLEM	BOYLAM
Bandırma	BAND	17114	40.33	28.00
Bursa	LTBE	17116	40.23	29.01
Edremıt	EDRM	17145	39.59	27.02
Balıkesır	LTBF	17150	39.63	27.92
Akhısar	AKHS	17184	38.91	27.82
Gonen	GONE	17674	40.11	27.64
Uludag	ULUD	17676	40.11	29.13
Keles	KLES	17695	39.91	29.23
Dursunbey	DURB	17700	39.58	28.63
Tavsanlı	TVSL	17704	39.54	29.49
Sımav	SIMV	17748	39.09	28.95
Gedız	GEDZ	17750	38.99	29.40

İstasyonlar seçilirken yukarıda sayılan meteorolojik değişkenliklerin ölçülmesi durumu veya eksik veri barındırması göz önüne alınmıştır.

Bununla birlikte E03A021, E03A017, E03A014, E03A002, E03A016, E03A024, E03A028, E03A011 istasyonlarının aylık değerleri DSİ'den elde edilmiş ve bu değerler kullanılarak SWAT modelinin kalibrasyonu yapılmıştır.

4.3.3. HRU ve Model Parametizasyonları

SWAT yağış-akış modelinin toprak, eğim ve arazi kullanımının çakıştırılması (ing: overlay) sonucu elde edilen HRU (Hydrological Response Unit) için eşik parametre

değerleri belirlenmiştir. Toprak için %0, Eğim için %0 ve Arazi kullanımı için ise %0 seçilmiştir. Böylelikle %0-%0-%0 şeklinde HRU parametizasyonu yapılmıştır ve bunun sonucunda 3500 kadar HRU elde edilmiştir. Diğer yandan evapotranspirasyon hesaplanması için Penman-Monteith yöntemi seçilmişidir (Monteith, 1965). Modelde yüzeysel akışın hesaplanması için dünyada genel olarak kabul görmüş olan Soil Conservation Services Curve Number method (SCS, 1956, 1964, 1971, 1985, 1993) yöntemi kullanılmıştır.

4.3.4.İklim Model Verisi ve Parametizasyonları

Doktora tez çalışmasının bu kısmında, Abdus Salam Uluslararası Teorik Fizik Merkezine (The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics) ait hidrostatik bir bölgesel iklim modeli olan RegCM4.4 kullanılarak analizler uygulanmıştır. Buradaki parametizasyon işlemleri Turp vd. (2014) temelinde açıklanmıştır.

İklim modeli çeşitli parameterizasyon şemaları içermektedir. Buna göre modelin dinamik şeması MM5 adı verilen ve Pennsylvania Devlet Üniversitesi'nin Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi'nin (National Center for Atmospheric Research (NCAR) of the Pennsylvania State University) orta ölçekli modelinin hidrostatik versiyonunu (Grell vd., 1994) kapsamaktadır. Öte yandan yersel olaylar için 2 adet seçenek bulunmaktadır. Bunlardan ilki olan BATS1E (Biosphere- Atmosphere Transfer Scheme) (Dickinson vd., 1993) şeması modelde kullanılmakta ancak modelin içinde ayrı bir opsiyon olarak Community Land Model (CLM)'ın 3.5 şeması da yer almaktadır. Model içinde radyatif transfer şeması ise NCAR Community Climate Model, sürüm CCM3 (Kiehl, 1996) vasıtasıyla kullanılmaktadır. Bölgesel iklim modelinde δ-Eddington (Kiehl, 1996) kullanılarak güneş ışınımı transferi elde edilmiştir. Bulutluluk tutarı, bulutun sıvı su içeriği ve etkin damlacık yarıçapı bulut radyasyon şeması olarak kullanılmıştır. Gezegensel sınır tabakası (planetary boundary layer-PBL scheme) ise Holtslag vd. (1990) ortaya koymuş oldukları şemaya dayalı olarak kullanılmıştır. Modelin konvektif kısmı yersel şemaya benzer şekilde 3 opsiyonlu bir durum ile kullanılır. Sırasıyla modifiye edilmiş Kuo şeması (Anthes, 1977), Grell şeması (Grell, 1993) ve MIT-Emanuel şeması (Emanuel, 1991, 1999) şeklindedir.

RegCM modeli için Almanya'daki Max Planck Meteoroloji Enstitüsü'nün (Giorgetta vd., 2013) MPI-ESM-MR küresel iklim çıktısı kullanılmış ve dinamik olarak 10 km

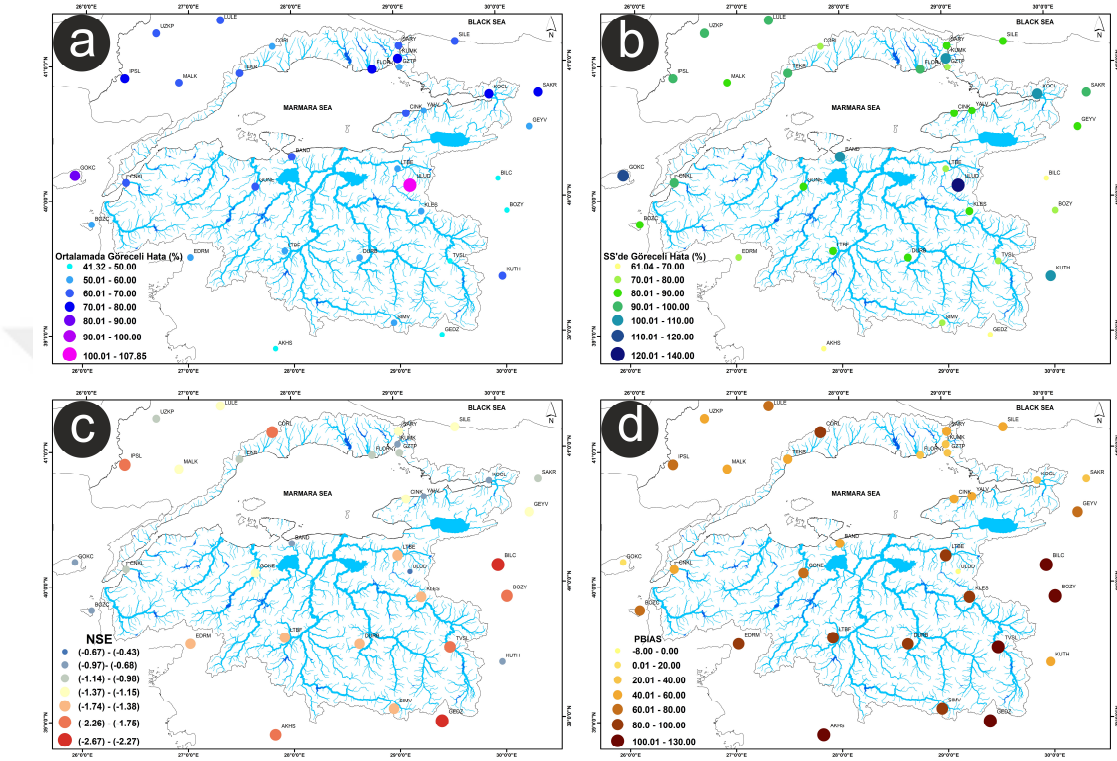
çözünürlüğe getirilmiştir. Burada bir diğer konu ise senaryoların seçimidir. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları ile karşılaştırma için referans (tarihsel) senaryosu seçilmiştir. Bu senaryolar gelecekte sera gazlarından kaynaklı küresel anlamda radyatif zorlamanın 4.5 W/m² ve 8.5 W/m² artacağını öngörür. 4.5 W/m² radyatif zorlama 21. yüzyılın ortalarına artış sürdürürken bu yüzyılın ikinci yarısından sonra zorlamada azalış eğilimini öngörürken 8.5 W/m² ise 21. yüzyılın sonralarına doğru daimi artışı öngörür (Van Vuuren vd., 2011).

Çalışmada biri referans dönemi olmak üzere üç ayrı dönem üzerinden çalışılmıştır. Referans dönemi 1970-2000 olmak üzere RCP4.5 ve RCP8.5 2020-2049 ve 2070-2099 yılları kapsayacak şekilde 3 ayrı normaller kullanılarak bu dönemler ele alınmıştır. Buna göre bölgesel iklim modelinden günlük toplam yağış verisi (mm), günlük bağıl nem (%), günlük rüzgâr hızı (m/s), günlük güneş radyasyonu (cal/cm² olarak alında MJ/m^2 çevrildi) ve günlük minimum ve maksimum sıcaklık (^oC) verisi zaman serisi seklinde elde edilmiştir. WGN maker tablosu için veri tabanı aylık değerleri oluşturulmuştur. Elde edilen model verisi yağış-akış modellemesi için girdi olarak kullanılmıştır.

Marmara Denizi havzası üzerinde bölgesel iklim modelinin 1971-2000 yılları arasındaki elde edilen günlük yağış verileri ile MGM istasyonlardan elde edilen günlük yağışların istatistikleri karşılaştırılmıştır. Buna göre gözlenen yağış değerleri ile modellenen yağış değerleri arasında pozitif taraflılık diğer bir deyişle modelin gözlemden daha fazla değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Gözlemlerin ve ortalamaların görece hatalarına göre en az hata Susurluk ve çevresindeki istasyonlarda gözükmektedir. Uludağ'da ise en yüksek seviyeye ulaşır (Şekil 38). NSE ve PBIAS sonuçlarına göre ise bu taraflılık kıyılarda en az olmak ve tüm istasyonlarda pozitiftir. Ancak sadece Uludağ'da PBIAS sonucu negatif çıkmaktadır.

Tüm istasyonlarda pozitif taraflılık olsa da özellikle kıyı bölgelerinde bu taraflılık biraz daha azdır ve karasal alanlara doğru taraflılık artmaktadır. Buna göre Susurluk havzasında seçilen istasyonların günlük yağış, minimum ve maksimum sıcaklık üzerinde taraflılık düzeltmesi (ing: bias correction) gerçekleştirilmiştir. Linear scaling factor (lineer ölçekleme faktörü) yaklaşımı taraflılık düzeltmesi için kullanılmıştır (Lenderik vd., 2007, Teutschbein ve Seibert, 2012). Susurluk havzasında linear scaling factor yöntemine göre düzeltilen günlük yağış ve sıcaklık değerleri ve gözlem verilerinin aylık ortalamaları alınarak ampirik kümülatif dağılım fonksiyonları elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Buna göre Şekil 39a'daki yağışların ampirik kümülatif

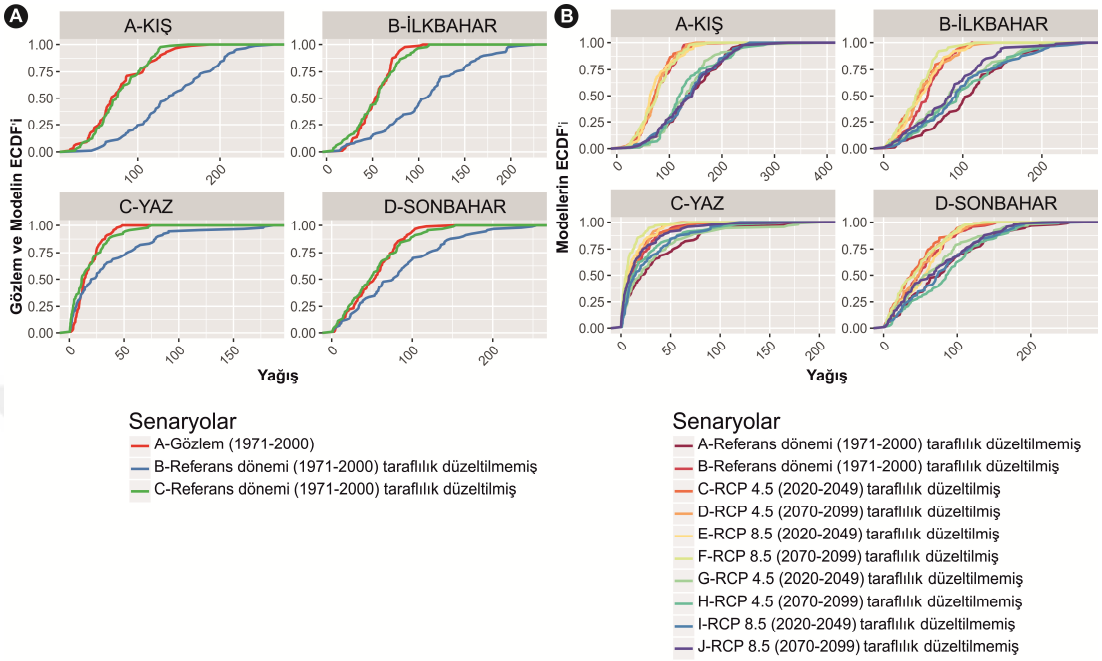
dağılım fonskiyonları incelendiğinde özellikle modelden elde edilen yağışın pozitif bir taraflılık (ing: bias) verdiği ve değerlerin gözleme göre oldukça yüksek çıktığı gözükmektedir.



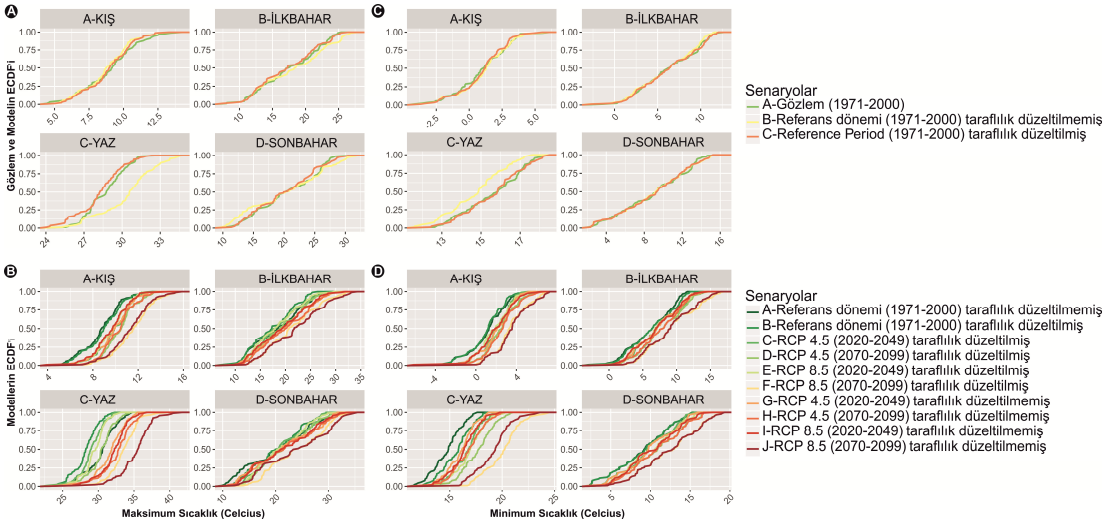
Şekil 38: Bölgesel iklim modeli yağışları ile gözlem yağışlarının a) Ortalamada göreceli hatası b) Standart sapmadaki göreceli hatası c) Nash-Sutcliffe Efficiency d) PBIAs sonuçları.

Ancak mevsimsel açıdan en fazla taraflılık kış ve ilkbahar mevsiminde, en az ise yaz ve sonbahar mevsiminde görülmektedir (Şekil 39a). Bu durum havzanın Akdeniz iklimi ve havzasında bulunmasından kaynaklı mevsimselliğinin bir sonucudur (Peel vd, 2007). Burada düzeltme yapıldıktan sonra model yağışının gözlem yağışına benzer şekilde bir dağılım gösterdiği elde edilmiştir. Referans temelinde düzeltilen RCP4.5 ve 8.5 senaryolarının geleceğe ait yağış değerleri de düzeltilmiştir. Buna göre tüm senaryolarda referansa göre azalma olmasına rağmen taraflılık düzeltmesi ile yağış değerlerinin dağılımları ve miktarları farklılık göstermektedir (Şekil 39b). Diğer yandan minimum ve maksimum sıcaklık değerlerinin taraflılık düzeltmelerine bakıldığında ise RegCM'in sıcaklık verilerini oldukça iyi modellediği aşikârdır (Şekil 40). Özellikle yaz mevsimi haricindeki tüm mevsimlerde sıcaklık değerlerinde taraflılık,

düzeltme önce ve sonrası benzer bir kümülatif dağılım sergilediği görülmektedir. Yaz mevsimindeki durum aşırı ve uç sıcaklıkların yaz ayında görülmesi ile ilgili olabilir.



Şekil 39: a) Taraflılığı (Bias) düzeltilmiş ve düzeltilmemiş gözlem ile model referans dönemi yağışlarının ve b) model yağışlarının ampirik kümülatif dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması.



Şekil 40: Taraflılığı düzeltilmiş ve düzeltilmemiş gözlem ile model referans dönemi a) minimum c) maksimum sıcaklıkları ile model sonuçlarının b) minimum d) maksimum sıcaklıklarının ampirik kümülatif dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması.

Taraflılık düzeltmesi yapılmasından sonra, gözlem ile referans dönemlerinde dağılımların birebir üst üste oturduğu ve benzer olduğu görülmekle birlikte, minimum

sıcaklıkta bu durum daha belirgindir (Şekil 40c). Model sonuçlarının referans ve RCP4.5 ve 8.5 gelecek dönemlerinin sonuçları, bölgesel iklim modelinin sıcaklık gibi sürekli verileri oldukça iyi modellediğini göstermektedir (Şekil 40b-d). Diğer yandan taraflılık düzeltildikten önce ve sonra geleceğe ait minimum ve maksimum sıcaklık değerleri havza üzerinde artışın olacağını göstermektedir. Bu durum özellikle modelleme de evaporasyon değerlerini dolayısıyla da su bütçesini etkilemesi açısından önemlidir.

4.3.5. Model Performans Değerlendirme Testleri

Yağış-akış modellemesi sonucu elde edilen model verisinin hem kalibrasyonu hem de değerlendirmesi açısından birçok performans testi kullanılmıştır. Bunlardan ilki literatürde çok sık kullanılan Nash–Sutcliffe model efficiency (NSE) katsayısıdır (Krause vd. 2005, Nash and Sutcliffe, 1970). Buna göre bu katsayı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$NSE = 1 - \sum_{i=1}^{n} \frac{(Q_i - P_i)^2}{(Q_i - \bar{Q})^2} \qquad \text{Eşitlik 25}$$

Burada, Q_i gözlemlenen i'inci akım değerini, P_i tahmin (modellenen) edilen i'inci akım değerini, $\bar{Q}$ gözlemlenen akımın ortalama değerini göstermektedir. NSE değeri artık (ing: residual) varyans (gürültü) ile ölçülmüş varyans (bilgi içeren) göreceli magnitüdünü belirlemeye çalışan normalize edilmiş istatistiksel bir yöntemdir. Buna göre, NSE değerleri -∞'dan başlayıp +1'e kadar uzanmaktadır. Burada:

a) NSE = 1, gözlemlenmiş veri ile modellenmiş veri arasındaki oldukça iyi bir uyum olduğunu.

b) NSE = 0, model tahminlerinin gözlem verilerin ortalaması kadar doğru olduğunu

c) -∞ < NSE < 0, gözlem ortalamasının tahmin ediciden (ing: predictor) daha iyi olduğunu göstermektedir. Bu bakımdan 0 ve üzeri değerler kabul edilebilir olarak görülmektedir (Nash and Sutcliffe, 1970). Ancak NSE değerleri düşük akımlarda iyi bir kestirim yapamaz (Krause vd. 2005).

Bir diğer test ise literatürde sıkça kullanılan Percent Bias-PBIAS (Gupta vd., 1999) testidir. Bu katsayı aşağıdaki haliyle ifade edilebilir:

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=!}^{n}\left(Y_i^{Göz} - Y_i^{Sim}\right) * 100}{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{Göz}\right)}\right] \quad \text{Eşitlik 26}$$

Burada PBIAS katsayıyı, $Y_i^{Göz}$ gözlemlenen i'inci akım değerini, Y_i^{Sim} modellenen i'inci akım değerini göstermektedir. PBIAS modellenen verinin gözlemlenenden farkının yüzdelik ölçümüne dayanır. Bu katsayı için optimal değer 0'dır. 0'dan büyük sayılar pozitif taraflılığı gösterirken küçük değerler ise negatif taraflılığı (ing: bias) gösterir. Moriasi vd. (2007) birçok çalışmanın değerlendirmesini yaparak elde ettikleri sonuca göre aylık akış değerlerinde NSE'nin 0.5 üzerinde bulunan tüm değerleri yeterli (ing: satisfactory) olduğunu ifade etmişlerdir. PBIAS için ise ±15 < PBIAS < ±25 değerleri yeterli olduğu ifade edilmiştir.

Diğer bir test olan ve oldukça yoğun kullanılan yöntem ise en küçük kareler doğrusal regresyonun elde edilmesi sonucu kullanılan determinasyon katsayısı veya diğer bir deyişler R^2 yöntemidir:

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q}) - (P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{P})}}\right)^2 \quad \text{Eşitlik 27}$$

Burada R^2 determinasyon katsayısı, Q gözlemlenen akış, P ise tahmin edilen (modellenen) akış değeridir.

4.4. Bulgular ve Tartışma

4.4.1. SWAT Yağış-Akış Modelinin Uygulanması ve Kalibrasyonu

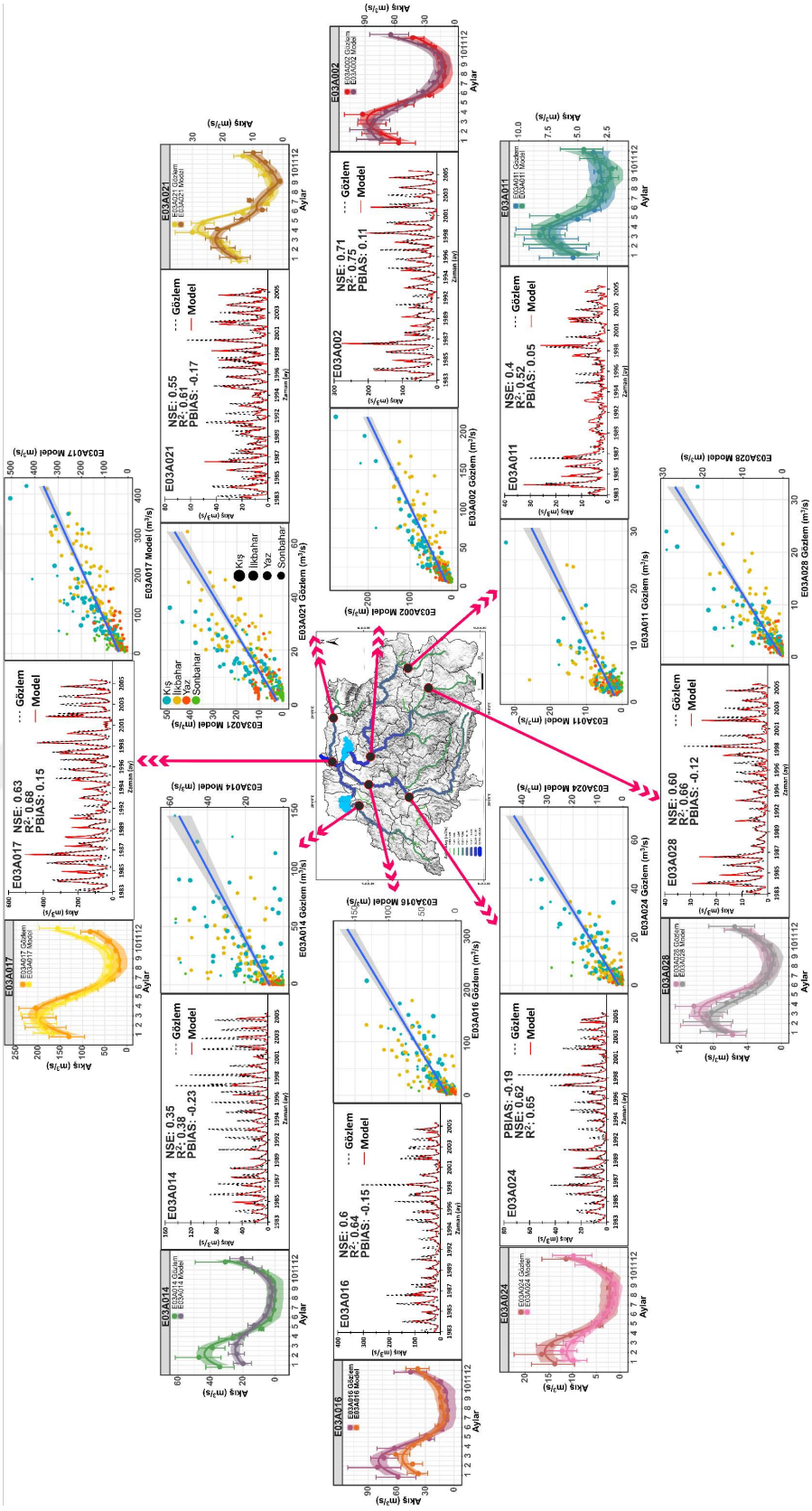
Susurluk havzasında meteorolojik gözlem verileri ile alansal (HRU için gerekli veriler) verilerin elde edilmesinden sonra yağış-akış modeli çalıştırılmış ve sonuçları alınmıştır. Ancak yağış-akış modeli fiziksel temelli olduğu için kalibrasyon edilmesi gerekmektedir. Modelin kalibrasyonu için The Soil and Water Assasment Tool Calibration and Analysis Program'ı (SWAT-CUP) kullanılmıştır (Abbaspour, 2013). Sequntial Uncertainty Fitting (SUFİ-2) algoritma yöntemi SWAT modelinden elde edilen akımlar ile gözlem akımları kullanılarak kalibrasyon yapılması için seçilmiştir (Abbaspour vd., 2007). İlk aşamada, kalibrasyon işlemleri için gerekli olan parameterlerin seçilimi gerçekleştirilmiştir. Akış değerlerinde pozitif taraflılıktan dolayı Abbaspour vd. (2015) yaptıkları çalışma temelinde 8 adet hassas parametre

kalibrasyon işlemleri için seçilmiş ve bu parametreler SUFI algoritması ile kalibre edilmiştir. SWAT-CUP kullanılarak 300 adet simülasyon gerçekleştirilmiş ve bunun sonucunda havzadaki gözlem istasyonları değerlerini en iyi yansıtan parametre değerleri elde edilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6: Susurluk havzasında SWAT modelinin kalibre edilen parametreler.

		Başlangıç Aralıkları		Nihai Aralıklar		
Parametre ismi	Tanımı	Minimum Aralık	Maksimum Aralık	Minimum Aralık	Maksimum Aralık	En iyi değerler
R__CN2.mgt	SCS Akış Curve Number değeri	-0.2	0.2	-0.31	0.03	-0.14
V__ALPHA_BF.gw	Taban Akışı Alpha faktör (1/gün)	0	1	0.27	0.81	0.54
V__GW_DELAY.gw	Yeraltı suyu gecikmesi (gün)	30	450	-53.04	282.44	114.70
V__GWQMN.gw	Sığ akiferdeki suyun geri dönüş için eşik değeri (mm)	0	5000	-2063.57	2646.90	291.67
V__REVAPMN.gw	"Revap" için sığ akiferdeki suyun eşik derinliği (mm)	0	50	9.11	36.39	22.75
V__GW_REVAP.gw	Yeraltı suyu revap katsayısı	0.02	0.2	-0.01	0.13	0.06
V__ESCO.hru	Toprak buharlaşma kompanzasyon faktörü	0	1	-0.21	0.60	0.19
R__SOL_AWC.sol	Faydalı toprak su içeriği (mm H2O/mm toprak)	-0.2	0.2	-0.35	0.02	-0.16
R: Relative V:Replace						

Elde edilen sonuçlara bakıldığında ise özellikle akışın fazla olmasından dolayı Curve Number değerinde en iyi değerlerde negatif çıkmıştır. Öteki taraftan yeraltı suyu ile toprak nemi alakalı katsayılar düzeltilmiş ve havzadaki tüm kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Susurluk havzasındaki istasyonlar ile kalibre edilmiş aylık simülasyon akış değerleri mevsimsel hata grafikleri, zaman serileri (model performans değerleri sonuçları) ve saçılım diyagramları kullanılarak gözlem verileriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 41). Elde edilen sonuçlar tüm Susurluk havzasında oldukça yeterli ve anlamlıdır. Burada havzanın çıkış kısmında bulunan ve neredeyse tüm Susurlu E03A017 istasyonu, Nilüfer havzası (E03A021 istasyonu ile temsil edilir) dışında tüm Susurluk havzasını iki büyük gölün ardından temsil eder. Bu istasyonun performans değerlendirme testine bakıldığında NSE değeri 0.63, PBIAS değeri 0.15 ve R^2 değeri ise 0.68 çıkmaktadır. Bu değerler Moriasi vd. (2007) model sonuçlarının gözleme uyumu için ifade ettikleri değeri oldukça iyi karşılamakta ve yakalamaktadır. Diğer yandan Nilüfer havzasını yansıtan E03A021 istasyonu ise NSE 0.55, PBIAS -0.17 ve R^2 değeri 0.61 değerlerine sahiptir (Şekil 41). Bu değerlerde benzer şekilde model sonuçları açısından güven vericidir. Bunun haricinde diğer istasyonların sonuçlarına bakıldığında genel olarak bu değerler etrafında değişir. Bir diğer önemli konu ise model sonuçlarının gözlem verisinin sahip olduğu salınımları takip etmesi ve birçok yerde iyi yansıtmasıdır.



Şekil 41: Kalibrasyon sonuçlarının grafiksel gösterimi.

Burada E03A011 ve E03A014 istasyonları NSE değerleri 0.5'in altında çıkmalarına rağmen gözlemlerin trendini iyi yansıtmaktadır ve PBIAS değerleri oldukça iyidir. E03A002 istasyonu ise NSE 0.71, PBIAS 0.11 ve R2 değeri ise 0.75 olmak üzere Susurluk havzasındaki en iyi sonuçları yansıtmakladır (Şekil 41). Mevsimsel açıdan bakıldığında, E03A014, E03A016 ve E03A024 istasyonlarında ocak, şubat ve mart aylarında gözlem ve model arasındaki fark olduğu görülmektedir. Bu durumun havzadaki hidrojeolojik koşullar ile ilgisi olabilir çünkü ölçüm yapan istasyonların gerisindeki su toplama havzalarında yeraltı suyu açısından üretken akiferlerin olduğu alanlar geniş yer kaplamaktadır (Şekil 2). Bu durum sonucunda özellikle nemli mevsimlerde yeraltı suyunun da akışa katılması ve modelin bunun hesaba katamaması sonucu ile ilgili olabilir. Diğer yandan E03A21 istasyonu ve E03A028 istasyonunda ise bahar aylarını kapsayan dönemlerde gözlem değerlerinin model sonuçlarına oranla fazla olduğu görülür. Bu durum kar erimelerinin akışa ek katkısı ile ilgili olabilir. Elde edilen sonuçlara genel olarak bakıldığında, Susurluk havzasının modelleme sonuçlarının yeterli olduğu ve buna göre taraflılığı düzeltmiş iklim modeli verilerinin kullanımı için uygun olduğu görülmektedir.

4.4.2. Su Dengesi Elemanların Alansal ve Zamansal Değişimleri

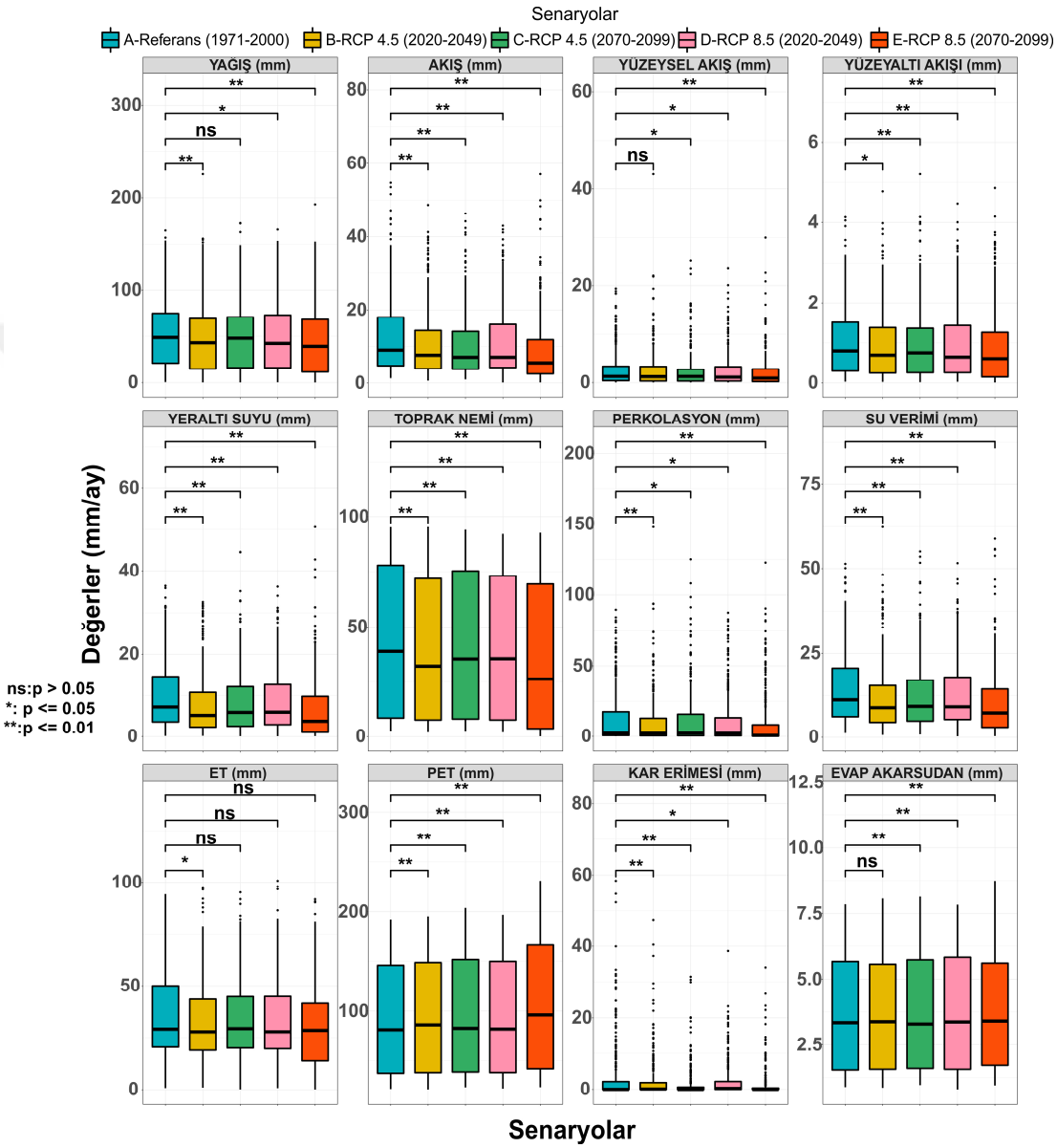
SWAT yağış akış modeli çalıştırıldıktan sonra modelin kalibresi yapılmış ve iklim simülasyonları çalıştırılmıştır. Model çalıştırıldıktan sonra yağış, akış, yüzeysel akış, yüzeyaltı akış, yeraltı suyu, toprak nemi, perkolasyon, aktüel evapotranspirasyon (ET), potansiyel evapotranspirasyon (PET) ve akarsu üzerindeki evaporasyon (EVAP Akarsudan) gibi su dengesi bileşenleri ile gösterge olması açısında kar erimesi ve su verimi parametresi elde edilmiştir (Şekil 42). Su verimi parametresi yüzeysel-yüzeyaltı akış ile yeraltı suyunun toplanıp su kaybından çıkarılması ile elde edilir. Kullanılan tüm parametreler karşılaştırma yapılması ve değişkenliğinin anlaşılması açısından milimetre birimiyle kullanılmıştır. Elde edilen bu parametrelerin havza ortalaması alınarak aylık ölçekte değişimleri incelenmiştir.

4.4.2.1. Susurluk Havzasında Su Dengesi Bileşenlerinin Değişimleri

Susurluk havzasındaki parametrelerin çeşitli grafikleri çizilerek iklim senaryolarındaki değişkenliklerine bakılmıştır. Buna göre ilk olarak bu değişkenlerin aylık değerleri Box-Plotların uç değerleriyle birlikte çizilmiştir (Şekil 42). Ayrıca, tüm parametrelerin

uzak ve yakın gelecekteki ortalamalarının referans dönemine göre istatistik açıdan anlamlı bir fark olup olmadığını anlamak için Wilcoxon rank testi veya diğer ismi ile Mann-Whitney U testi %5 ve %1 anlamlılık seviyesinde kullanılmıştır. Burada genel olarak bakıldığında Referans (1971-2000) dönemine göre tüm parametrelerin tüm gelecek senaryolarının ortalamalarında ani olmaktan ziyade kademeli bir azalma görülmektedir. Ancak buharlaşma ve terleme parametrelerinde tam tersine bir artış saptanmıştır. Bu azalma (buharlaşma değerlerinde artış) özellikle RCP8.5'un senaryosunun 2100 yılına doğru daha belirgindir. Ancak senaryolarda her ne kadar azalma veya artış görülse de uç değerlerin yine aynı senaryolarda daha çok arttığı görülür. Yakın ve uzak gelecek içerisinde yağış, akış, yüzeysel akış, yüzeyaltı akışında ve yeraltı suyunda referans dönemine oranla azalma görülmektir. Yağışın RCP 4.5 (2070-2099), yüzeysel akışın RCP 4.5 (2020-2049) dönemi haricinde azalma gösteren parametrelerin ortalamalarının istatistik açıdan %1 ve %5 mertebesinde anlamlı bir şekilde değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sonuç, özellikle tatlı su kaynaklarının gelecek dönem içerisinde azalması ve bunu sonucunda su kıtlığı açısından sıkıntılar yaşanabileceği konusunda su yönetimi açısından önemli ipuçları taşımaktadır. Bunun yanı sıra perkolasyon ve toprak neminde ise benzer şekilde referans dönemine göre istatistik açıdan anlamlı azalmalar tespit edilmiştir. Toprak nemindeki azalmalar özellikle tarımsal açıdan bitkinin var olan su ihtiyacını karşılamaması sonucu tarımsal üretimde verim düşüklüğü (ing: crop failure) ile sonuçlanabileceği ile ilgili önemli bilgiler taşımaktadır (Falkenmark vd., 2007; Falkenmark, 2013). Burada diğer bir göze çarpan konu ise kar erimeleridir. Kar erimelerinin durumuna bakıldığında tüm gelecek senaryolarda 2100 yılına doğru oldukça fazla bir şekilde ve istatistik olarak anlamlı azalmalar görülmektedir. Bu durum sıcaklık artışı ve bunun sonucu buharlaşma değerlerinin artış ile birlikte yağışın azalışı ve bunun yanı sıra yağış karakteristiğinin kar olmasından ziyade yağmur şeklinde olması ile alakalı önemli sinyaller taşımaktadır. Ayrıca yeraltı suyunun geri besleme düzeneklerindeki önemli mekanizmalardan biri olan perkolasyon değerlerinde referans dönemine göre azalmalar göstermesi ve diğer mekanizma olan kar erimesinin de azalmasıyla birleşince yeraltı suyu değerlerinde grafikte de görüldüğü üzere azalmalara sebebiyet vermiştir. Bahsedilen bu azalışların yanı sıra potansiyel evapotranspirasyon ile akarsudan gerçekleşen evaporasyon değerlerinde tüm senaryoların gelecek dönemlerinde istatistik olarak anlamlı olarak değişen bir artış görülmektedir. Bu artışlar gelecek senaryolarda sıcaklık artışı ile birlikte Susurluk

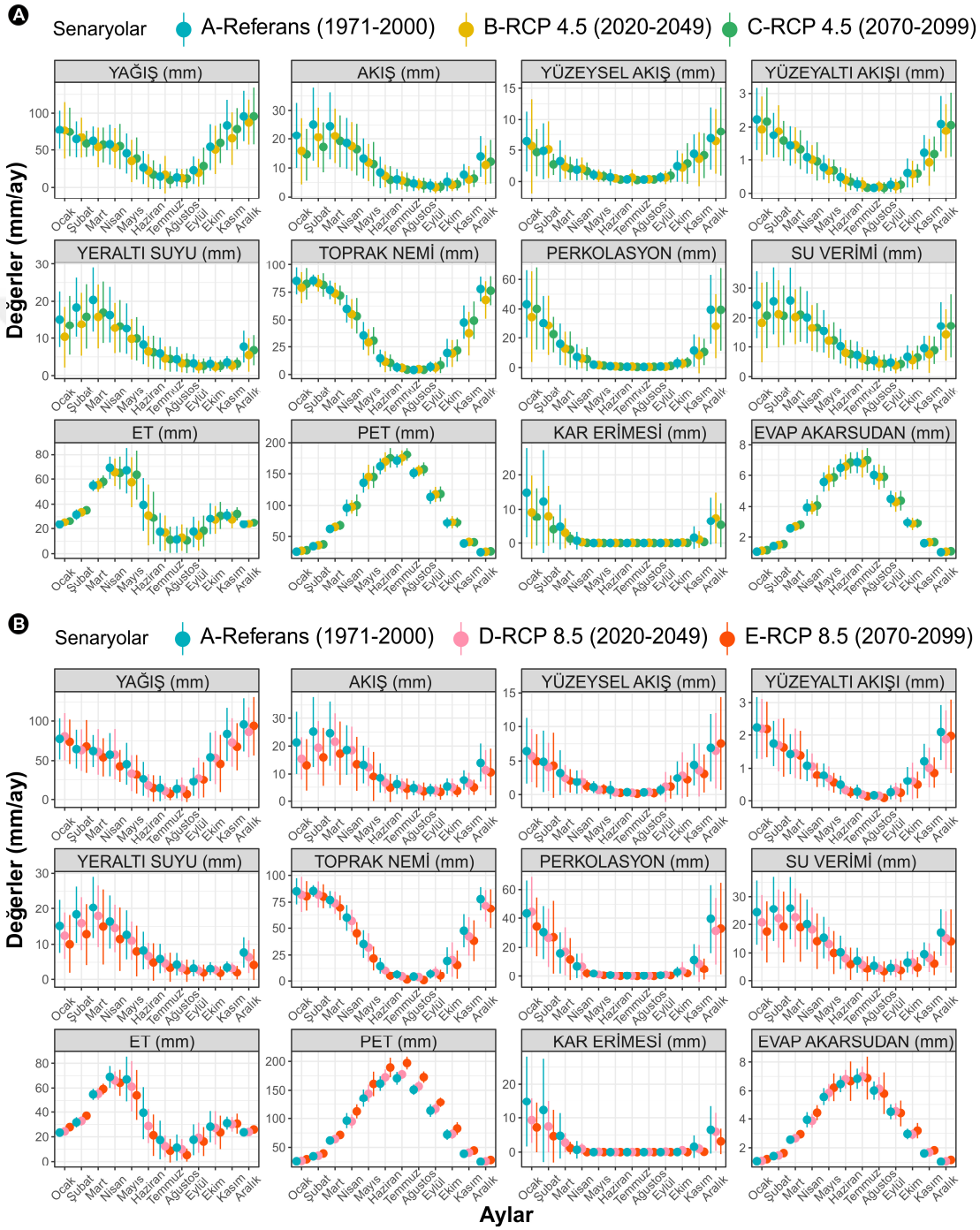
havzasının tamamında bir buharlaşma artışını göstermektedir. Bu durum havza içi su dengesinin negatif çıkmasında etkili olduğu ayrıca 3. bölümde geniş bir şekilde tartışılmıştır.



Şekil 42: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin Box-Plot gösterimi.

Ele alınan bu parametrelerinin değişkenliğinin anlaşılması açısından aylar-arası ve mevsimsel dağılışı ayrıca önemlidir. Bunun için parametrelerin aylık değerleri kullanılarak hata grafikleri ile (ing: error bar) mevsimsel olarak ortalamalarının ve standart sapmalarının nasıl değiştiği Şekil 43'te verilmiştir. Bu grafikte ortanca nokta her mevsimin ortalamasını çubuklar ise standart sapmasını göstermektedir. Bu bakımdan grafik incelendiğinde mevsimselliğin etkisi öne çıkmakta ve standart sapma

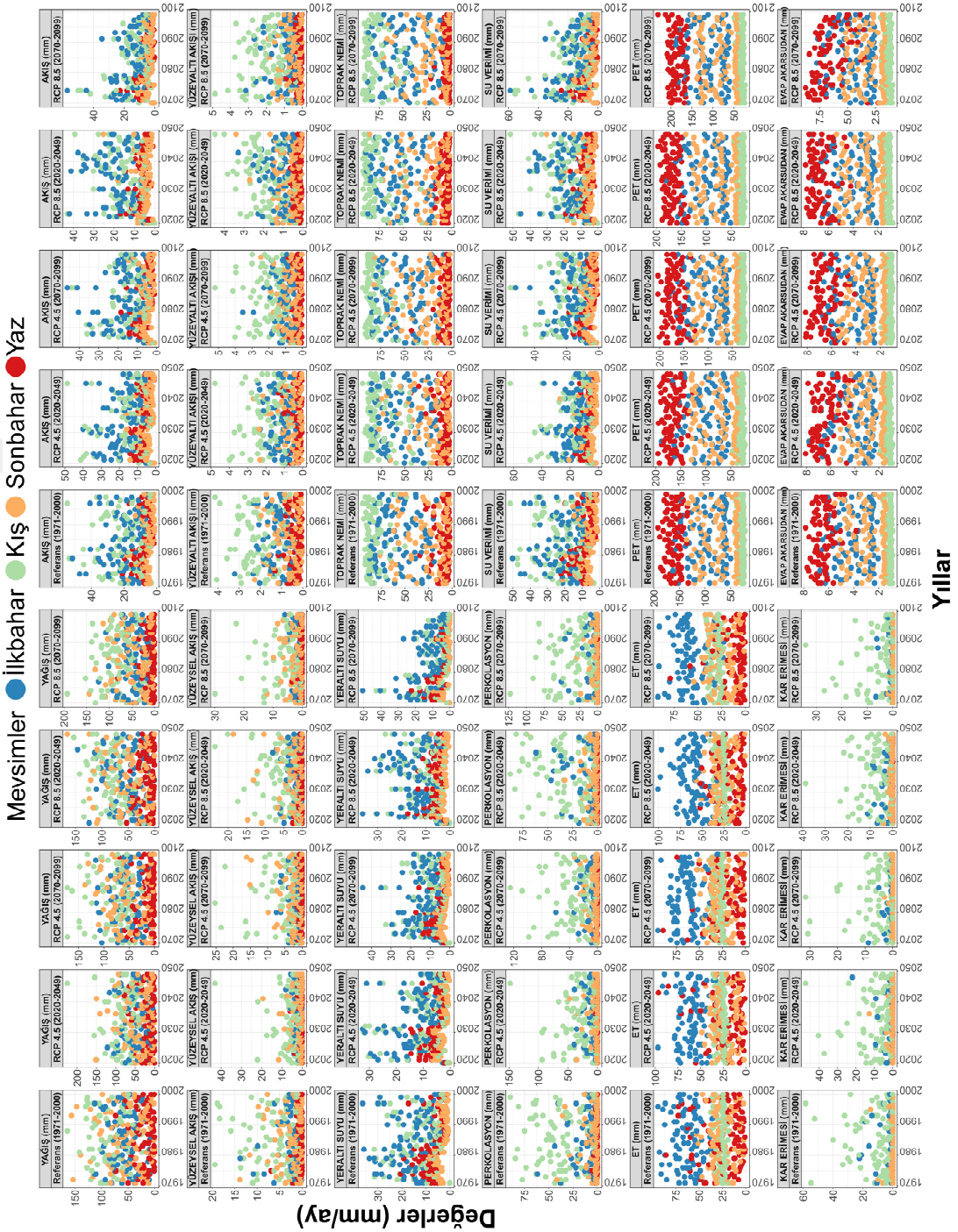
değerlerini etkilemektedir çünkü Susurluk veya diğer bir deyişler Batı Anadolu'nun yağışlı mevsimi kış ayı olduğu için bu dönemde yüksek değerlerden dolayı hem ortalamada hem de standart sapmada artış gözükmektedir.



Şekil 43: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin a) RCP 4.5 b) RCP 8.5 senaryolarının referans dönemi ile karşılaştırılan hata grafikleri.

Özellikle Susurluk havzasının tipik Akdeniz iklimini yansıtmasından dolayı (Giorgi ve Lionello, 2008; Peel vd., 2007) yıl içerisinde farklılıklar göstermektedir. Bunun yanı sıra, değişkenlik yaz mevsimine doğru azalmakla birlikte buharlaşma değerlerinde ise artmaktadır. Bu değerlerin referans dönemi gelecek senaryolar ile karşılaştırıldığında yaz mevsiminde evapotranspirasyon değerlerini oldukça fazla etkilemesi ve su dengesinin negatif değerlerinin vermesine neden olmasından dolayı Susurluk havzasında kuraklıklar (yağış, akış ve toprak nemi değerlerinin yaz mevsiminde azalması) açısından önemli riskler taşıdığını göstermektedir. Grafik incelendiğinde tüm senaryolarda referans dönemine göre azalmaların özellikle kış mevsiminde gerçekleştiği oldukça aşikârdır. Burada yağış, akış, yüzeysel ve yüzeyaltı akışı ve yeraltı suyu, toprak nemi, perkolasyon ve su verimi kış mevsimindeki ciddi bir azalması ayrıca grafikten anlaşılmaktadır. Bu durum özellikle kış mevsimi Türkiye'ye yağış getiren rüzgâr ve basınç sistemlerinin ve cephelerinin frekanslarının azalması ile ilgili olabilir ki bu durumun Türkiye'deki yağış ve akış değerlerini etkilediği ve ilişkilerin kuvvetli olduğu önceki 3. bölümde geniş bir şekilde ele alınmıştır. Kar erimelerinin miktarına bakıldığında ise burada kış mevsiminde ciddi bir azalma olduğu görülmektedir. Zaten Akdeniz iklimi gereği kışın yağan kar yağışı bu mevsimde azalması doğaldır. Ancak bu durum yağışın azalması yanı sıra kar yağışının da azalması ile birlikte gelecekte kış mevsiminde yağan yağış türünün de yağmur şeklinde olacağına işaret etmektedir. Bu durum su kaynakları açısından önem taşımaktadır çünkü kar yağışı yağdıkları andan ziyade bir gecikme ile erimeleri nehir ve akifer beslemeleri açısından önem taşımaktadır (Davie, 2008). Su verimin tüm mevsimlerde ve referans dönemine oranla tüm senaryolarda azalış göstermesi su kaynaklarının (ing: fresh water) varlığının azalması ve bunun sonucunda su kıtlığı konusunda önemli bir göstergedir.

Uç değerlerin (ing: outlier) zamansal dağılışlarına bakmak için parametrelerin aylık değerleri kullanılarak zaman serileri şeklinde balon grafiği oluşturulmuş ve uç (ayrık) değerlerin hangi mevsimde görüldüğünün anlaşılması için renklendirilmiştir (Şekil 44). Buna göre değerler incelendiğinde, her ne kadar parametrelerin her birinin ortalamasında azalma ve birçoğunda (genellikle buharlaşma değerlerinde) ise artış görülse de uç değerlerin dağılışı referans dönemine göre sürekli olarak artmakta ve 2070 yılından sonra bu durum daha şiddetlenmekte ve neredeyse tüm parametrelerin uç değerlerine yansıtmaktadır.

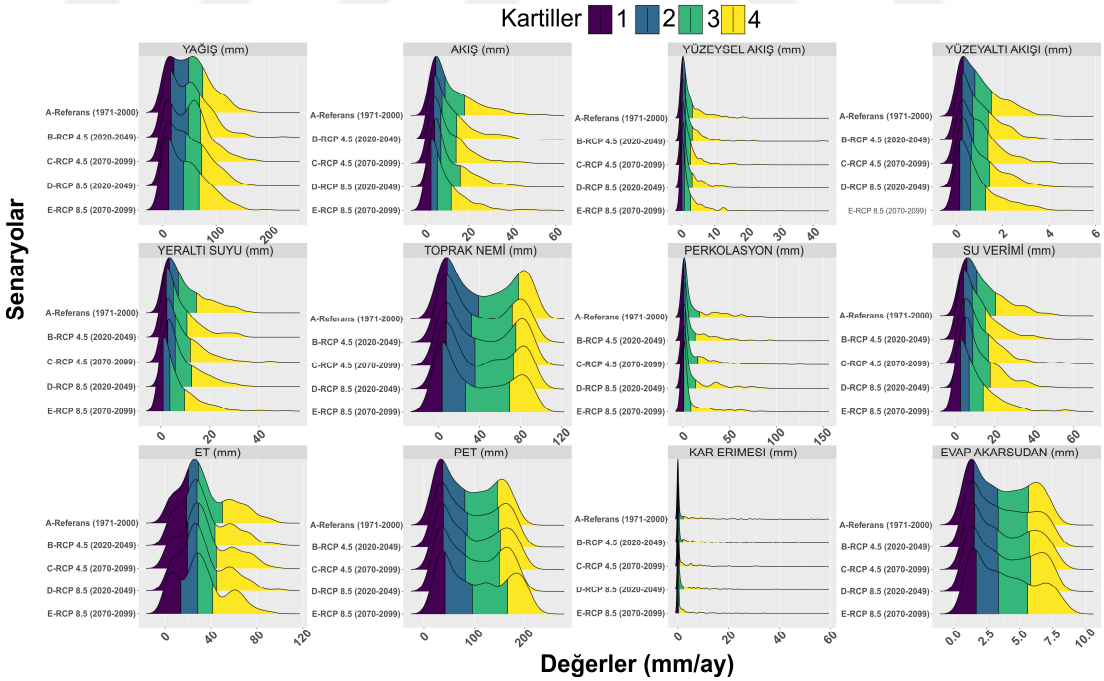


Şekil 44: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin balon grafikleri.

Yağış, değerlerine bakıldığında havzaya yaz mevsiminde en düşük miktarda yağışın yağdığı görülmekle birlikte uç değerlere kış ve sonbahar mevsimlerinde ulaşıldığı görülür. Akış değerlerinde ise kış ve ilkbahar mevsimlerinde uç değerlerin egemen olduğu görülür. Yüzeysel akışta referans dönemindeki uç değerlerde sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde egemenken bu durumun tüm senaryoların yakın ve uzak

geleceklerinde sonbahar ve kış mevsimlerine doğru uç değerlerin baskın döneme girdiğini göstermektedir. Yeraltı suyu, yüzeyaltı, perkolasyon ve su verimi, değerlerinde ilkbahar ve kış mevsimi uç değerleri baskındır. Her ne kadar bu parametrelerin miktarı hem RCP 4.5 hem de 8.5 senaryolarının uzak gelecek kısmında (2070-2099) azalma gösterse de, uç değerlerin sayısının artışı belirgindir. Toprak neminde ise mevsimsel ve uç değerlerin değişiminde belirgin bir farklılık gözükmemektedir. Göze çarpan bir diğer konu ise kar erimelerin hem miktarının hem de uç değerlerinin azalış göstermesidir. Buharlaşma değerleri incelendiğinde ise her ne kadar hacimsel olarak ve uç değer sayısında artış görülse de uç değer sayılarındaki artış belirgin değildir. Sonuçlar uç değerlere mevsimselliğin yansıdığını çok iyi göstermekle birlikte, yağışlı dönem olan kış ve sonbahar döneminin mevsimsel açıdan baskın olduğu aşikârdır. Diğer taraftan buharlaşma değerlerine ise yaz mevsimi egemendir (Şekil 44).

Tüm parametrelerin Kernel Yoğunluk Fonksiyonları çizilip çeyrekliklere (kartillerine) ayırılmış ve senaryolarına göre nasıl değiştiklerine bakılmıştır (Şekil 45). Burada uç bölgelerdeki çeyreklikler uç değerlerin nasıl değiştiklerini gösterirken, ortadaki çeyreklik ise medyan değerini göstermektedir.



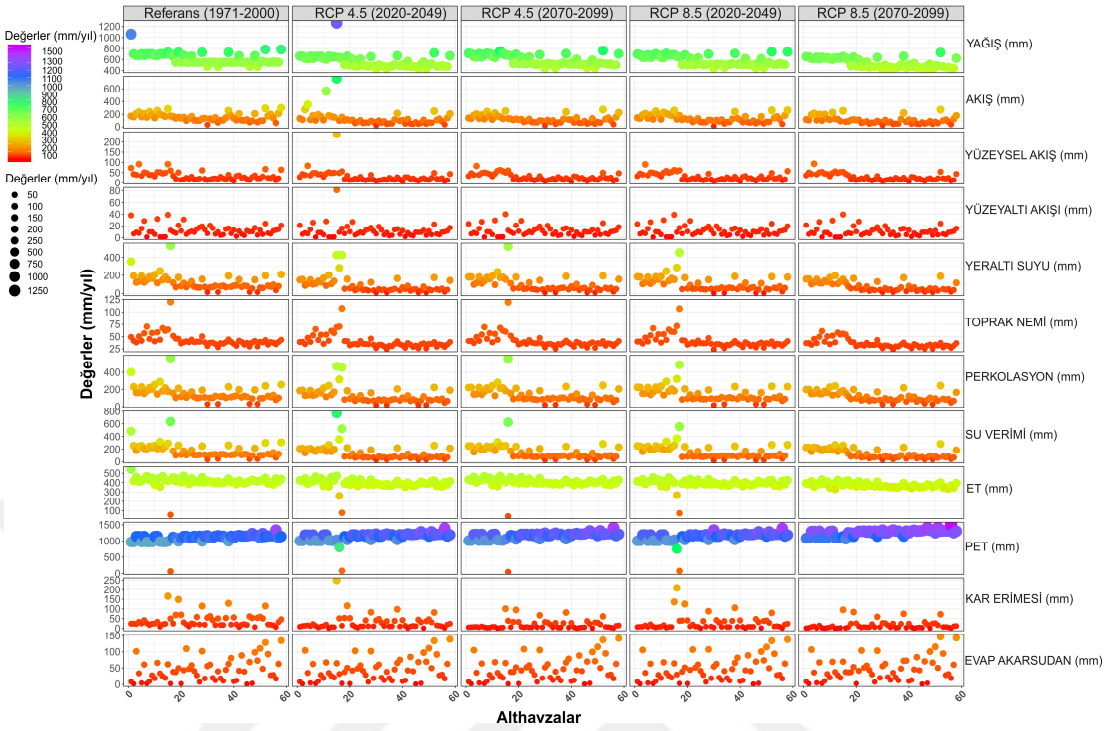
Şekil 45: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin Kernel yoğunluk fonksiyonlarının kartiller ile gösterimi grafikleri.

Buna göre özellikle tüm parametrelerde dikkat çeken konu referans dönemine tüm senaryolarda 2. Çeyrekliğin her ne kadar azalmasına rağmen dördüncü çeyrekliklerinde gelecek yıllarda sağa doğru uzamasıdır. Bu durum önceki grafikle de uyumlu bir şekilde her ne kadar ortalamaların azalmasına rağmen uç değerlerin artışında bir genişleme olacağını göstermektedir. Ancak burada potansiyel ile akarsudan gerçekleşen buharlaşma değerleri, tam tersi durumda hem 2. çeyrekliğinde hem de 3. çeyrekliklerinde genişleme dolayısıyla da artış göstermektedir.

4.4.2.2. Susurluk Havzasında Su Dengesi Bileşenlerinin Alansal Değişimleri

Önceki alt bölümde tüm Susurluk havzasında aylık havza genelinde ortalamaları alınan parametrelerin değişimleri ve göstermiş oldukları değişkenlikler geniş bir şekilde ele alınmıştır. Bu kısımda Susurluk havzasında 58 alt havzanın tüm parametrelerdeki değişkenlikleri ve referans dönemi (1971-2000) temelinde RCP 4.5 ve RCP8.5 senaryolarının yakın ve uzak gelecekte göstermiş oldukları değişimlerin yüzdesel değişimleri ele alınacaktır.

Öncelikle Susurluk'un her bir alt havzasının referans ve tüm senaryolardaki 30 yıllık uzun dönem ortalamaları alınıp karşılaştırılmıştır. 58 alt havzanın sıralanışı Susurluk havzasının alt çığırından başlayıp üst kısma doğru gider. Diğer bir deyişler 1 numaralı alt havza Susurluk havzasının çıkış kısmı olup rakam arttıkça havzanın üst kısımlarına doğru geçiş yapar (Şekil 46). Susurluk havzasında grafiği çizilen parametrelerin değerleri havzaların alt çığırdan üst çığıra doğru geçmesiyle kademeli olarak azalır. Ancak akarsular ova kısmına geldiğinde neredeyse tüm parametrelerde artış göstermektedir. Fakat yüzeysel akış gibi parametrelerde değerlerin alt havzalardaki dağılışında rasgelelik bulunmaktadır ki bu durum hidrojeolojik ve arazi kullanımı koşullarıyla ilgili olabilir. Diğer yandan her bir parametrenin alt havza içerisinde her ne kadar davranışı değişmese de tüm buharlaşma parametreleri haricinde hepsinin uzak gelecekte hacminde azalmanın görülmesi dikkat çekicidir. Örneğin yağış parametresinin referans değerlerine bakıldığında 800-470 arasında değişen değerleri, RCP8.5'in uzak gelecek kısmında 650-400 mm arasında değişen bir aralığa girmiştir. Akış, yüzeysel ve yüzeyaltı akışı, yeraltı suyu, perkolasyon, ve su verimi değerleri de bu durumu benzer bir şekilde yansıtmaktadır.

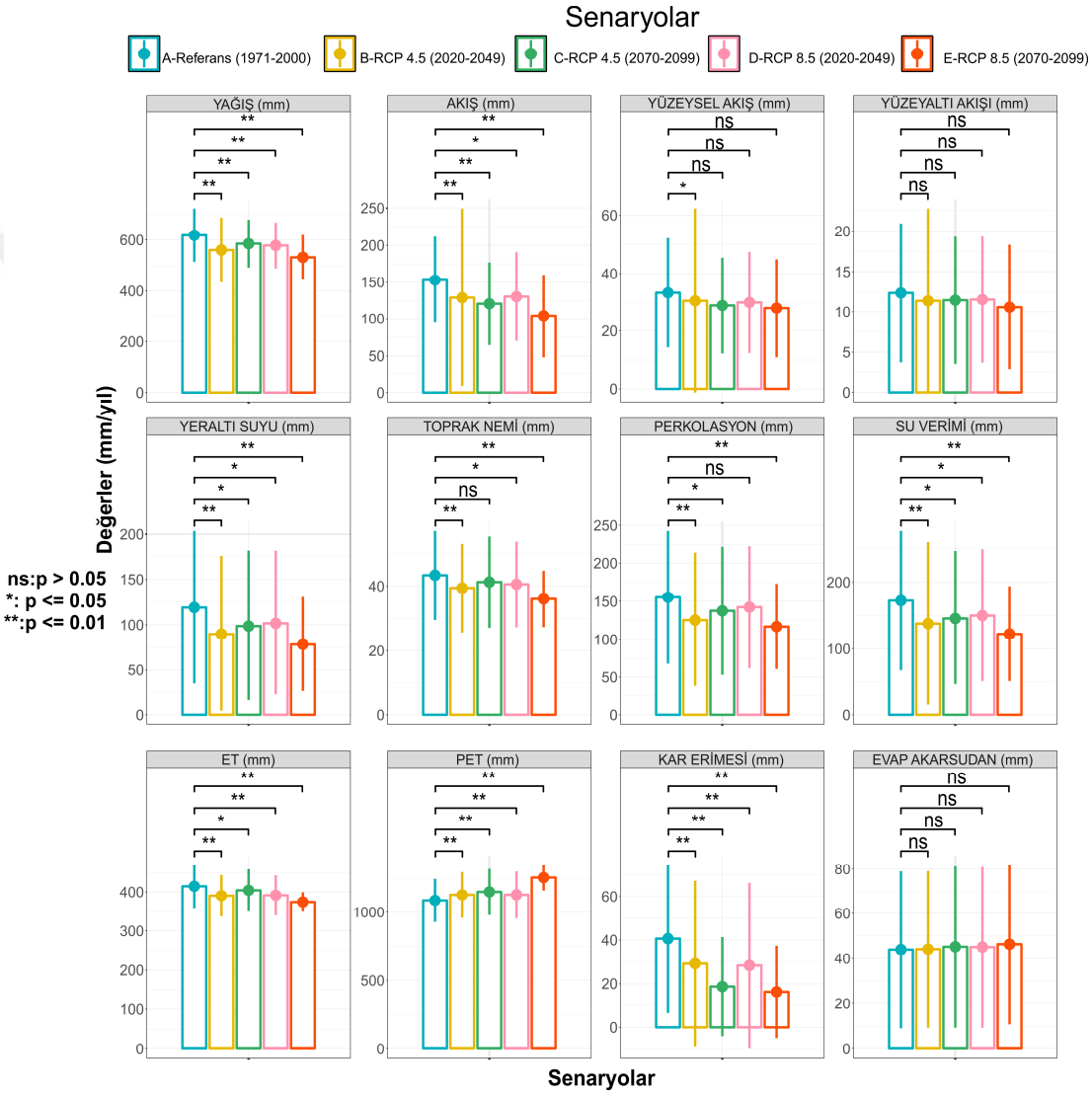


Şekil 46: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin her bir alt havzada ve senaryoda uzun yıllar ortalamalarının değişimleri.

Diğer taraftan kar erimeleri referans değerlerinde üst havzalarda en fazla olmak üzere 10-150mm arasında alt havzalarda değişiklik gösterirken birkaç havza hariç olmak üzere 2-50 mm arasında neredeyse iki katlık bir azalma ile kendini öne çıkarmaktadır. Gerek aktüel gerekse potansiyel ve akarsudan gerçekleşen buharlaşma değerleri ise önceki grafiklerde havza ortalamasına benzer şekilde tüm senaryolarda ve alt havzalarda artış göstermektedir. Burada en dikkat çeken kısım ise her ne kadar azalış gösterse de diğer parametrelere nispeten daha az azalış gösteren toprak nemidir. Hem önceki grafiklerde hem de bu grafikte gözükmektedir ki, toprak nemi burada en az etkilenen parametre olarak öne çıkmaktadır. Bunun haricinde alt havzalardaki değişkenliklere bakınca burada en yüksek değerler Uludağ ve civarındaki havzalarda gözükmekte ve tüm senaryolarda ve tüm parametrelerde en az azalış burada olmaktadır.

Susurluk havzasında oluşturulan tüm alt havzalardaki değerlerin referans ve senaryolara göre ortalaması ve standart sapmaları ile birlikte gösterilerek yıllık grafikleri oluşturulmuştur. Uzak ve yakın gelecekteki ortalamalarının referans dönemine göre istatistik açıdan anlamlı bir fark olup olmadığını anlamak için aylık Box-Plotlara uygulandığı gib Wilcoxon rank testi %5 ve %1 anlamlılık seviyesine göre

kullanılmıştır. Bütün parametrelerin değerlerine bakıldığında yağış, akış, yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı, yeraltı suyu, toprak nemi, perkolasyon, su verimi, aktüel evapotranspirasyon ve kar erimesinde referans dönemi göre azalmalar görülürken potansiyel evapotranspirasyon ve akarsudan evaporasyon değerlerinde ise referans dönemine göre azalış göstermektedir (Şekil 47).



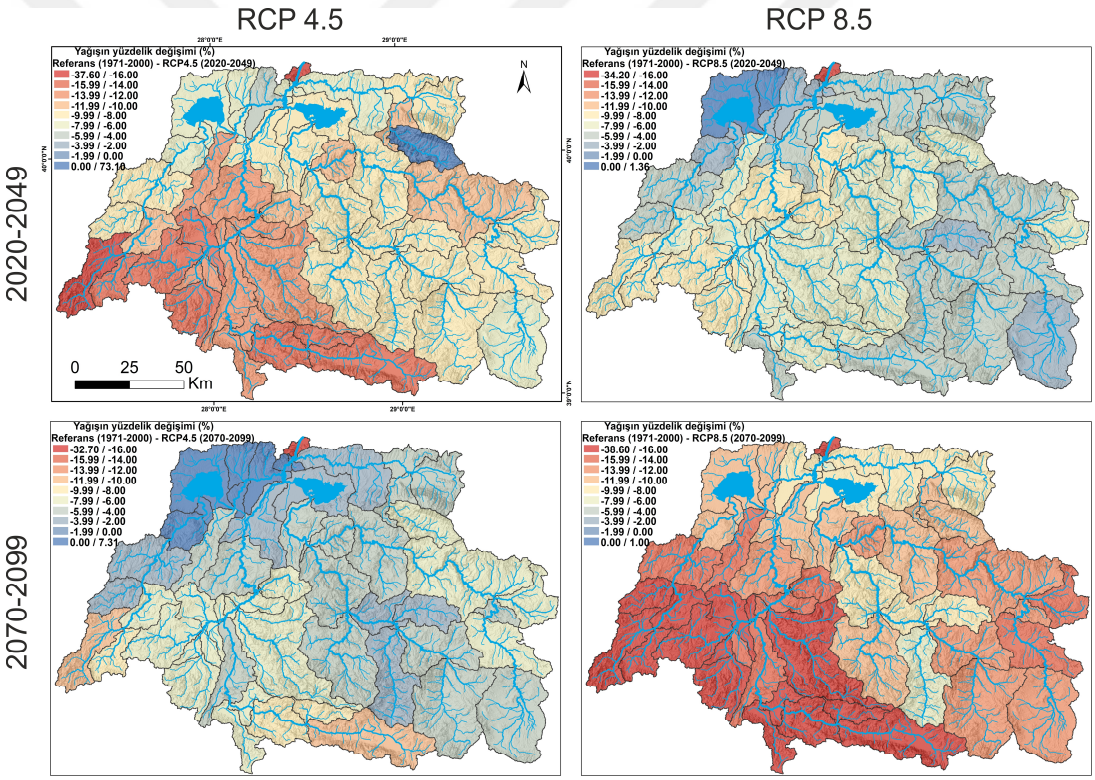
Şekil 47: Susurluk havzasındaki ele alınan parametrelerin her bir senaryodaki uzun yıllar ortalamaları ve standart sapmaları.

Ancak bu artış ve azalışlara bakıldığında ise RCP 4.5 senaryosunun yakın gelecek kısmında (RCP 4.5 2020-2049) ise azalışlar belirgin olmakla birlikte havza içerisindeki parametrelerin değerleri değişkenlikleri yüksek olduğu için standart sapmaları yüksek çıkmaktadır. Ayrıca RCP 8.5 uzak gelecek kısmında ise (RCP 8.5 2070-2099) tüm havzaya azalışlar egemen olduğu için değişkenlik azalmakta ve standart sapması

düşmektedir. Öte yandan, yüzeysel akış, toprak nemi, perkolasyon ve akarsudan gerçekleşen evaporasyon'un bazı senaryoları haricinde tüm parametrelerdeki değişimler istatistik açıdan anlamlıdır.

Parametrelerin azalışlarını ve artışlarını mekânsal olarak belirlemek için parametrelerin referans dönemine göre farklarının yüzdelik haritaları çizilmiştir.

Yağış parametresinin artış ve azalışlarına bakıldığında tüm senaryolarda ve zaman aralıklarında neredeyse tüm alt havzalarda farklı oranlarda olmak üzere azalışlar hâkimdir. Ancak burada senaryoların tamamında belirgin azalış gösteren iki alt havza öne çıkmaktadır. Bunlardan birincisi Simav Çayı diğeri ise Kocaçay havzası ve civardır (Şekil 48).

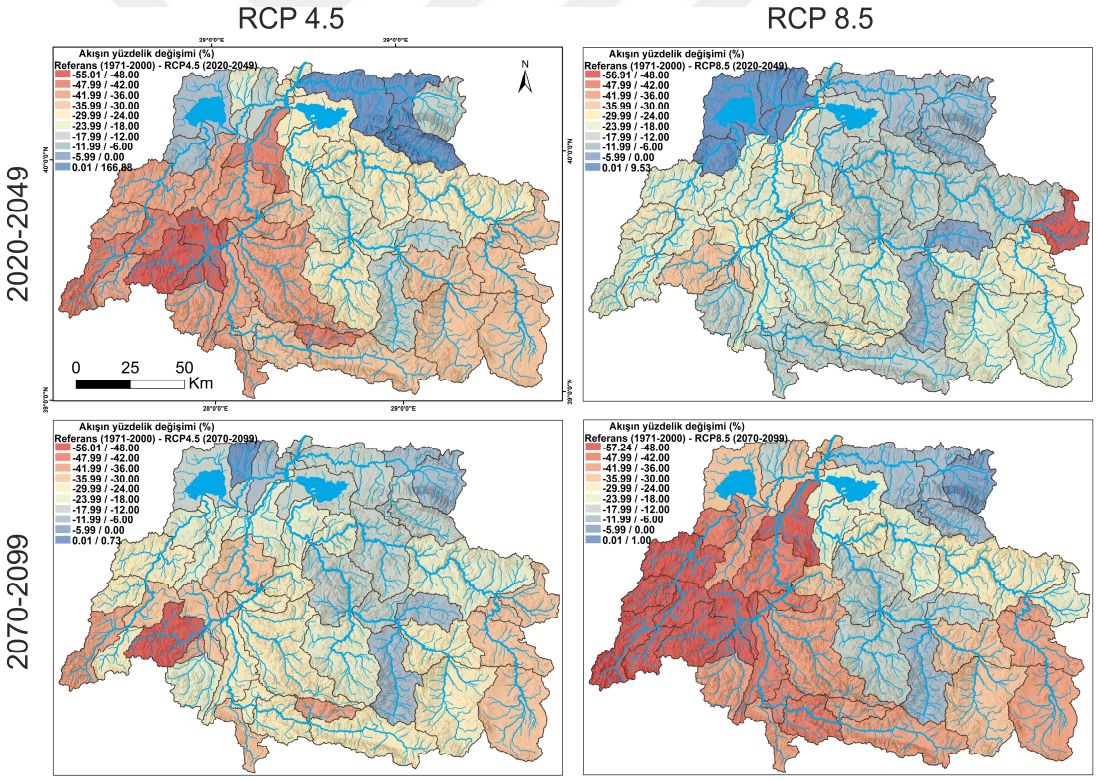


Şekil 48: Yağış ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

Bunun haricinde Emet ve Orhaneli çayı havzalarında ise görece olarak diğer havzalara göre düşük azalma görülmektedir. RCP 4.5 senaryosunun yakın gelecek (2020-2049) sonuçlarına göre Nilüfer çayının üst çığırında Uludağ civarında sadece bir artış görülürken, Susurluk havzasının geri kalan bütün alt havzalarında farklı büyüklüklerde azalışlar hakimdir. Ayrıca aynı senaryonun uzak gelecek (2070-2099) senaryosu ise yakın geleceğe göre emisyonların azalması senaryosu gereği (IPCC,

2013; Van Vuuren vd., 2011) azalışların magnitünde azalma ve Manyas Gölü ve çevresindeki alt havzalarda ise artış gözükmektedir. RCP8.5 senaryosunun yakın gelecek kısmında ise azalışlar RCP4.5 senaryosuna oranla magnidütü de az olmakla beraber, Manyas Gölü'nün etrafındaki havzalar haricinde azalışlar görülür. RCP8.5 senaryosunun uzak gelecek kısmı ise en kötü senaryo kısmını içermektedir. Bu senaryoda Susurluk havzasının tamamında referans dönemine oranla %36'lara varan azalışlar belirlenmiş ve burada en fazla azalışlar alansal olarak Simav Çayı ile Kocaçay havzasında görülmektedir. (Şekil 48).

Akış değerlerinin artış ve azalışları incelendiğinde ise RCP4.5 ve 8.5 senaryolarının yakın gelecek kısmında Susurluk havzasının neredeyse tamamında bir azalış görülmektedir (Şekil 49). Ancak bu senaryolarının yakın geleceklerinde Nilüfer çayı havzası ile Manyas Gölü çevresindeki alt havzalarda artış görülmektedir.

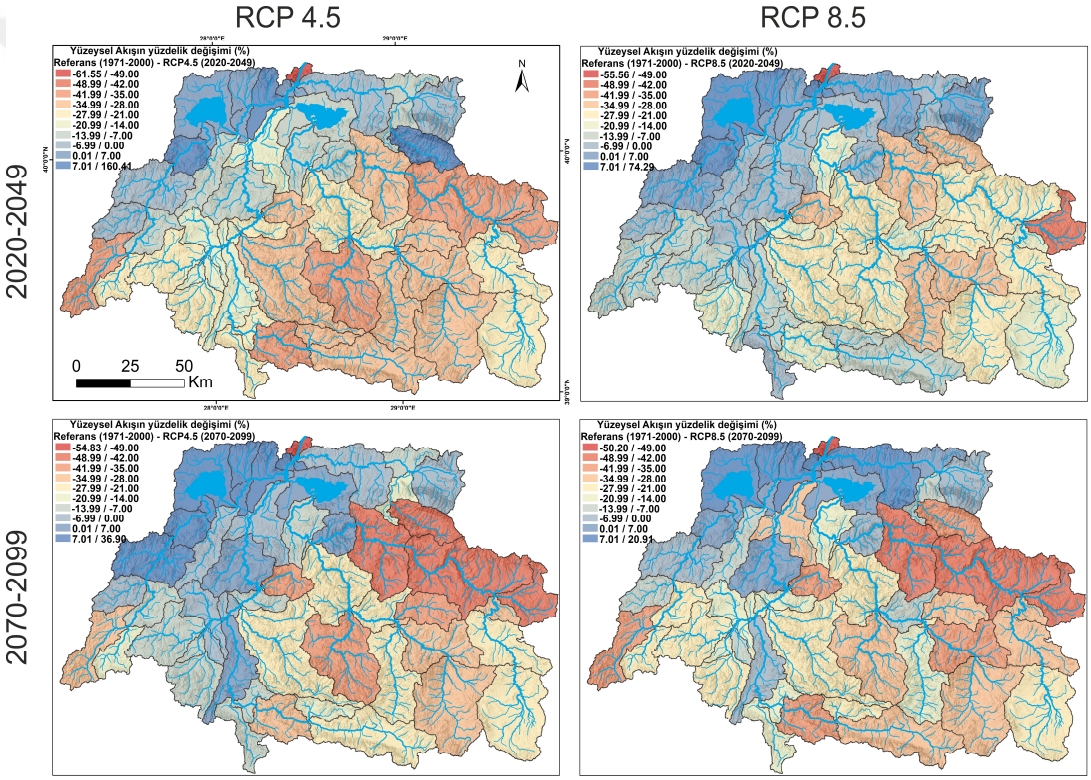


Şekil 49: Akış ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

RCP4.5 senaryosunun yakın geleceğine bakıldığında Simav Çayı havzası ile Koca Çayı havzası ve Emet ve Orhaneli çayının üst çığırları en fazla azalışın olduğu alanlardır. Referans dönemine göre senaryolardaki azalmalar bazı alt havzalarda %50'lere kadar ulaşmaktadır. Öte yandan her iki senaryonun uzak gelecek

durumlarına bakıldığında ise tüm senaryoların referans dönemine göre Susurluk havzasının tamamında azalışlar göstermektedir. Bu azalışlarda ise RCP4.5 senaryosu yakın geleceğe göre şiddeti azalmış olsa da RCP8.5 senaryosu ise azalışların en çok görüldüğü senaryodur. Uzak gelecekteki azalışlar benzer şekilde Simav ve Koca Çayı alt havzalarında en şiddetlidirler ve birçok havzada %60'lara varan azalışlar egemen olduğu görülmektedir (Şekil 49).

Yüzeysel akış değerlerinin yüzdesel artış ve azalışları incelendiğinde yağış ve akış değerlerine benzer şekilde havza içerisinde genel olarak azalma gösterseler de bu artış ve azalışların alansal dağılışları diğer parametrelerden farklılaşmaktadır.

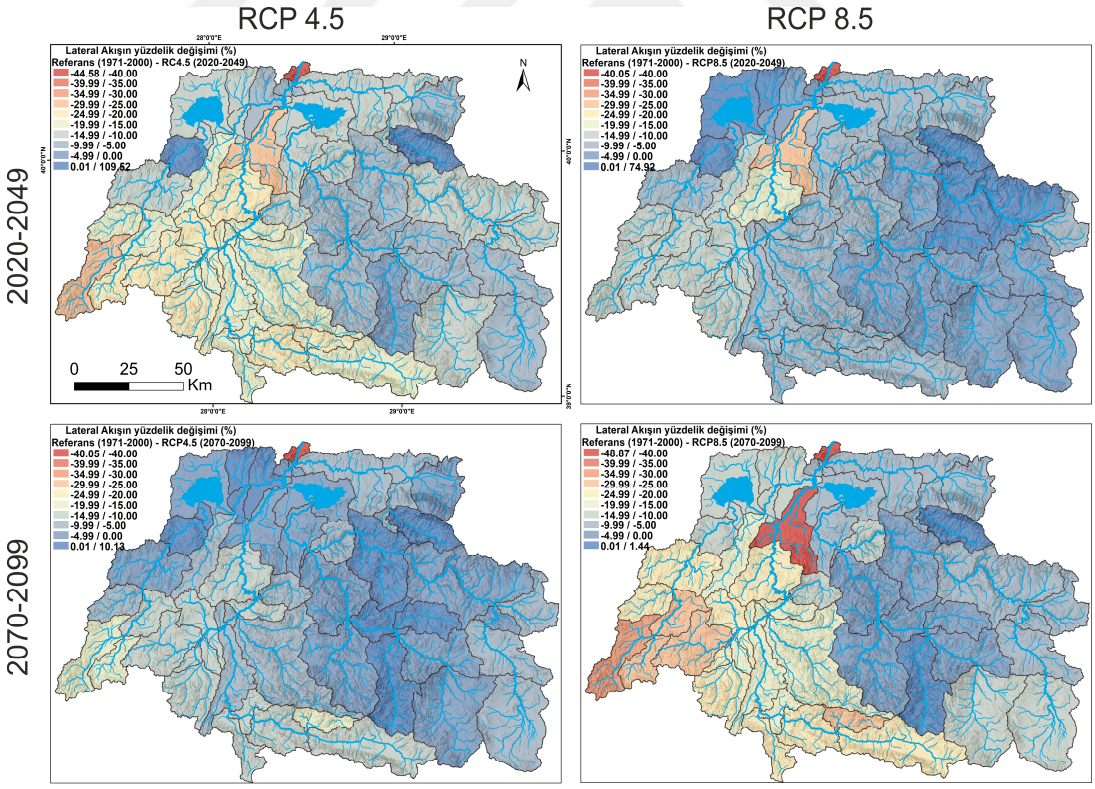


Şekil 50: Yüzeysel akış ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

Buna göre yüzeysel akışın RCP 4.5 ve 8.5 senaryolarının yakın geleceğinde özellikle Orhaneli, Emetçayı daha şiddetli olmak üzere Simav ve Koca çayın üst çığırlarındaki alt havzalar dahil en fazla %40-55 arasında azalma göstermektedir. Bunun tersine Nilüfer Çayındaki alt havzalar ile Manyas Gölünün çevresindeki havzalarda yüzeysel akışlarda bir artış gözükmektedir (Şekil 50). RCP4.5-8.5 senaryolarının dağılışları ise aşağı yukarı benzerdirler. Buna göre yüzeysel akışların en fazla azalması beklenilen havza Orhaneli ile Emet çayı havzasıdır. Buralardaki azalmalar %50-54

seviyelerindedir. Diğer yandan artışlar ise Koca çay ile Simav Çayının aşağı çığırlarındaki havzalarda görülmektedir. Artış değerleri maksimum %20-30 civarında gözükmektedir (Şekil 50).

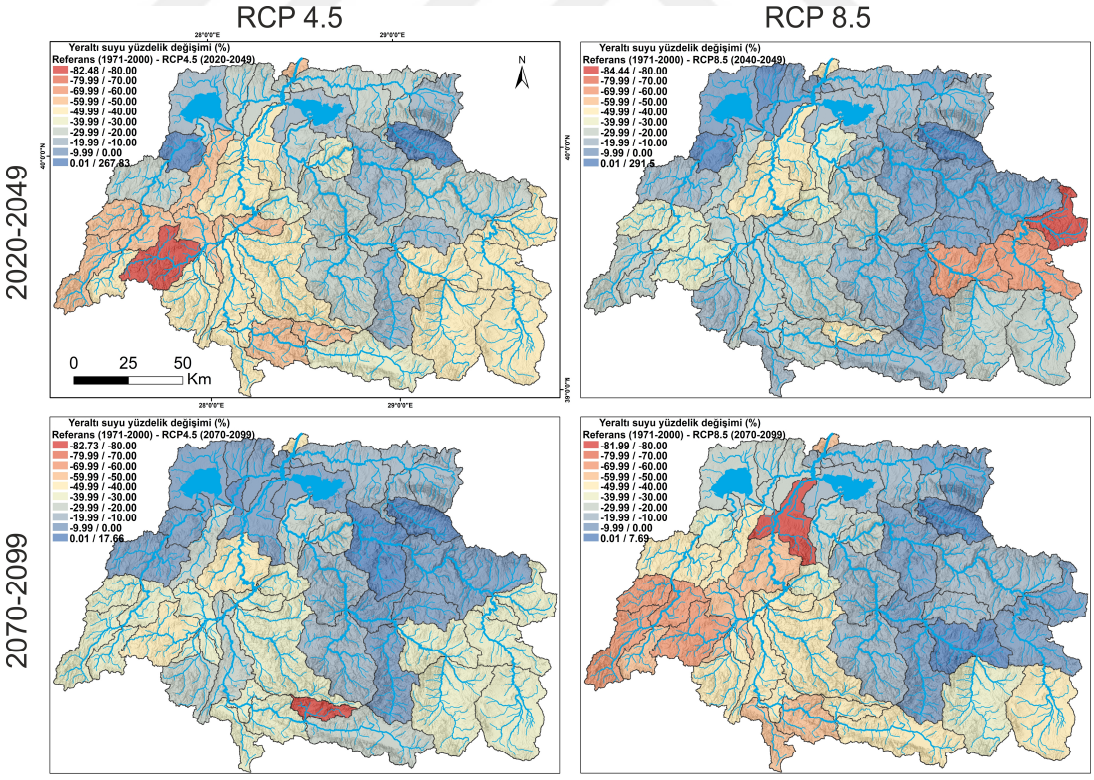
Yüzeyaltı (Lateral) akışın senaryolara göre değişimlerine bakıldığında benzer şekilde yağış ve akış değerlerinin alansal dağılışlarını yansıtmaktadır. RCP4.5 yakın gelecek kısmında Nilüfer Çayı ve Manyas Gölü'nün üzerindeki alt havzası dışında Kocaçay ve Simav Çayında daha şiddetli olmak üzere tüm Susurluk havzasında azalışlar göstermektedir. Öte yandan RCP8.5 senaryosunun yakın zaman kısmında benzer bir azalma dağılışı görülürken bazı alt havzalarda ise artış görülmektedir. RCP 4.5 senaryosunun uzak gelecek kısmında ise de azalışlar olmakla birlikte şiddeti daha az iken RCP 8.5 senaryolarında azalışların yüzdesel oranı en fazladır ve yağış havzalarındaki azalmaya benzer şekilde bir alansal dağılıştadır (Şekil 51). Var olan tüm azalışlara bakıldığında tüm senaryolarda yüzeyaltı akışın maksimum derecede yaklaşık %40 seviyesinde azaldığı görülür (Şekil 51).



Şekil 51: Yüzeyaltı akış ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

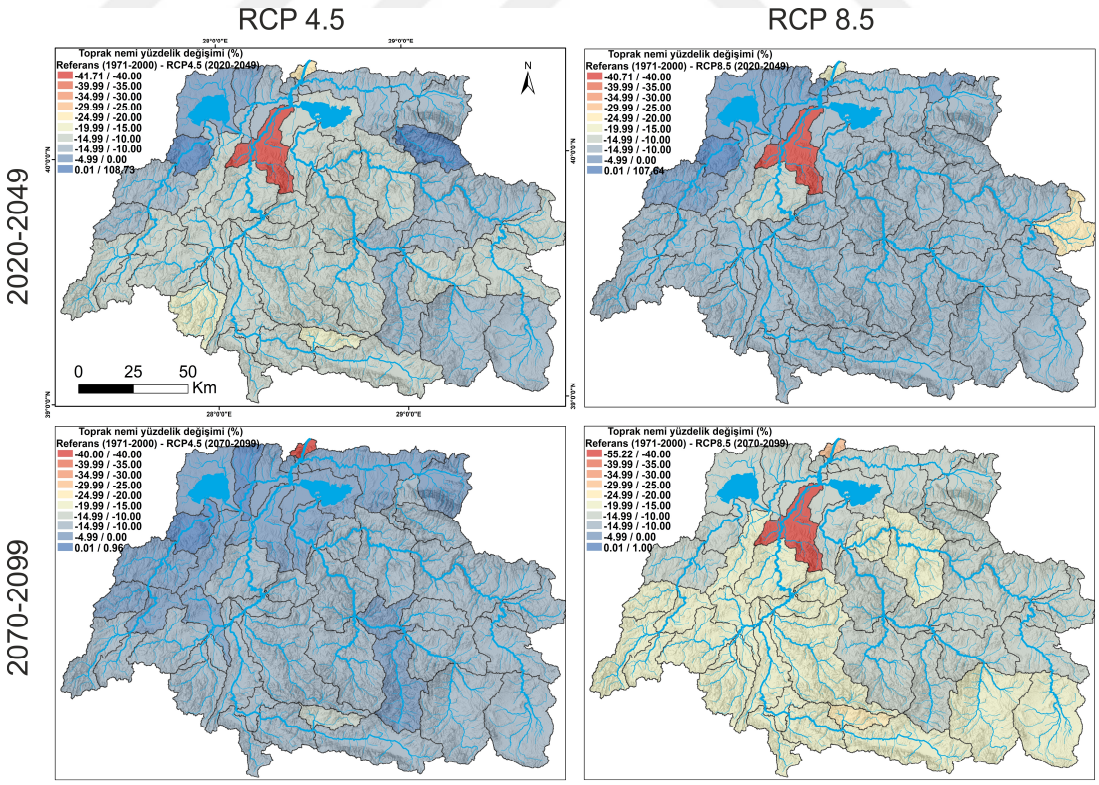
Yeraltı suyu parametrelerinin tüm gelecek senaryolarının referans değerlerine oranla değişimleri incelendiğinde ise egemen olan yüzdelik değişimin diğer parametrelere

benzer şekilde yine azalma olduğu ve alansal olarak azalmanın en fazla olduğu yerin Simav Çayı ile Koca Çay havzalarının olduğu görülmektedir. Bu durum bir bakımdan su yönetimi açısından önemli bir konuyu oluşturmaktadır zira hidrojeolojik haritalar incelendiğinde en verimli akiferlerin bu havzalar olduğu görülmektedir. Bu bakımdan bu havzalarda yağışın ve aynı şekilde kar erimelerinin de azalması sonucunda doğal olarak yeraltı suyunun da geri besleme düzeneklerinde bir negatif geri beslemeye yol açmış ve bu bakımdan azalmalar meydana gelmiştir. Özellikle burada referans dönemine oranla maksimum seviyede %85'lik bir oranla azalmanın olması yeraltı suyu kaynakları bakımından birçok problemin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Yeraltı suları özellikle bahar ve yaz aylarında pozitif geri besleme düzeneği açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu bakımdan RCP4.5 ve 8.5 yakında ve uzak gelecek senaryolarında Uludağ civarı ile Manyas Gölündeki birkaç havza haricinde Simav Çayı ile Kocaçay başta olmak üzere neredeyse tüm Susurluk havzasında yeraltı suyu azalması kuraklık ve su yönetimi açısından önemli bir gösterge görevi görmektedir (Şekil 52).



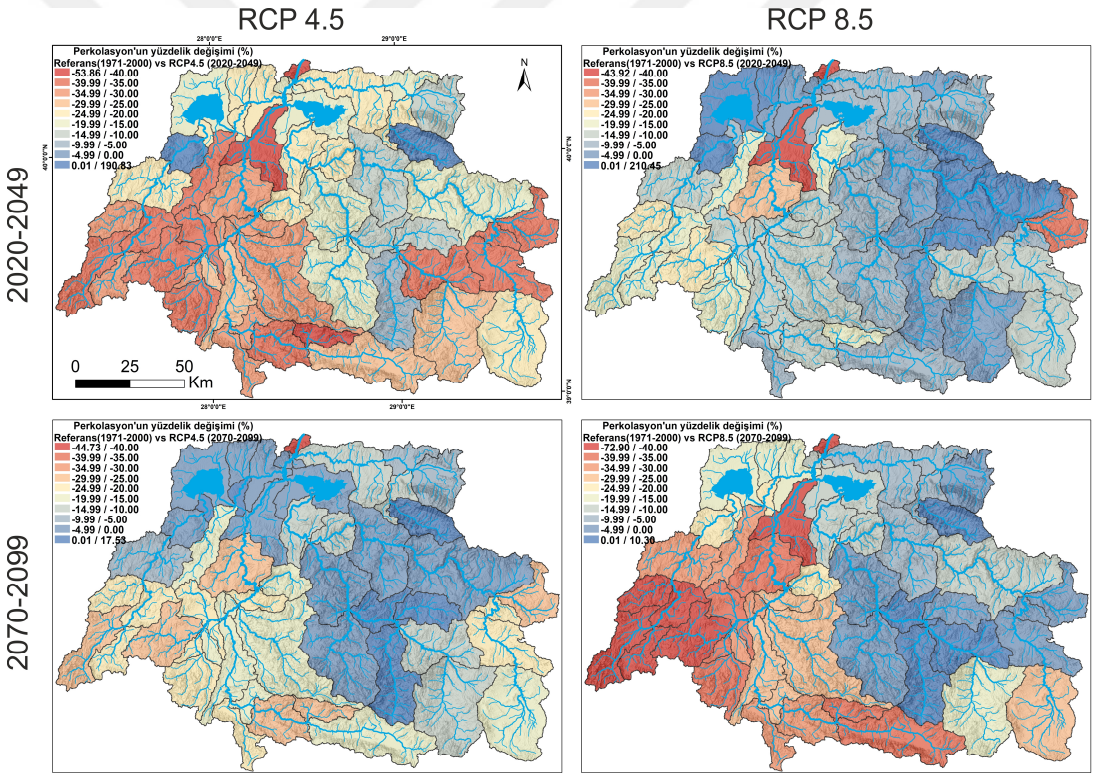
Şekil 52: Yeraltı suyu ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

Susurluk havzasında toprak neminin tüm senaryo ve tüm zamanların değişimleri incelendiğinde ise yüzeysel akış haricindeki önceki parametrelerin benzeri şekilde azalma gösterdiği ve bu azalmanın da alansal olarak benzer bir dağılış sergilediği görülmektedir. Toprak neminin değişiminin tüm senaryolarda maksimum %40'larda azaldığı görülürken, genel olarak Susurluk havzasının alt havzalarında %20'lik azalmaların daha fazla egemen olduğu görülür. Burada RCP senaryolarının en kötü durumunu yansıtan RCP 8.5 senaryosunun belirgin bir şekilde en fazla azalacağı görülmektedir. Ayrıca tüm senaryoların yakın ve uzak gelecek durumlarına bakıldığında ise artışın diğer parametrelerde olduğu gibi sadece Nilüfer Çayı'nın üst çığırında bulunulan ve Uludağ'dan beslenen alt havza ile Manyas Gölü ve çevresindeki alt havzalarda olduğu görülmektedir. Buna göre diğer parametrelerde olduğu gibi en fazla azalmanın etkileneceği havzalar Simav Çayı ile Kocaçay havzalarının olması öngörülmektedir. Bunun yanı sıra RCP8.5 uzak gelecek senaryosu ayrıca Emet ile Orhaneli Çayı havzalarının üst çığırlarındaki alt havzalarda ayrıca yüksek miktarda bir azalmayı öngörmektedir (Şekil 53). Ancak genel olarak tüm parametreler içerisinde en az azalmanın yaşandığı parametre toprak nemidir.



Şekil 53: Toprak nemi ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

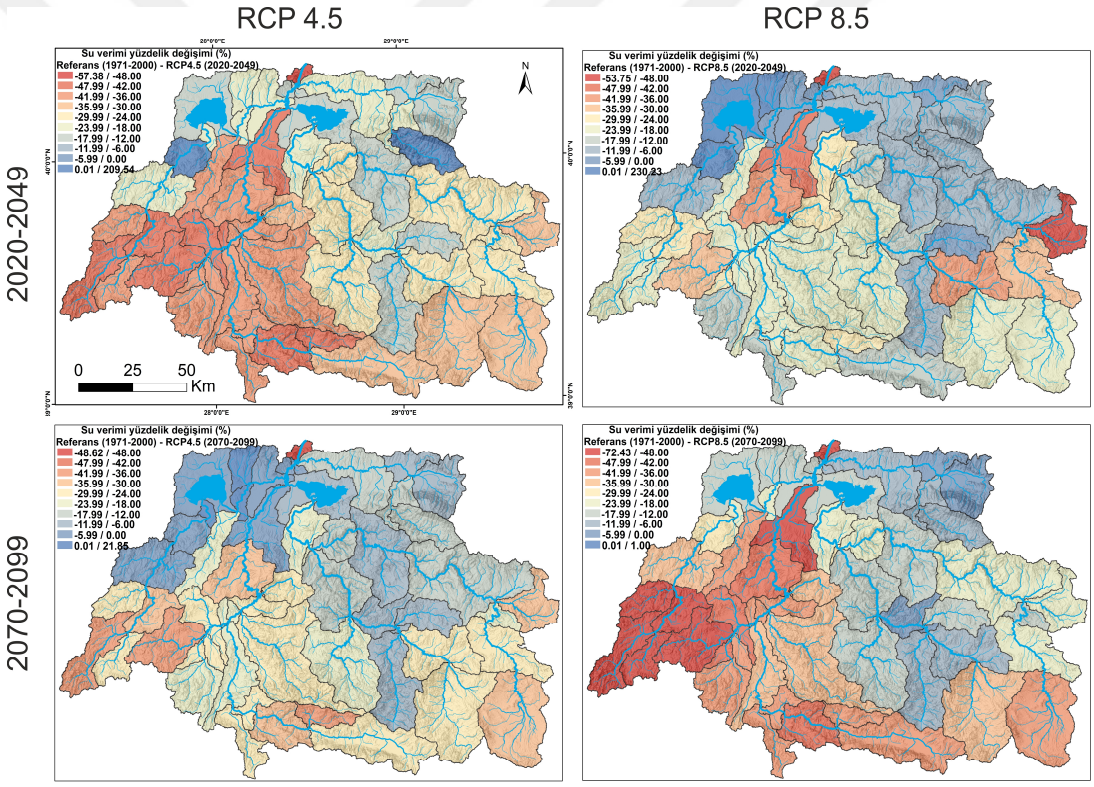
Perkolasyon değerlerinin ayrıca tüm senaryolardaki uzun yıllar ortalamaları referans dönemi ile karşılaştırılmıştır. Artış ve azalışların dağılışları incelendiğinde diğer parametreler ile benzerlik taşımaktadır. Ancak burada göze çarpan ve diğer parametrelerden ayıran özellik ise tüm senaryoların yakın ve uzak gelecek dönemlerinde artışların çok kuvvetli olmasa da birçok havzada görülmesidir. Özellikle benzer şekilde Simav Çayı ile Kocaçay havzalarında en fazla azalmalar görülürken aynı zamanda diğer parametrelerin tersine Orhaneli ve Emet havzalarında başta olmak üzere Nilüfer Çayı ile Manyas Gölü ve civarındaki alt havzalarda çok kuvvetli olmayan artışlar görülmektedir. RCP8.5 senaryosunun uzak gelecekte en fazla azalışlar görülürken, Simav Çayı ile Kocaçay alt havzaları burada başı çekmektedir. Diğer yandan Susurluk havzası genelinde ise azalışlar hakimdir (Şekil 54).



Şekil 54: Perkolasyon ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

Su yönetimi açısından önemli bir parametre olan su veriminin dağılış haritası çizildiğinde, tüm Susurluk havzasında referans dönemine göre su veriminin tüm senaryolarda azaldığı aşikardır. Bu koşullar su yönetimi açısından kurak dönemlerin görülmesi ve tarımda su kıtlığı açısında önemli bilgiler vermektedir. Su veriminin hesaplanmasında kullanılan tüm parametrelerde yüzeysel akış haricinde artış ve

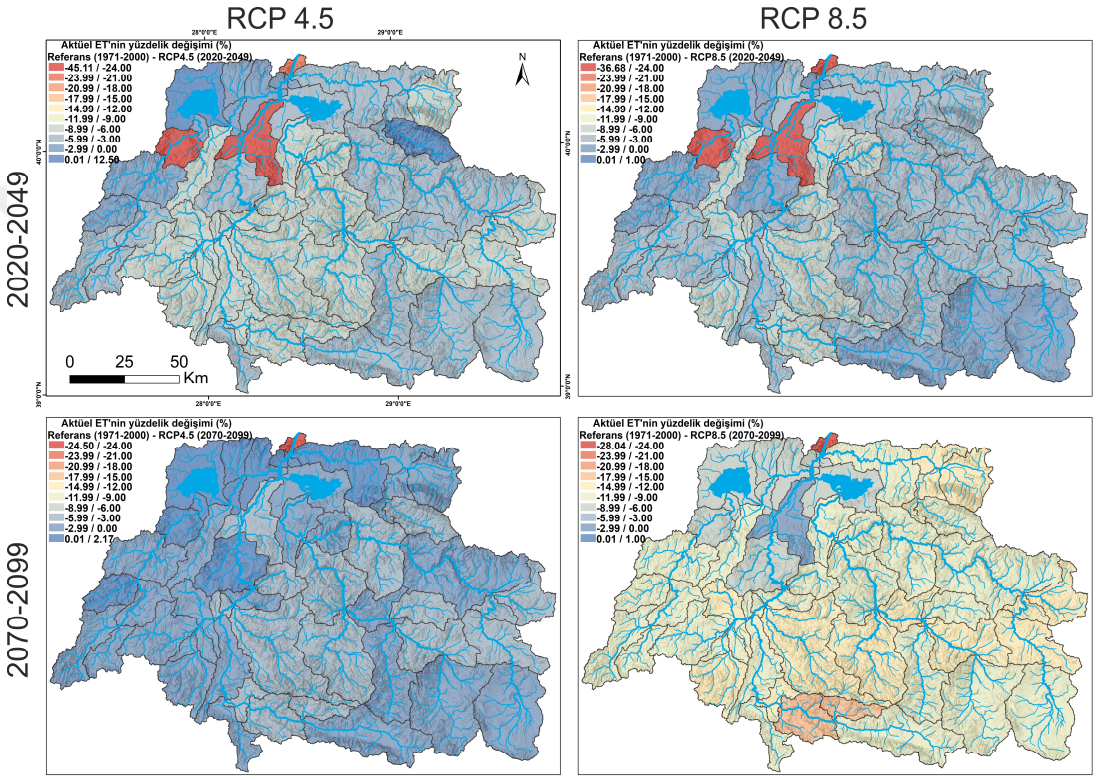
azalışların dağılışında alansal uyumun olması, su veriminin de benzer bir alansal dağılışa sahip olmasına sebebiyet vermiştir. RCP 4.5 senaryosunun yakın geleceğine bakıldığında Uludağ ve Manyas civarındaki alt havza haricinde tüm alt havzalarda azalma görülmektedir. Ancak en fazla azalma Simav Çayı ile Kocaçay alt havzalarındadır. Bu senaryonun uzak gelecek bölümünde azalma olsa da şiddeti azalmaktadır. Öte taraftan RCP 8.5 senaryosunun yakın geleceğinde ise Manyas Gölü çevresinde artışlar gözükürken, genel olarak Susurluk havzasında azalışlar egemendir. Bu azalışlar aynı senaryonun uzak geleceğinde ise daha da şiddetlenme ve Susurluk havzasının alt havzalarında %70'lere varan değişimlere ulaşmaktadır. (Şekil 55).



Şekil 55: Su verimi ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

Su dengesinin hesaplanmasında önemli bir konu aktüel evapotranspirasyon değerlerinin referans dönemine oranlanmış yüzdesel değişimlerinin tüm senaryolar ve tüm zaman aralıklarına bakıldığında, havzalarda artış ve azalışların olduğu görülmektedir. Ancak azalışların yüzdelik oranları önceki parametreler gibi yüksek düzeyde değildir. Diğer parametrelerde artışın olduğu Nilüfer Çayı havzasının üst çığırı ile Manyas Gölü ve çevresindeki alt havzalarda artış görülürken geri kalan

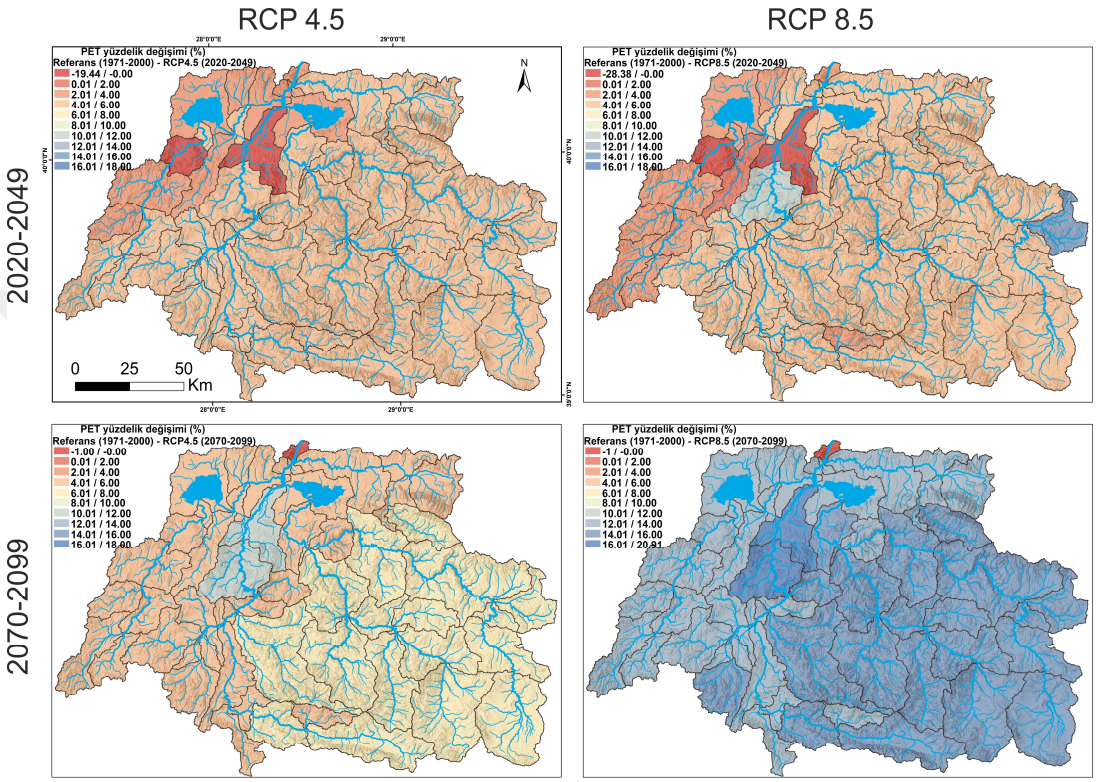
kısımlarda ise azalışlar görülmektedir. RCP4.5 senaryosunun yakın gelecekti azalmaların olmakla birlikte uzak geleceğe doğru alansal olarak artışların olduğu göze çarpmaktadır. RCP8.5 senaryosunda ise yakın gelecekte azalma görülürken bu azalma ve artışlar birlikte görülürken uzak gelecek kısmına geçildiğinde azalışlar daha şiddetlenmektedir. En fazla azalma Simav Çayının aşağı çığırı ile Susurluk'un ağız kısmında %28 seviyelerinde görülmektedir (Şekil 56).



Şekil 56: Aktüel evapotranspirasyon ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

Tüm parametreler içerisinde her bir senaryoda oldukça yüksek bir şekilde artış gösteren tek parametre potansiyel evapotranspirasyon değerleridir. Burada özellikle RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının yakın gelecekteki durumları incelendiğinde aşağı yukarı benzer koşullar sergilemektedir. Her iki senaryo yaklaşık olarak %8'lik bir artış sergilemektedir. Görülen bu artış değerleri Susurluk havzasının alt havzalarında homojen bir dağılış sergilemektedir. Bunun yanı sıra iki senaryonun uzak dönemindeki potansiyel evapotranspirasyon değerlerine bakıldığında ise neredeyse %20'lere varan bir artış göstermektedir ki, bu durum su dengesin negatif vermesi açısından oldukça önemlidir. Özellikle Susurluk havzasının Emet ve Orhaneli Çayı

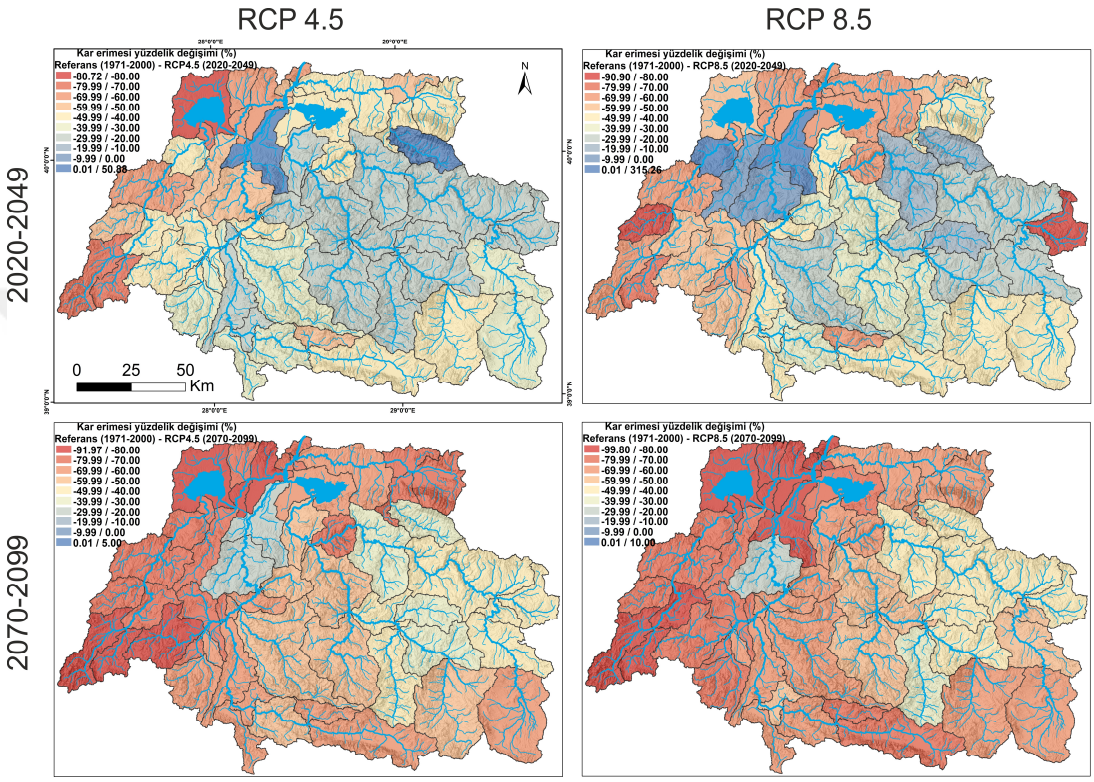
havzalarındaki alanlarda görece olarak daha fazla artış görüldüğü tespit edilmiştir. Ancak her bir senaryonun artışlarına bakıldığında Susurluk havzasında artışlar tüm alt havzalarda önceki senaryoların yakın gelecekleri gibi alansal olarak homojen bir şekilde dağılmaktadır (Şekil 57).



Şekil 57: Potansiyel evapotranspirasyon ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

Modelleme sonucu elde edilen parametrelerden en keskin şekilde değişiklik gösteren parametre ise kar erimeleridir. RCP4.5 ve 8.5 senaryolarının yakın gelecek kısmında Susurluk havzasının birkaç alt havzası dışında neredeyse tamamında azalma görülmektedir. Uludağ çevresinde bir alt havza ile Simav Çayının aşağı çığırı civarındaki birkaç havzada artış olmasına karşın geri kalan tüm havzalarda en yüksek değeri %90'lara varan azalmalar görülmektedir. Diğer yandan RCP4.5 ve 8.5 senaryolarının uzak ve yakın gelecek kısımlarında ise bazı alt havzalarda artış görülmekle birlikte, Susurluk havzasının neredeyse tamamında azalışlar daha da şiddetlenmektedir. Burada azalışlardan direkt olarak etkilenen alt havzalar haritada görüldüğü üzere yükseltisi fazla olmayan ovalık alanlar ile Simav Ovası gibi tektonik anlamda çöküntü ovalarıdır. Bu bakımdan Susurluk havzasının doğu kısmında da her

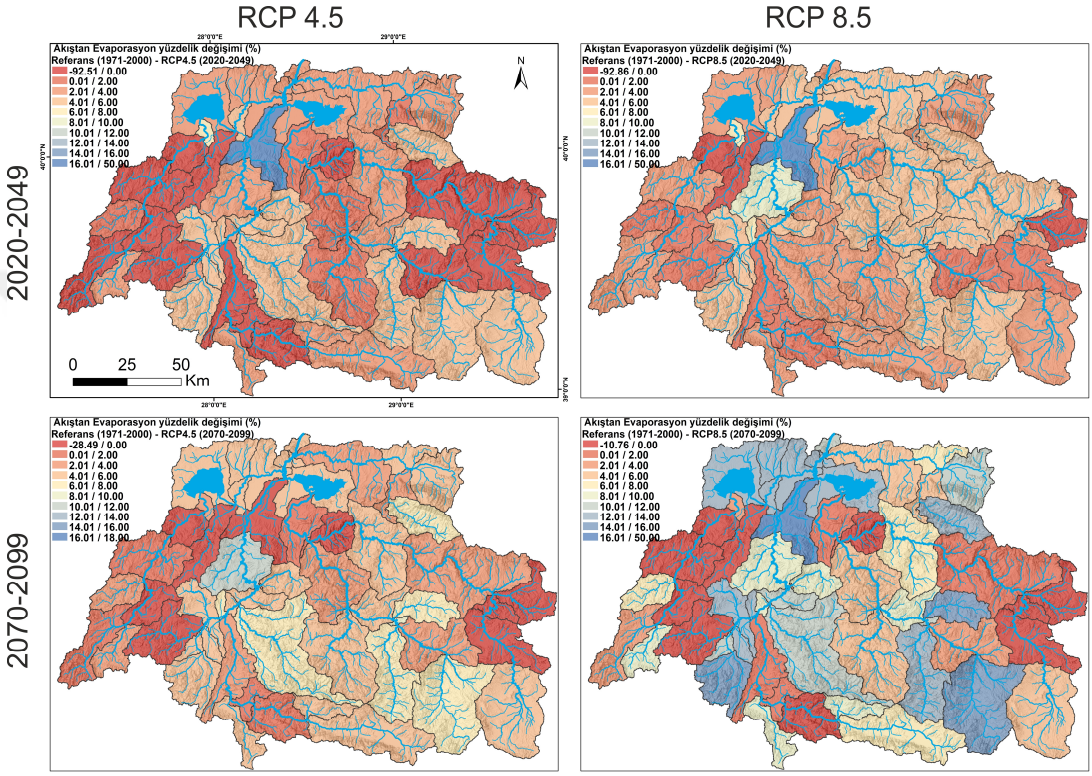
ne kadar %50'lere varan azalmalar görülse de ovalardaki azalmalar birçok yerde %98 civarına varmıştır. Bu durum kar yağış tipinin alçak alanlarda artık kar yağışından ziyade yağmur olarak yağması ile alakalı olabilecek önemli ipuçları barındırmaktadır (Şekil 58).



Şekil 58: Kar erimesi ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

Akarsulardan gerçekleşen evaporasyon miktarlarına bakıldığında, önceki parametrelerdeki gibi belli bir alanda artış veya azalışlardan ziyade rasgele olarak artışlar ve azalışlar gözükmektedir ve ayrıca potansiyel evapotranspirasyon gibi genel olarak birçok havzada yüksek artışlar göstermektedir. Burada RCP4.5 yakın ve uzak gelecekteki değişimlere bakıldığında, Kocaçay ve Orhaneli Çayı havzalarının bir kısmında negatif değerler gösterirken, Susurluk havzasının geri kalan kısımlarında ise akarsudan gerçekleşen evaporasyon değerleri artış göstermektedir. Diğer yandan bu iki senaryonun değişim oranları aşağı yukarı aynı olmaktadır. Ancak RCP8.5 senaryosunun uzak ve yakın gelecek kısmına bakıldığında farklılıklar kendini göstermektedir. Yakın geleceğin durumuna bakıldığında Kocaçay ve Orhaneli Çay'larındaki bir alt havza dışında Susurluk havzasının neredeyse tamamında akarsudan evaporasyon değerlerinde artış görülmektedir. Uzak gelecekte ise artışlar

egemen olmakla birlikte hem artışlar hem de azalışların şiddeti artmaktadır. Ancak genel olarak bakıldığında tüm senaryolarda ve tüm zamanlarda artışın yüzdelik oranları giderek artmakta ve şiddetini de arttırmaktadır (Şekil 59).



Şekil 59: Akarsudan gerçekleşen evaporasyon ortalamalarının referans değerlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo değerlerinden elde edilen farklarının yüzdesel değişimlerinin haritaları.

4.5. Genel Değerlendirme

Yapılan bu çalışma ile Marmara Denizi drenaj havzası içerisinde bulunan ve havzanın neredeyse üçte birini oluşturan Susurluk havzası pilot havza seçilerek iklim değişikliğinin etkisi bölgesel iklim modeli olan RegCM iklim çıktılarıyla SWAT yağış-akış modeli kullanılarak su bütçesi parametreleri ve yağış-akış ilişkisi üzerindeki etkileri, uç değer durumları ve su yönetimi çerçevesinde ele alınmıştır.

Elde edilen önemli bulgulardan birisi, oldukça kaotik olan ve yağış-akış modelinin en hassas girdi verisi olan veya diğer bir deyişle modelin en çok etkilenen girdi parametresi olan yağışın Uludağ dışında havzanın neredeyse tamamında bir pozitif taraflılık göstermesidir. Özellikle gözlem ve model değerlerinin kümülatif dağılım

fonksiyonlarıyla bu olay daha da iyi anlaşılmıştır. Diğer yandan sıcaklık verilerine bakıldığında ise RegCM modelinin bu parametreyi daha iyi modellediği ve değişkenliğini daha iyi tahmin ettiği elde edilen önemli sonuçlardandır. Minimum sıcaklık değerlerinin kümülatif dağılımları üst üste oturması bunun önemli bir göstergesidir. Bu bakımdan yağış gibi parametrelerin etki çalışmalarında önemli bir yeri olmasından dolayı bu parametrelerin taraflılık (ing: bias) düzeltmesine ihtiyacı vardır ve çalışmada bu gerçekleştirilmiştir.

Yağış-akış modellemesi sonucunda elde edilen birçok parametrenin hem uzun dönem aylık ve yıllık ortalamaları hem de alansal dağılışları ele alınarak çeşitli grafikler ve haritalar oluşturularak tüm parametrelerin uç değerleri ve uzun dönem değişimleri gösterilmiştir. Hem mevsimsel hem de aylık ve yıllık olarak yağış, akış, yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı, yeraltı suyu, toprak nemi, perkolasyon, aktüel evapotranspirasyon gibi su bütçesinin her bir elemanı ile su yönetimi açısından önemli gösterge olan su veriminin tüm senaryolarda referans dönemine göre azalış gösterdiği açık bir şekilde görülmektedir. Sayılan parametreler içerisinde azalmalarda benzer bir trendle azalma var ise de yüzeysel akış değerleri, sayılan parametreler içerisinde en keskin şekilde azalan parametredir. Sayılan tüm bu su dengesindeki azalmalar su yönetimi açısından ve kuraklık açısından önemli bir ipucu vermektedir. Yağış türü ve yeraltı sularının geri besleme düzenekleri açısından önemli bir gösterge parametre olan kar erimesinin neredeyse %90 seviyelerinde azalış göstermesi, kar yağışlarının havzada azalması ve genellikle yağmur olarak yağmasını ve akiferlerin su miktarlarının azalması konusunda önemli bir göstergedir. Potansiyel evapotranspirasyon ile akarsudan gerçekleşen evaporasyon değerlerinin hem uzun dönem hem de mevsimsel olarak artış göstermesi de bu durumu etkilemiş olabilir. Bu durum sıcaklığın artmasından dolayı havzadaki su dengesi parametrelerinde negatif geri besleme düzeneklerini hızlandırmış olduğunu göstermektedir.

Tüm parametrelerin mevsimsel durumuna bakıldığında kış mevsimi tüm parametrelerde en fazla azalmanın görüldüğü mevsimdir. Susurluk havzasının Akdeniz iklim bölgesinde olması, nemli döneminin kış mevsimi olduğunu göstermektedir. Bu azalma kış mevsiminde yağış oluşturan geniş ölçekli atmosferik sistemler ile yağış oluşturan sistemlerinin sayısında ve frekansında azalışların olabileceğini gösterebilir.

Uç değerler açısından bakıldığında, her ne kadar tüm parametreler uzun dönem olarak azalma eğilimi göstermiş olsa da elde edilen birçok grafik ile tüm senaryoların

uzak ve yakın gelecekteki durumları referans dönemlerine göre uç değer koşullarında artış olduklarını göstermektedir. Özellikle yağış ve akış parametrelerine bakıldığında, referans dönemine oranla daha yüksek uç değerlere sahip olduğu görülmektedir. Ani taşkınlar açısından önemli bir gösterge olan yüzeysel akış değerlerinde uç değerler ayrıca görülür. Bu değerlerin özellikle yağışlı dönem olan kış ile sonbahar mevsiminde ve ani sağanakların olduğu yaz mevsiminde olduğu görülür. Susurluk havzasında görülen bu koşullar, özellikle birçok alanda hem ani taşkınlara hem su baskınlarına sebebiyet verebilmesi açısında önemlidir.

Susurluk havzasındaki 58 alt havzadaki tüm parametrelerin haritaları çizilip azalış ve artışların yüzdesel değişimleri elde edilmiştir. Tüm parametrelerin alansal dağılıştaki vaziyetleri senaryolara göre değişiklik gösterse de tüm azalış ve artışlarda genel bir benzerlik vardır. Susurluk havzasındaki tüm alt havzalarda göreceli olarak birbirinden farklı olsa da potansiyel evapotranspirasyon ile akarsudan gerçekleşen evaporasyon değerleri haricinde tüm parametrelerde azalışlar hakimdir. Diğer yandan yakın gelecekteki genel olarak Nilüfer Çayının Uludağ kısmından beslenen alt havza ile Manyas Gölü etrafındaki alt havzalar birçok parametrede artış göstermekle birlikte bu artış uzak gelecekte negatife dönmektedir. Buna göre havzalardaki azalış değerli gruplanacak olursa 3 gruba ayrılabilir. Susurluk havzası içerisinde en fazla azalmayı Simav çayı ile Koca çay havzası yaşamaktadır. Daha sonra ise Orhaneli ile Emet Çayı havzaları gelirken en son olarak ise Nilüfer Çayı havzası diğer havzalara oranla azalmanın en az görüldüğü üçüncü grup olarak bu havzaları takip eder.

Senaryoların davranışları ve göstermiş oldukları trendler de su yönetimi açısından önemli bir göstergedir. RCP4.5 senaryosu yakın gelecekte radyatif zorlamanın artışından dolayı daha fazla artış göstermesinden dolayı parametrelerin değerlerinde önce keskin bir azalış göstermekte, daha sonra bu zorlamanın azalış trendine girmesi ile iyileşme trendine veya parametrelerin değerlerinde artış trendine girmektedir. RCP 8.5 senaryosu ise 2100 yılına kadar sürekli bir radyatif artış göstermesi parametrelerin değerlerinde daimi bir azalış trendi davranışı göstermesine neden olur. Her iki senaryonun davranış trendleri farklı olsa da, ikisinin de referans dönemine göre azalış gösterdiği görülmektedir.

SONUÇLAR

Marmara Denizi drenaj havzasında yağış-akış ilişkilerinin incelendiği bu doktora tez çalışmasında yağış-akış ilişkileri 4 bölüm içerisinde birbiriyle ilintili konularla ele alınmıştır. Burada birçok analiz ve modelleme kullanarak, yağış ve akış parametrelerinin hem birbirleriyle hem de su dengesi açısından durumuna bakılmış bu parametreleri kontrol eden sistemler ile bu parametreleri etkileyen yerel ve atmosferik koşullar ele alınmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Yağış-akış parametrelerinin Marmara Denizi drenaj havzasındaki uzun dönem değişkenlikleri:

İlk bölümde ele alınan bu konuyla hem yağış hem de akış verilerinin uzun dönem değişkenlikleri ve bu değişkenliğin etkilediği homojenlikler zaman serisi analizleri kullanılarak kara-kutu kavramı ile ele alınmıştır.

Yağış ve akış parametrelerinin 1984-2014 yılları arasındaki göstermiş oldukları eğilimler negatif ve pozitif yönde olmasına rağmen, genel olarak pozitif yani artış gösteren eğilimler şeklindedir. Yağış ve akış istasyonlarının sadece istatistiksel olarak anlamlı artış ve azalışları incelendiğinde ise akış istasyonlarının birçoğunda istatistiki olarak anlamlı azalma görülse de, benzer şekilde hem yağış hem de akış istasyonlarının birçoğu anlamlı pozitif yani artış eğiliminde olduğu görülür.

Yağış verilerinin kendi içindeki uyumuna bakıldığında ise burada yıllık, sonbahar ve kış mevsimindeki artış ve azalışların alansal dağılışları, birbiriyle uyum içinde olduğu görülür. Ancak ilkbahar ve yaz mevsimindeki dağılış deseni ise biraz farklılaşır.

Yağış ve akış parametrelerinin homojenlikleri incelendiğinde, istatistiksel olarak anlamlı homojenlikleri bozulan istasyonların sayısı bakıldığında, ortalamaların ve varysanların homojenliklerinin bozuldukları görülür. Ancak ortalamaların homojenliği, bozulan istasyonların sayısı varyansalara göre oldukça fazladır.

Zaman serisi analizleri yapılan yağış ve akış istasyonların yıllık ve mevsimlik olmak üzere birbirleriyle alansal ve zamansal açıdan uyum sağladıkları görülmektedir. Bu bakımdan kara kutu sistemi açısından düşüldüğünde sistemin girdisinde artışın ve bu sistemin çıktılarından biri olan akışta da artışın olması sistemin 1984-2014 gözlem yılı içerisinde pozitif geri beslemede olduğunu göstermektedir.

Marmara havzasında yağış-akış parametrelerini etkileyen atmosferik sirkülasyonun koşulları ile uzak atmosfer bağlantıları:

Doktora tez çalışmasının ikinci kısmında NAO, AO ve SOI gibi uzak atmosfer salınımları ile 500 hPa jeopotansiyel yükseklik verisi kullanılarak atmosferik sirkülasyonun yağış ve akış parametreleri ile ilişkileri incelenmiştir.

Yağış ve akış parametrelerinin ilk bileşeni (komponenti) bu parametrelerin varyanslarının değişkenliğinin neredeyse %70'ini açıklamaktadır ve bu bileşenlerin zaman serileri arasında istatistik açıdan anlamlı pozitif lineer korelasyon görülmektedir. Bunun yanı sıra Marmara Denizi havzasındaki PCA1 yükleri, hem yağış hem de akışın uzun yıllar klimatolojik haritasını yansıtmaktadır. 500 hPa jeopotansiyel verileri ve bu yükler arasındaki ilişkiler veya diğer bir deyişle korelasyonların dağılış haritaları benzer negatif lineer korealasyon gösteren bir desen oluşturmaktadır.

Bu bakımdan, Marmara Denizi havzasında girdi (yağış) ve çıktıyı (akış) kontrol eden sistemin bu desenler olduğu çıkarılabilir ki yağış klimatolojisi açısından büyük sistemlerin konumlarının durumu ile benzerlik göstermektedir. İzlanda alçağı kaynaklı orta enlem cephesel sistemleri ve Akdeniz cephesel sistemleri ve mP hava kütlesi ile Sibirya yükseği kaynaklı cP hava kütlesi yağış-akış süreçlerinin temel mekanizmaları olduğu görülmekte ve bu durum literatür ile paralellik göstermektedir.

Marmara Denizi havzasındaki yağış ve akış PCA2 yük değerlerinin haritası havzayı kabaca doğu batı şeklinde ikiye ayırmaktadır. Ayrıca PCA2 değerleri ve 500 hPa yükseklik verileri arasındaki korelasyonların desenleri ise benzer şekilde doğu batı şeklinde pozitif lineer korelasyonlar ile ayırmaktadır. Bu durum batıdaki merkezin Türkiye'de yazın etkili olan ve genellikle yaz kuraklığının (düşük veya yağış olmama durumu) sebebi olan Azor yüksek basıncı ile ilintili olabilir. Diğer yandan doğudaki merkez ise benzer şekilde yazın etkili olan Muson alçağı ile benzer şekilde ilintili olabilir. Bu iki basınç merkezi Türkiye'de dolayısıyla da Marmara Denizi havzasında oluşturmuş oldukları yüksek basınç koşullar ile polar jetin kuzeye kayması ve cephelerin daha güneye ulaşmasına engel olur ve böylelikle yaz kuraklığına sebebiyet verirler.

PCA3 değerleri ise yağış ve akış parametrelerinin değişkenliğini açıklayan en düşük bileşenleri oluşturmaktadır. Bu bileşen Marmara Denizi havzasındaki yük haritaları çizildiğinde, bu iki parametrenin yaklaşık olarak kuzey ve güney olarak ayrıştığı

görülmektedir. PCA3 ve 500 hPa arasındaki korelasyon ise havzanın kuzeyli ve güneyli sistemler şeklinde ayrıştığını göstermektedir.

Diğer yandan basınç verilerinden türetilen yıllık ve mevsimlik uzak atmosfer salınım indisleri ile PCA yükleri arasındaki istatistik açıdan anlamlı korelasyonlar ise 500 hPa ve PCA yükleri arasında elde edilen sonuçlar ile tutarlı bir şekilde görülmektedir.

Yıllık ve havzanın yağışlı mevsimi olan kış mevsiminde hem yağış hem de akış PCA1 yükleri ile NAO ve AO arasında istatistik açıdan anlamlı negatif korelasyonlar görülmektedir. Bu durum NAO ve AO'nun negatif fazı ile yağış oluşturan sistemleri göstermekte ve 500 hPa jeopotansiyel yükseklik verisi ile yağış ve akış değerleri arasındaki dağılış desenleri de bunu desteklemektedir.

Yağış PCA1 ve PCA2 ile SOI arasındaki negatif ve istatistik açıdan anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Bu koşullar havza içerisinde görülen yaz kuraklığının bir göstergesi olabilir. SOI'nin PCA2 ile ilişkisinin olması ve 500 hPa jeopotansiyel yükseklik verisinin yağış ve akış PCA2 bileşeni ile korelasyonun deseni de bunun bir kanıtı olabilir.

Yıllık, İlkbahar ile yaz mevsimi akış PCA3 ile AO ara arasında istatistik açıdan anlamlı pozitif lineer korelasyonlar görülmektedir. Bu durum özellikle akış PCA3 ve 500 hPa arasında deseni destekleyecek niteliktedir. Akış değerini açıklayan varyansının en düşük olduğu bu PCA3 bileşeni kuzeyli sistemler tarafından etkilendiği görülmektedir.

Yağış-akış ilişkisini etkileyen yerel koşullar:

Yağış, akış, buharlaşma ve bunlardan türetilen akış katsayısı ve su bütçesi arasındaki ilişkiler ile bunların alt havzalarda nasıl değiştikleri ve yerel olarak nasıl bir desen ortaya çıkardıkları ele alınmıştır.

Topografya değerleri ile yağış, akış ve buharlaşma arasındaki ilişkiler, buharlaşma değerlerinin topografik koşullardan daha çok etkilendiğini göstermektedir. Buna göre Marmara Denizi havzasında kabaca batıdan doğuya doğru geçişle rölyef ile birlikte buharlaşma değerlerinin diğer parametrelere nazaran en çok etkilendiği ve azaldığı görülmektedir.

Tüm alt havzaların saçılım diyagramları çizildiğinde yağış ve akış arasında istatistik açıdan anlamlı lineer pozitif ilişki olduğu görülmektedir. Bu bakımdan tüm alt havzalar elde ettikleri yağış miktarından etkilenmekte ve benzer desen göstermektedir.

Marmara Denizi havzasındaki akış katsayısı değerlerinin ortalaması 0.42 civarında olması, tüm havzada yağış-akış arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Ancak bu katsayıların yerel dağılışına bakıldığında ise Marmara Denizi havzasındaki irili ufaklı havzalar ile Emet Çayı civarındaki havzalar düşük katsayı gösterirken, Gönen, İznik Gölü ve Susurluk havzaları içerisindeki alt havzalar yüksek akış katsayısı göstermektedir. Akış katsayısının en yüksek çıktığı havza ise İstanbul'da Molova Deresi (Alibey barajını olduğu) havzasıdır

Marmara Denizi havzasındaki alt havzalarda su bütçesi değerleri incelendiğinde ise genellikle yüksek buharlaşmadan dolayı negatif değeler vermektedir. Özellikle burada Biga yarımadası ve çevresindeki alt havzalar su noksanlığında görece olarak en yüksek negatif değerleri göstermektedir.

Tüm alt havzaların saçılım diyagramlarında su dengesi ile buharlaşma, akış ve akış katsayısı arasında bulunan negatif korelasyonlar göstermektedir ki buharlaşmanın su dengesinin negatif olmasında etkili olduğu aşikârdır. Buharlaşma değerlerinin topografyadan etkilendiği görülür ki bu durumdan da mekânsal farklılaşmada rölyefin etkisinden bahsedilebilir.

Akış katsayısı ve su dengesi arasındaki negatif ilişki buharlaşmadan kaynaklı su dengesinin negatif verdiği alanlarda akış katsayısının yüksek, tam tersi olduğu alanlarda düşük olduğunu göstermiştir. Bu durumda yağış-akış ilişkileri su dengesinden etkilendiği görülmektir.

İklim değişikliğinin yağış-akış ve su dengesine etkisi

Doktora tez çalışmasının son bölümünde bölgesel iklim modeli çıktıları yağış-akış modelinin girdileri olarak kullanılmış ve iklim değişikliğinin yağış-akış ilişkisine ve su dengesini oluşturan birçok parametre üzerindeki etkisi su yönetimi ve uç değerlerdeki koşulların değişimleri doğrultusunda incelenmiştir.

İklim modellerinin çıktıları ile alakalı olarak yağış verisi ve sıcaklık verisine taraflılık düzeltme yapılmıştır. Bölgesel iklim modelinin sıcaklığı oldukça iyi modellediği görülürken, yağış gibi kaotik bir parametreyi modellerken pozitif taraflılık yani oldukça fazla değerler verdiği görülmüştür. Bu bakımdan modelleme öncesi yağış verilerinin taraflılık düzeltmesi (ing: bias correction) yapılması gerekmektedir.

Modelleme sonrasında Susurluk havzasındaki tüm alt havzaların ortalaması alınan potansiyel evapotranspirasyon ile akarsudan evaporasyon haricinde yağış, akış, yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı, yeraltı suyu, toprak nemi, perkolasyon, aktüel evapotranspirasyon ve su dengesi parametrelerinin aylık, yıllık ve mevsimsel

değerleri tüm senaryo ve tüm zaman aralıklarında referans dönemi değerlerine göre bir düşüş gösterir. Ancak burada en fazla düşüş RCP8.5 senaryosunun 2070-2099 uzak dönem senaryosu yansıtmaktadır ki bu senaryo radyatif zorlamada daimi bir artışı öngörmektedir.

Tüm parametrelerdeki azalışlar maksimum olarak kış mevsiminde görülmektedir. Marmara Denizi havzasındaki en yağışlı mevsim olan kış mevsimindeki azalmalar, hidrolojik sistemlerin reşarj olmasını yetecek miktarda su kalmaması yaz mevsimi gereği doğal olarak oluşan yağış noksanlığı ile birleşince bu durum su noksanlığına ve dolayısıyla da tarımsal ve insani kullanımlar için gerekecek su kıtlığına sebebiyet verebilir. Özellikle toprak neminin ve aylık ve yıllık ölçekte azalımı verim düşüklüğüne (ing: crop failure) sebebiyet verebilir. Su kıtlığı sonucunda ise aşırı su çekimi ekolojik ihtiyaçlara yönelik su miktarına yetmeyebilir. Bunun yanında ekonomik ihtiyaçlar için (sanayi vb.) gerekli su miktarının azalması ekonomik kayıplar ile sonuçlanabilir.

Azalış gösteren parametreler içerisinde tüm iklim modeli senaryolarının (RCP) radyatif zorlama senaryolarının beklenen değişimlerini izlediği görülürken burada yüzeysel akış parametresi tüm senaryolarda keskin bir düşüş ile öne çıkmaktadır. Su yönetimi açısından önemli bir indikatör olan su verimi tüm mevsimlerde ve yıllık olarak azalır. Bu azalış kuraklık sinyalleri açısından önemli ipuçları taşımaktadır.

Azalışlar incelendiğinde yağış türü açısından önemli bir indikatör olan kar erimeleri Susurluk havzasında %90'lara varan bir düşüşü göstermektedir. Bu durum iki risk taşımaktadır. Birincisi kar yağışları hem akiferleri hem de akarsuları beslemesi açısından kar yağışı önemli bir düşüşe girmektedir. İkincisi her ne kadar yağış azalsa da bu kar erimelerinin azalması var olan yağışın yağmur türü olarak yağması şeklinde beklenilebilir. Bu durum ise öncül (ing: antecedent) yağışların artması sonucu taşkınlar ve seller açısından ekstrem koşullara ortam hazırlamasını sağlar.

Buradaki parametrelerin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolardaki azalış ve artışlardaki davranışları bu senaryoların radyatif zorlama davranışları ile örtüşmektedir. Ancak magnitüdü ne olursa olsun referans dönemine göre azalış hakimdir.

Birçok parametrede azalış gözükmesinin bir nedeni de sadece azalan yağış miktarı değil aynı zamanda radyatif zorlamadan dolayı artan sıcaklıklılar ile birlikte evapotranspirasyon (buharlaşma ve terleme) değerlerinde de bir artış olmasıdır. Bu durum hidrolojik açıdan geri besleme düzeneklerini negatif yönde kuvvetlendirerek su noksanlığına sebebiyet verebilir.

Taşkın ve seller açısından önemli gösterge ve parametreler olan yağış, akış ve yüzeysel akış parametreleri her ne kadar referans dönemine göre ortalamalarında azalış gösterecek olsa da uç değerler açısında referans dönemine göre bir artış göstermektedir. Özellikle kar erimelerinin azalması yağışın yağmur türü olarak düşecek olması bu sonucu doğurmaktadır. Diğer yandan bu parametrelerin uç değerlerine bakıldığında kış, sonbahar ve yaz döneminde oluşmuş olması, Susurluk havzasındaki taşkın mevsimi ile örtüşmektedir.

Artış ve azalışların alansal dağılışları incelendiğinde ise potansiyel evapotranspirasyon ile akarsudan gerçekleşen evaporasyon haricinde tüm parametreler Susurluk havzasının neredeyse tamamında azalış göstermektedir. Ancak bu azalışların şiddeti alt havzalara göre üç kısma ayrılabilir. Susurluk havzasında en yüksek azalmayı Simav çayı ile Koca Çay havzası yaşarken bunu Orhaneli ile Emet çayı havzaları takip eder ve son olarak ise Nilüfer çayı havzası en düşük azalmanın görüldüğü üçüncü grup olarak diğer alt havzaları takip eder. Bunun haricinde artışlar ise genel olarak Nilüfer çayının Uludağ kısmından beslenen alt havzalar ile Manyas Gölü etrafındaki alt havzaların etrafında görülmektedir.

Çalışmanın tüm Marmara havzasındaki alt havzalara uygulanamaması yağış-akış modelinin hesaplanmasıyla alakalı hesaplama gücünün (ing: computational power) yeterli olamaması ve bunun doktora tez çalışmaları süresi içerisinde yetiştirilmesi mümkün olmamasından dolayı Marmara havzasının en geniş alan kaplayan Susurluk havzası seçilmiştir. Ancak doktora tez çalışmasının bitiminden sonra tüm Marmara'yla ilgili simülasyonlar gerçekleştirilip Marmara havzasının tüm alt havzalarının iklim değişikliğine yanıtı incelenecektir.

Çalışmada kullanılan veri tabanları incelendiğinde arazi kullanım verisi 2012 yılına aittir. Arazi kullanımı zaman içerisinde Marmara havzasının kuzeyinde Çatalca-Kocaeli hattı boyunca çok dinamik olmasına rağmen Susurluk havzasında şehirlerin civarları haricinde çok dinamik değildir. Bu durum modelin geçmiş dönemindeki simülasyonların gözlemle var olan tutarlığı ile kendini göstermektedir. Ancak modellemeye dinamik arazi kullanımı katılması modelleme de daha gerçekçi bakış açısı verecektir fakat arazi kullanımının ayrıca 2100 yılına kadar modellenmesi gerekecektir. Bu durum ayrıca bir yazılım bilgisi ve zaman süreci isteyeceği ve doktora tezinin süresi buna imkân vermeyeceği için doktora tez çalışmaları sonrasında ayrıca ele alınacak konulardan biridir.

Doktora tez çalışmasından sonra bu çalışmanın Türkiye'yi de kapsayarak proje tabanlı şekilde, ülke çapında ancak yüksek çözünürlükte su yönetimi, su varlığı-kıtlığı ve kuraklık konularında ülkedeki nüfus projeksiyonları da dikkate alınıp genişletilmesi amaçlanmaktadır. Bu vasıtayla tüm Türkiye'nin geleceğe ait su planlanması oluşturacaktır.

KAYNAKÇA

ABBASPOUR, K. C.: 2013. **SWAT-CUP 2012. SWAT Calibration and Uncertainty** Program-A User Manual.

ABBASPOUR, K. C., YANG, J., MAXİMOV, I., SİBER, R., BOGNER, K., MİELEİTNER, J., SRİNİVASAN, R.: 2007. "Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT", **Journal of Hydrology**, 333(2-4), 413-430.

ABBASPOUR, K. C., ROUHOLAHNEJAD, E., VAGHEFİ, S., SRİNİVASAN, 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.

ALFİERİ, L., BUREK, P., FEYEN, L., FORZİERİ, G.: 2015. "Global warming increases the frequency of river floods in Europe", **Hydrology and Earth System Sciences**, 19(5), 2247-2260.

ANTHES, R. A.: 1977. "A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model" **Monthly Weather Review**, 105(3), 270-286.

ARNOLD JG, SRİNİVASAN R, MUTTİAH RS, WİLLİAMS JR.: 1998. "Large area hydrologic modelling and assessment- Part I: model development", **Journal of American Water Resources Association** 34 (1): 73-89.

ARNOLD, J. G., MORİASİ, D. N., GASSMAN, P. W., ABBASPOUR, K. C., WHİTE, M. J., SRİNİVASAN, R., KANNAN, N.: 2012. "SWAT: Model use, calibration, and validation", **Transactions of the ASABE**, 55(4), 1491-1508.

AYAZ, S.: 2010. **Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi: Susurluk Havzası,** Proje kodu: 5098115. Proje Sonuç Raporu, Cilt I, 3-94, Kocaeli.

AKSOY, H. UNAL N.E. ALEXANDROV V. DAKOVA S., YOON J.Y.: 2008. "Hydrometeorological analysis of northwestern Turkey with links to climate change" **International Journal of Climatology**. 28(8): 1047 – 1060

ALLEN, R. G., PEREİRA, L. S., RAES, D., SMİTH, M.: 1998. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements**-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.

BAYAZIT, M.: 2003. **Hidroloji**, , Birsen yayınevi

BAYAZIT, M.: 1998. **Hidrolojik modeller**. İTÜ.

BALTACI, H., KINDAP, T., ÜNAL, A., KARACA, M.: 2017. "The influence of atmospheric circulation types on regional patterns of precipitation in Marmara (NW Turkey)", **Theoretical and Applied Climatology**, 127(3-4), 563-572.

BARRY, R. G., CARLETON, A. M.: 2001. **Synoptic and dynamic climatology**. Psychology Press.,

BEVEN, K. J.: 2011. **Rainfall-runoff modelling: the primer**. John Wiley & Sons.

BLOMQVİST, N., WHİPP, D.: 2016. "Comparing global-scale topographic and climatic metrics to long-term erosion rates using ArcSwath, an efficient new ArcGIS tool for swath profile analysis", **In EGU General Assembly Conference Abstracts** (Vol. 18, p. 6447).

BOZKURT, D., ŞEN, Ö. L.: 2013. "Climate change impacts in the Euphrates–Tigris Basin based on different model and scenario simulations", **Journal of hydrology**, 480, 149-161.

BUCAK, T., TROLLE, D., ANDERSEN, H. E., THODSEN, H., ERDOĞAN, Ş., LEVİ, E. E., BEKLİOĞLU, M.: 2017. "Future water availability in the largest freshwater Mediterranean lake is at great risk as evidenced from simulations with the SWAT model", **Science of the Total Environment**, 581, 413-425.

CHORLEY, R. J., KENNEDY, B. A.: 1971. **Physical geography: a systems approach**. Prentice Hall.

CHATTOPADHYAY, S., JHA, M. K.: 2016. "Hydrological response due to projected climate variability in Haw River watershed, North Carolina, USA", **Hydrological sciences journal**, 61(3), 495-506.

CIGİZOĞLU, H. K., BAYAZIT, M., ÖNÖZ, B.: 2005. "Trends in the maximum, mean, and low flows of Turkish rivers", **Journal of Hydrometeorology**, 6(3), 280-290.

COMPAGNUCCİ R, DA CUNHA L, HANAKİ K, HOWE C, MAİLU G, SHİKLOMANOV I, STAKHİV E.: 2001. **Hydrology and water resources**. In Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change. Becker A, Zhang J (eds). Cambridge University Press: Cambridge; 191–233.

CRİTCHLEY, W., SİEGERT, K., CHAPMAN, C., FİNKEL, M.: 1991. **Water Harvesting. A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production**. FAO press

CÜCEOĞLU, G., ABBASPOUR, K. C., ÖZTÜRK, I.: 2017. "Assessing the Water-Resources Potential of Istanbul by Using a Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Hydrological Model", **Water**, 9(10), 814.

CULLEN, H. M., DEMENOCAL, P. B.: 2000. "North Atlantic influence on Tigris–Euphrates streamflow", **International Journal Of Climatology**, 20(8), 853-863.

DAVIE, T.: 2008. **Fundamentals of hydrology**. Taylor & Francis.

DEE, D. P., UPPALA, S. M., SIMMONS, A. J., BERRISFORD, P., POLI, P., KOBAYASHI, S., ANDRAE, U., BALMASEDA, M. A., BALSAMO, G., BAUER, P., BECHTOLD, P., BELJAARS, A. C. M., VAN DE BERG, L., BIDLOT, J., BORMANN, N., DELSOL, C., DRAGANI, R., FUENTES, M., GEER, A. J., HAIMBERGER, L., HEALY, S. B., HERSBACH, H., HÓLM, E. V., ISAKSEN, L., KÅLLBERG, P., KÖHLER, M., MATRICARDI, M., MCNALLY, A. P., MONGE-SANZ, B. M., MORCRETTE, J.-J., PARK, B.-K., PEUBEY, C., DE ROSNAY, P., TAVOLATO, C., THÉPAUT, J.-N., VITART, F.: 2011. "The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system", **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 137: 553–597. doi: 10.1002/qj.828

DEMİRCAN, M., DEMİR, Ö., ATAY, H., ESKİOĞLU, O., YAZICI, B., GÜRKAN, H., AKÇAKAYA, A.:2014. "Yeni Senaryolara Göre Türkiye Akarsu Havzalarında İklim Değişikliği Projeksiyonları". **TÜCAUM - VIII. COĞRAFYA SEMPOZYUMU**, 23-24 EKİM 2014, Ankara

DEMIRCAN, M., GÜRKAN, H., ESKIOĞLU, O., ARABACI, H., VE COŞKUN, M.: 2017. "Climate Change Projections for Turkey: Three Models and Two Scenarios", **Turkısh Journal Of Water Scıence & Management**

DICKINSON, R.E., HENDERSON-SELLERS, A., KENNEDY, P.J.: 1993. **Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (Bats) Version 1e As Coupled To The Ncar**

Community Climate Model. Technical Note 3871STR, 72 pp., National Center for Atmospheric Research.

EMANUEL, K.A.: 1991. "A scheme for representing cumulus convection in large-scale models", **Journal of the Atmospheric Sciences**. 48, 2313–2335.

ERINÇ, S.: 1996. **Klimatoloji ve Metotları** (Genişletilmiş 4. Baskı), Alfa Basım Yayım Dağıtım, İSTANBUL

GERSTENGARBE, F.W., WERNER, P.C.: 1999. "Estimation of the beginning and end of recurrent events within a climate regime". **Climate Research** 11, 97–107.

ERTEK, A.: 2011. "Importance of pan evaporation for irrigation scheduling and proper use of crop-pan coefficient (Kcp), crop coefficient (Kc) and pan coefficient (Kp)", **African Journal of Agricultural Research**, 6(32), 6706-6718.

FALKENMARK, M., BERNTELL, A., JÄGERSKOG, A., LUNDQVIST, J., MATZ, M., TROPP, H.: 2007. **On the verge of a new water scarcity: a call for good governance and human ingenuity** (pp. 1-19). Stockholm International Water Institute (SIWI).

FALKENMARK, M.: 2013. "Growing water scarcity in agriculture: future challenge to global water security", **Phil. Trans. R. Soc**. A, 371(2002), 20120410.

GARCÍA-RUIZ, J.M., LÓPEZ-MORENO, J.I., VICENTE-SERRANO, S., LASANTA, T., BEGUERÍA, S.: 2011. "Mediterranean water resources in a global change scenario", **Earth Science Reviews**, , doi: 10.1016/j.earscirev.2011.01.006

GIANNAKOPOULOS, C, LE SAGER, P, BINDI, M, MORIONDO, M, KOSTOPOULOU, E., GOODESS, C.M.: 2009. "Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming", **Global and Planetary Change**, 68 (3). pp. 209-224.

GIORGI F., LIONELLO P.: 2008. "Climate change projections for the Mediterranean region", **Global and Planetary Change** 63:2-3, 90-104.

GIORGETTA, M. A., JUNGCLAUS, J., REICK, C. H., LEGUTKE, S., BADER, J., BÖTTINGER, M., GLUSHAK, K.: 2013. "Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model

Intercomparison Project phase 5", **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, 5(3), 572-597.

GÖKTÜRK, O. M., BOZKURT, D., ŞEN, Ö. L., KARACA, M.: 2008. "Quality control and homogeneity of Turkish precipitation data". **Hydrological processes**, 22(16), 3210-3218.

GUPTA, H. V., SOROOSHIAN, S., YAPO, P. O.: 1999. "Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration", **Journal of Hydrologic Engineering**, 4(2), 135-143.

GRELL, G.: (1993). 'Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations'. **Monthly Weather Review** 121, 764–787.

GRELL, G.A., DUDHIA, J., STAUFFER, D.R.: 1994**. Description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)**, Technical Report TN-398+STR, NCAR, Boulder, Colorado, pp. 121.

FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC (2012). **Harmonized World Soil Database** (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria. (Erişim tarihi:10.05.2017)

FUJIHARA, Y., TANAKA, K., WATANABE, T., NAGANO, T., KOJIRI, T.: 2008. "Assessing the impacts of climate change on the water resources of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of dynamically downscaled data for hydrologic simulations", **Journal of Hydrology**, 353(1-2), 33-48.

HADI, S. J., TOMBUL, M.: 2018. "Long-term spatiotemporal trend analysis of precipitation and temperature over Turkey". **Meteorological Applications**.

HAKTANIR, T., CITAKOGLU, H.: 2014. "Trend, independence, stationarity, and homogeneity tests on maximum rainfall series of standard durations recorded in Turkey", **Journal of Hydrologic Engineering**, 19(9), 05014009.

HAGEMANN, S., CHEN, C., CLARK, D., FOLWELL, S., GOSLING, S. N., HADDELAND, I., WILTSHIRE, A.: 2013. "Climate change impact on available water resources obtained using multiple global climate and hydrology models", **Earth System Dynamics**, 4, 129-144.

HIRSCH R.M., SLACK, J.R., SMITH R.A.: 1982. "Techniques of trend analysis for monthly water quality data", **Water Resources Research**, 18, 107-121.

HIRSCH, R. M., SLACK, J. R.: 1984. “A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence”. **Water Resources Research**, 20(6), 727-732.

HOERLING, M., JON E., JUDITH P., XIAOWEI, Q., TAO Z., PHILIP P.: 2012. “On the Increased Frequency of Mediterranean Drought”, **J. Climate** , 25 , 2146-2161.

HOLTSLAG, A.A.M., DE BRUIJN, E.I.F, PAN, H.L.: 1990. “A high resolution air mass transformation model for shortrange weather forecasting”, **Monthly Weather Review** 118, 1561–1575.

HURRELL J.W.: 1995. “Decadal trends in the North Atlantic oscillation and relationships to regional temperature and precipitation”, **Science** 269: 676–679.

JÓNSDÓTTIR, J. F., UVO, C. B.: 2009. “Long-term variability in precipitation and streamflow in Iceland and relations to atmospheric circulation. International”, **Journal of Climatology**, 29(10), 1369-1380.

IPCC CLIMATE CHANGE (2013) **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, 1535 pp.

KADIOĞLU, M., TULUNAY, Y., BORHAN, Y.: 1999a. “Variability of Turkish precipitation compared to El Nino events”, **Geophysical Research Letters**, 26(11), 1597-1600.

KADIOĞLU, M., ÖZTÜRK, N., ERDUN, H., ŞEN, Z.: 1999b. “On the precipitation climatology of Turkey by harmonic analysis”, **International Journal of Climatology**, 19(15), 1717-1728.

KADIOĞLU, M.: 2000. “Regional variability of seasonal precipitation over Turkey”, **International Journal of Climatology**, 20(14), 1743-1760.

KAHYA, E., KARABÖRK, M.Ç.: 2001. “The Analysis of El Nino and La Nina Signals in Streamflows of Turkey”. **International Journal of Climatology**, 21(10): 1231-1250.

KAHYA, E., KALAYCI, S.: 2004. “Trend Analysis of Streamflow in Turkey”, **Journal of Hydrology**, 289, 128-144.

KALAYCI, S., KAHYA, E.: 2006. “Assessment of Streamflow Variability Modes in Turkey: 1964-1994”, **Journal of Hydrology**, Vol. 324, s. 163-177.

KARA, F., YUCEL, I.: 2015. “Climate change effects on extreme flows of water supply area in Istanbul: utility of regional climate models and downscaling method”, **Environmental monitoring and assessment**, 187(9), 580.

KARABÖRK M.Ç., KAHYA, E.: 2003. “The teleconnections between extreme phases of Southern Oscillation and precipitation patterns over Turkey”, **International Journal of Climatology** 23, 1607-1625.

KARABÖRK, M. Ç., KAHYA, E.: 2009. “The links between the categorised Southern Oscillation indicators and climate and hydrologic variables in Turkey”, **Hydrological processes**, 23(13), 1927-1936.

KARABÖRK, M. Ç., KAHYA, E., KARACA, M.: 2005. “The influences of the Southern and North Atlantic Oscillations on climatic surface variables in Turkey”, **Hydrological processes**, 19(6), 1185-1211

KARABÖRK, M. Ç., KAHYA, E., KÖMÜŞÇÜ, A. Ü.: 2007. “Analysis of Turkish precipitation data: homogeneity and the Southern Oscillation forcings on frequency distributions”, **Hydrological Processes**, 21(23), 3203-3210.

KARACA M., A. DENIZ, TAYANÇ, M.: 2000. “Cyclone track variability over Turkey in association with regional climate”, **International Journal of Climatology** 20, 122-136.

KENDALL M.: 1975. **Multivariate Analysis**. Charles Griffin & Company, London.

KIEHL, J.T., HACK, J.J., BONAN, G.B., BOVILLE, B.A., BREIGLEB, B.P., WILLIAMSON, D., RASCH, P.: 1996. **Description Of The Ncar Community Climate Model (CCM3)**. Technical Report NCAR/TN- 420+STR, National Center for Atmospheric Research.

KOÇ, C.: 2014. “A study on the development of hydropower potential in Turkey”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 39, 498-508.

KUNDZEWICZ, Z. W., ROBSON, A.: 2000. **Detecting Trend and Other Changes in Hydrological Data**. World Climate Programme—Water, World Climate Programme Data and Monitoring, WCDMP-45, WMO/TD no. 1013. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

KUNDZEWICZ, Z. W., MATA, L. J., ARNELL, N. W., DÖLL, P., JIMENEZ, B., MILLER, K., SHIKLOMANOV, I.: 2008. “The implications of projected climate change for freshwater resources and their management”, **Hydrological Sciences** Vol: 53, 2008 - Issue 1

KUTIEL, H., HIRSCH-ESHKOL, T. R., TÜRKEŞ, M.: 2001. “Sea level pressure patterns associated with dry or wet monthly rainfall conditions in Turkey”, **Theoretical and Applied Climatology**, 69(1-2), 39-67.

KRAUSE, P., BOYLE, D. P., BÄSE, F.: 2005. “Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment”, **Advances in Geosciences**, 5, 89-97.

KRUSKAL, W. H., WALLIS, W. A.: 1952. “Use of ranks in one-criterion variance analysis”, **Journal of the American statistical Association**, 47(260), 583-621.

LEHNER, B., VERDIN, K., JARVIS, A.: 2008. “New global hydrography derived from spaceborne elevation data”, Eos, **Transactions**, AGU, 89(10): 9

LELIEVELD, J., HADJINICOLAOU, P., KOSTOPOULOU, E., CHENOWETH, J., EL MAAYAR, M., GIANNAKOPOULOS, C., HANNIDES, C., LANGE, M., TANARHTE, M., TYRLIS, E., XOPLAKI, E.: 2012. “Climate change and impacts in the eastern mediterranean and the middle east”, **Climatic Change** 114 (3), 667–687. URL http://dx.doi.org/10.1007/s10584-012-0418-4

LENDERINK, G., BUISHAND, A., DEURSEN, W. V.: 2007. “Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach”, **Hydrology and Earth System Sciences**, 11(3), 1145-1159.

LORENTZ, E.N.: 1956. **Empirical Orthogonal Functions And Statistical Weather Prediction**, Tech. Rep. 1, Statistical Forecasting Project, Department of Meteorology, Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA, 49 pp.

MACHIWAL, D., JHA, M. K.: 2012. **Hydrologic Time Series Analysis: Theory And Practice**, Springer Science & Business Media.

MCMAHON, T. A., PEEL, M. C., LOWE, L., SRIKANTHAN, R., MCVICAR, T. R.: 2013. “Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis”, **Hydrology and Earth System Sciences**, 17(4), 1331.

MANN, H.B.: 1945. “Nonparametric tests against trend”, **Econometrica**, 13, 245-259.

MELIKOĞLU, M.: 2013. “Hydropower in Turkey: Analysis in the view of Vision 2023”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 25, 503-510.

MILLY, P. C., DUNNE, K. A., VECCHIA, A. V.: 2005. “Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate”, **Nature**, 438(7066), 347.

MÜLLER SCHMIED, H., ADAM, L., EISNER, S., FINK, G., FLÖRKE, M., KIM, H., SONG, Q.: 2016. “Variations of global and continental water balance components as impacted by climate forcing uncertainty and human water use”, **Hydrology and Earth System Sciences**, 20(7), 2877-2898.

MORIASI, D. N., ARNOLD, J. G., VAN LIEW, M. W., BINGNER, R. L., HARMEL, R. D., VEITH, T. L.: 2007. “Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations”, **Transactions of the ASABE**, 50(3), 885-900.

MONTEITH, J. L.: 1965. “Evaporation and environment”, **In Symp. Soc. Exp. Biol** (Vol. 19, No. 205-23, p. 4).

NASH, J.E., SUTCLIFFE, J.V.: 1970. “River flow forecasting through conceptual models. Part I. A discussion of principles”, **Journal of Hydrology**, 10, 282–290. doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6

NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R.,WILLIAMS, J.R.: 2011. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version**. p. 2009.

ÖZTÜRK, M. Z.: 2010. “Uludağ (Zirve) ve Bursa Meteoroloji İstasyonlarının Karşılaştırmalı İklimi”, **Türk Coğrafya Dergisi**, (55).

ÖZTURK, M. Z., ÇETİNKAYA, G., AYDIN, S.: 2017. “Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye’nin İklim Tipleri”, **Coğrafya Dergisi**, (35), 17-27.

OZTURK, T., CEBER, Z. P., TÜRKEŞ, M., KURNAZ, M. L.: 2015. “Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled global climate model outputs”, **International Journal of Climatology**, 35(14), 4276-4292.

ÖZDEMIR H., ELBAŞI E.: 2014. “Benchmarking Land Use Change Impacts On Direct Runoff In Ungauged Urban Watersheds”, **PHYSICS AND CHEMISTRY OF THE EARTH**, vol.1, pp.1-15,

PAMUKÇU, P., SERENGIL, Y., YURTSEVEN, I.: 2014. “Role of forest cover, land use change and climate change on water resources in Marmara basin of Turkey”, **iForest-Biogeosciences and Forestry**, 8(4), 480.

PEEL, M.C, FINLAYSON B.L, MCMAHON T.A.: 2007. “Updated world map of the K¨oppen-Geiger climate classification”, **Hydrol. Earth Syst. Sci**. 11:1633–1644.

PARTAL, T.: 2010. “Wavelet transform-based analysis of periodicities and trends of Sakarya basin (Turkey) streamflow data”, **River research and applications**, 26(6), 695-711.

PARTAL, T., KAHYA, E.: 2006. “Trend analysis in Turkey precipitation data”, **Hydrologic Processes** 20, 2011–2026.

PARTAL, T. KÜÇÜK, M.: 2006. “Long term trend analysis using discrete wavelet components of annual precipitations measurements in Marmara region (Turkey)”, **Physics and Chemistry of the Earth**, Vol:2

RAJA, N. B., AYDIN, O., TÜRKOĞLU, N., ÇIÇEK, I.: 2017. “Space-time kriging of precipitation variability in Turkey for the period 1976–2010”, **Theoretical and Applied Climatology**, 129(1-2), 293-304.

SARIŞ, F., HANNAH, D. M., EASTWOOD, W. J.: 2010a. “Spatial variability of precipitation regimes over Turkey”, **Hydrological Sciences Journal–Journal des Sciences Hydrologiques**, 55(2), 234-249.

ŞARIŞ, F., HANNAH, D. M., EASTWOOD, W. J.: 2010b. “Changes in precipitation and river flow in northeast Turkey: associations with the North Atlantic Oscillation”, **In: Sixth World FRIEND Conference**, October 2010, Fez, Morocco.

SERTEL, E., ORMECI, C., ROBOCK, A.: 2011. “Modelling land cover change impact on the summer climate of the Marmara Region, Turkey”, **International Journal of Global Warming**, 3(1-2), 194-202.

SCS, 1956, 1964, 1971, 1985, 1993. **Hydrology, National Engineering Handbook, Supplement A**, Section 4, Chapter 10. Soil Conservation Service, USDA, Washington, DC.

SONG W.Z., JIANG Y.Z., LEI X.H., WANG H., SHU, D.C.: 2015. "Annual runoff and flood regime trend analysis and the relation with reservoirs in the Sanchahe River Basin, China", **Quaternary International**. 1-10 DOI: 10.1016/j.quaint.2015.01.049

SÖNMEZ, İ., KÖMÜŞCÜ, A. Ü.: 2011. "Reclassification of rainfall regions of Turkey by K-means methodology and their temporal variability in relation to North Atlantic Oscillation (NAO)", **Theoretical and applied climatology**, 106(3-4), 499-510.

SNEYERS, R.: 1990. **On the Statistical Analysis of Series of Observations**. WMO Technical Note 43, World Meteorological Organization, Geneva.

ŞİMŞEK, O., MERMER, A., YILDIZ, H., ÖZAYDIN, K. A., PEŞKİRCİOĞLU, M.: 2013. "Referans Toplam Buharlaşma (ETo) Normal Haritaları", **6th Atmospheric Science Symposium**, 24-26 April 2013, İstanbul Technical University, Turkey.

SMITH, A., BATES, P., FREER, J., WETTERHALL, F.: 2014. "Investigating the application of climate models in flood projection across the UK", **Hydrological processes**, 28(5), 2810-2823.

STOCKER, T. F., QIN, D., PLATTNER, G. K., TIGNOR, M., ALLEN, S. K., BOSCHUNG, J., MIDGLEY, B. M.: 2013. **Climate change 2013: the physical science basis**. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.

STEHR, A., DEBELS, P., ROMERO, F., ALCAYAGA, H.: 2008. "Hydrological modelling with SWAT under conditions of limited data availability: evaluation of results from a Chilean case study", **Hydrological sciences journal**, 53(3), 588-601.

ŞEN, Ö. L., GÖKTÜRK, O. M., BOZKURT, D.: 2014. "Changing climate: a great challenge for Turkey", **Black Sea/Mediterranean Environment**, 97.

ŞEN, Ö. L., UNAL, A., BOZKURT, D., KINDAP, T.: 2011. “Temporal changes in the Euphrates and Tigris discharges and teleconnections”, **Environmental Research Letters**, 6(2), 024012.

SERTEL, E., ORMECI, C., ROBOCK, A.: (2011). “Modelling land cover change impact on the summer climate of the Marmara Region, Turkey”, **International Journal of Global Warming**, 3(1-2), 194-202.

TATLI, H.: 2006. “Analysis Mediterranean precipitation associated with the North Atlantic Oscillation Index (NAOI) via Hilbert-Huang Transformation”, **In Proceedings of the Conference on Water Observation and Information System for Decision Support (BALWOIS-2006).** Ohrid: Republic of Macedonia. Paper No.

TATLI, H.: 2007. “Synchronization between the North Sea–Caspian pattern (NCP) and surface air temperatures in NCEP”, **International Journal of Climatology**, 27(9), 1171-1187.A-329 (Vol. 11).

TATLI, H.: 2014. “Statistical complexity in daily precipitation of NCEP/NCAR reanalysis over the Mediterranean Basin”. **International Journal of Climatology**, 34(1), 155-161.

TATLI, H., NÜZHET DALFES, H., SIBEL MENTEŞ, Ş.: 2004. “A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey”, **International Journal of Climatology**, 24(2), 161-180.

TATLI, H., TÜRKEŞ, M.: 2011. “Empirical orthogonal function analysis of the Palmer drought indices”, **Agricultural and Forest Meteorology**, 151(7), 981-991.

TEUTSCHBEIN, C., SEIBERT, J.: 2012. “Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods”, **Journal of Hydrology**, 456, 12-29.

TOPALOĞLU, F.: 2006. “Trend detection of streamflow variables in Turkey”, **Fresenius Environmental Bulletin**, 15(7), 644-653.

TOPALOĞLU, F., ÖZFIDANER, M.: 2012. “Regional Trends Of Precipitation In Turkey”. **Fresenius Environmental Bulletin**, 21, 2908-2915.

TOROS, H. 2012. “Spatio-temporal precipitation change assessments over Turkey”, **International Journal of Climatology**, 32(9), 1310-1325.

TURP, M. T., ÖZTÜRK, T., TÜRKEŞ, M., KURNAZ, M. L.: 2014. “RegCM4. 3.5 bölgesel iklim modelini kullanarak Türkiye ve çevresi bölgelerin yakın gelecekteki hava sıcaklığı ve yağış klimatolojileri için öngörülen değişikliklerin incelenmesi”, **Ege Coğrafya Dergisi,** 23(1).

TÜRKEŞ, M.: 1996. “Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey”, **International Journal of Climatology** 16, 1057-1076.

TÜRKEŞ, M.: 1998. “Influence of geopotential heights, cyclone frequency and Southern Oscillation on rainfall variations in Turkey”, **International Journal of Climatology** 18, 649- 680.

TÜRKEŞ, M.: 2010. **Klimatoloji ve Meteoroloji**. Birinci Baskı, Kriter Yayınevi - Yayın No. 63, Fiziki Coğrafya Serisi No. 1, ISBN: 978-605-5863-39-6, 650 + XXII sayfa: İstanbul.

TÜRKEŞ, M., ERLAT E.: 2003. “Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic Oscillation during the period 1930–2000”, **International Journal of Climatology** 23: 1771–1796.

TÜRKEŞ, M., ERLAT, E.: 2005. “Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic Oscillation during the period 1930–2001”, **Theoretical and Applied Climatology**, 81(1-2), 45-69.

TÜRKEŞ, M., ERLAT, E.: 2006. “Influences of the North Atlantic Oscillation on precipitation variability and changes in Turkey”, Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica. C, **Geophysics and Space Physics**, 29(1), 117-135.

TÜRKEŞ, M., TATLI, H.: 2011. “Use of the Spectral Clustering to Determine Coherent Precipitation Regions in Turkey for the Period 1929-2007”, **International Journal of Climatology** (DOI: 10. 1002/joc.2212), 31: 2055–2067

TÜRKEŞ, M., SÜMER UM, KILIÇ G.: 2002a. “Persistence and periodicity in the precipitation series of Turkey and associations with 500 hPa geopotential heights”, **Climate Research** 21: 59–81.

TÜRKEŞ, M., SÜMER, U.M., DEMIR, İ.: 2002b. “Re-evaluation of trends and changes inmean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999”, **International Journal of Climatology**. 22: 947-977.

TÜRKEŞ, M., SÜMER, U. M.: 2004. “Spatial and temporal patterns of trends and variability in diurnal temperature ranges of Turkey”, **Theoretical and Applied Climatology**, 77(3-4), 195-227.

TÜRKEŞ, M., KOÇ T., SARIS, F.: 2009). Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. **International Journal of Climatology** 29: 1056–1074.

TOPALOĞLU, F.: 2006. “Trend detection of streamflow variables in Turkey”, **Fresenius Environmental Bulletin**, 15(7), 644-653.

TOPALOĞLU, F., IRVEM, A., ÖZFIDANER, M.: 2012. “Re-Evaluatıon Of Trends In Annual Streamflows Of Turkısh Rıvers For The Perıod 1968-2007”, **Fresenius Environmental Bulletin** 21(8):2043-2050

WANG, J., WANG, Q., ZHAO, Y., LI, H., ZHAI, J., SHANG, Y.: 2015. “Temporal and spatial characteristics of pan evaporation trends and their attribution to meteorological drivers in the Three-River Source Region, China”, **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 120(13), 6391-6408.

WARD J.H.: 1963. “Hierarchical grouping to optimize an objective function”, **Journal of the American Statistical Association**, 58, 238-244.

WILKS, D. S.: 2011. **Statistical methods in the atmospheric sciences** (Vol. 100). Academic press.

WILSON, E. M.: 1990. **Engineering Hydrology**, Fourth Edition, Macmillan, London,

XOPLAKI, E., GONZÁLEZ-ROUCO, J. F., LUTERBACHER, J. U., WANNER, H.: 2004. “Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends”, **Climate dynamics**, 23(1), 63-78.

YAVUZ, H., ERDOĞAN, S.: 2012. “Spatial analysis of monthly and annual precipitation trends in Turkey”. **Water resources management**, 26(3), 609-621.

YANG, Y., TIAN, F.: 2009. “Abrupt change of runoff and its major driving factors in Haihe River Catchment, China”, **Journal of Hydrology**, 374(3), 373-383.

YUE, S., PILON, P., CAVADIAS, G.: 2002 “Power of the Mann-Kendall and Spearman’s rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series”. **Journal of Hydrology.** 259, 254–271.

YÜCEL, I., GÜVENTÜRK, A., ŞEN, Ö. L.: 2015. “Climate change impacts on snowmelt runoff for mountainous transboundary basins in eastern Turkey”, **International Journal of Climatology**, 35(2), 215-228.

YÜKSEL, I.: 2015. “Water management for sustainable and clean energy in Turkey”, **Energy Reports**, 1, 129-133.

VAN VUUREN, D. P., EDMONDS, J., KAINUMA, M., RIAHI, K., THOMSON, A., HIBBARD, K., MASUI, T.: 2011. “The representative concentration pathways: an overview”, **Climatic change**, 109(1-2), 5.

VAN VLIET, M. T. H., VAN BEEK, L. P. H., EISNER, S., FLÖRKE, M., WADA, Y., BIERKENS, M. F. P.: 2016. “Multi-model assessment of global hydropower and cooling water discharge potential under climate change”, **Global environmental change**, 40, 156-170.

VON STORCH, H., ZWIERS, F. W. 2001. **Statistical analysis in climate research**. Cambridge university press.

VÖRÖSMARTY, C. J., GREEN, P., SALISBURY, J., LAMMERS, R. B.: (2000). Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. **Science**, 289(5477), 284-288.

VÖRÖSMARTY, C. J., DOUGLAS, E. M., GREEN, P. A., REVENGA, C.: 2005. “Geospatial indicators of emerging water stress: an application to Africa”, **AMBIO: A journal of the Human Environment**, 34(3), 230-236.

VÖRÖSMARTY, C. J., MCINTYRE, P. B., GESSNER, M. O., DUDGEON, D., PRUSEVICH, A., GREEN, P., DAVIES, P. M.: 2010. “Global threats to human water security and river biodiversity”, **Nature**, 467(7315), 555.

ZENG, S., XIA, J., SHE, D., DU, H., ZHANG, L.: 2012. “Impacts of climate change on water resources in the Luan River basin in North China”, **Water international**, 37(5), 552-563.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi'ne 2007 yılında giriş yaptı ve 2011 yılında lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimini başladı ve 2013 yılında "Türkiye'de Palmer Kuraklık İndisine Göre Kuraklığın Alansal ve Zamansal Değişiminin İncelenmesi" adlı tezi savunup başarılı olarak mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. Doktora eğitimi sırasında iklimsel ve yersel afetlerde eğitim almak için 2016 yılında Cenevre Üniversitesi CERG-C (Specialization certificate for the assessment and management of geological and climate related risk) eğitim programına katıldı. Daha sonra doktora çalışmalarının bir kısmını yapmak için TÜBİTAK 2214-A doktora sırası yurtdışı bursundan faydalanarak Prof. Paul Bates danışmanlığında Bristol Üniversitesi Coğrafya Bölümünün Hidroloji grubuna 2017 yılında research collobrater olarak katıldı. Ardahan Üniversitesi'nde halen Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Bunun yanı sıra Boğaziçi Üniversitesi İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi-İklimBU üyesidir. Son dönemlerde çalışmaları yağış-akış ve hidrolojik modellemeler, iklim modellemeleri, iklim değişikliği-iklim değişikliği etki çalışmaları, doğal afetler, taşkın-kuraklık ve su yönetimi üzerinde odaklanmıştır.