TÜRKİYE'NİN YAKIN VE UZAK GELECEKTEKİ KURAKLIK KOŞULLARININ İNCELENMESİ

Mehmet Berkant YILDIZ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'NİN YAKIN VE UZAK GELECEKTEKİ KURAKLIK KOŞULLARININ İNCELENMESİ

Mehmet Berkant YILDIZ
501926036

Prof. Dr. Murat KANKAL (Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2023
Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE'NİN YAKIN VE UZAK GELECEKTEKİ KURAKLIK KOŞULLARININ İNCELENMESİ

Mehmet Berkant YILDIZ

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat KANKAL

Kuraklık önemli tarımsal, ekonomik ve çevresel hasarlara neden olabilmektedir. Kuraklığın etkilerinin analiz edilmesi ve değişen iklim koşullarında geleceğe yönelik doğru kuraklık tahminlerinde bulunulması; tarım, içme suyu, sanayi ve ekosistem politikaları için büyük önem taşımaktadır. Türkiye'de yaşanabilecek olası aşırı kuraklık durumlarına uyum sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada Türkiye genelinde yakın (2021-2050) ve uzak gelecekteki (2071-2100) kuraklık durumunun incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment-European Domain (EURO-CORDEX) alanları üzerinden yürütülen iklim projeksiyonu veri setleri kullanılmıştır. İyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) senaryolar için 0,11ºx0,11º çözünürlükte 19 GCM – RCM model çiftinden Türkiye'ye ilişkin geçmiş ve gelecekteki iklim projeksiyonları elde edilmiştir. ERA5-Land ile EURO-CORDEX geçmiş senaryo verileri arasında doğruluk değerlendirmeleri yapılarak en iyi sonuç veren 4 model kullanılarak çoklu model ortalaması uygulanmıştır. Daha sonra bu modelin yanlılık düzeltilmesi Kuantil Delta Haritalama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Geçmiş ve gelecek kuraklık değerleri 3, 6 ve 12 ay ölçeğinde Standart Yağış İndeksi kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen kuraklık indeksi değerinin eğilimleri Mann-Kendall test, Sen'in Eğim ve Yenilikçi Eğilim Analizi (YEA) yöntemleri ile incelenmiştir. Her iki senaryo sonucuna göre, geçmişte ayların %5-10 arasındaki değerlerinde şiddetli kuraklık görülürken, bu oran yakın ve uzak gelecekte %10-15 aralığına çıkmaktadır. Aşırı şiddetli kuraklık olayları ise gelecekte neredeyse tüm ülke genelinde artış göstermiştir. Bazı bölgelerde geçmişte %0-5 aralığında görülen aşırı şiddetli kuraklık olayının gelecek dönemlerde her iki senaryo içinde %45-50 aralığına kadar çıkması öngörülmektedir. Eğilim analizi sonuçlarına göre geçmiş dönemde kuraklık olayları Doğu Karadeniz ve Ege bölgeleri hariç neredeyse tüm bölgelerde artış göstermiştir. Gelecek dönemlerde kuraklık olaylarındaki artışlar neredeyse ülke geneline yayılmıştır. YEA yöntemine göre her bir dönem için ülkenin büyük bir bölümünde kurak dönemlerdeki SPI değerlerinin 0 ila 2 aralığında artış eğilimi görülmüştür. Nemli dönemlerdeki SPI değerlerinde ise 0 ila 1,5 bandında bir azalma eğilimi tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CMIP5, CORDEX, Kuraklık, SPI, Eğilim Analizi, Türkiye
2023, viii+76 sayfa.

ABSTRACT
MSc Thesis

ANALYZING THE DROUGHT CONDITIONS OF TURKEY IN THE NEAR AND THE FAR FUTURE

Mehmet Berkant YILDIZ

Bursa Uludağ Universty

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Danışman: Prof. Dr. Murat KANKAL

Drought can cause significant agricultural, economic, and environmental damage. Analyzing the impacts of drought and making accurate drought forecasts for the future under changing climate conditions is very important for agriculture, drinking water, industry, and ecosystem policies. Turkey needs to adapt to possible extreme drought scenarios. This study aims to examine the drought situation in the near (2021-2050) and far future (2071-2100) all over Turkey. For this purpose, climate projection datasets conducted by the Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment-European Domain (EURO-CORDEX) were used. Past and future climate projections for Turkey were obtained from 19 GCM - RCM model pairs participating in Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) at 0.11ºx0.11º resolution optimistic (RCP4.5) and pessimistic (RCP8.5) scenarios. Accuracy assessments were made between ERA5-Land and EURO-CORDEX past scenario data, and multi-model averaging was applied using the four models with the best results. Bias correction of this model was then performed by the Quantile Delta Mapping method. Past and future drought values were calculated using the Standard Precipitation Index at 3, 6, and 12 month scales. The trends of the drought index value obtained were analyzed by the Mann-Kendall test, Sen's Slope, and Innovative Trend Analysis (ITA) methods. According to the results of both scenarios, while severe drought is observed in 5-10% of the months in the past, this rate increases to 10-15% in the near and distant future. Extreme drought events will increase in the future almost all over the country. In some regions, extreme drought events, seen in the range of 0-5% in the past, are predicted to increase up to 45-50% in the future under both scenarios. According to the trend analysis results, drought events have increased in almost all regions except the eastern Black Sea and Aegean regions. In future periods, increases in drought events will be spread almost throughout the country. According to the ITA method, for each period, SPI values in dry periods have an increasing trend in the range of 0 to 2 in most of the country. SPI values in humid periods showed a decreasing trend in the range of 0 to 1.5.

Keywords: CMIP5, CORDEX, Drought, SPI, Trend Analysis, Turkey
2023, viii+76 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca sahip olduğu bilgiyi, tecrübeyi ve desteğini benden esirgemeyen, değerli bilgilerini benimle paylaşan tez danışman hocam Sayın Prof. Dr. Murat KANKAL'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Değerli düşünceleri ile bana yol gösteren, ihtiyaç duyduğum her anda fikirlerini ve önerilerini aldığım ikinci tez danışmanı hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sinan NACAR'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca karşılaştığım her problemde ve zorlukta bana destek veren, değerli bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, kıymetli zamanını bana ayırmaktan kaçınmayan ve beni bıkmadan dinleyen hocam Sayın Arş. Gör. Murat ŞAN'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince desteğini esirgemeyen değerli İnş. Yük. Müh. Fatma AKÇAY'a ve diğer tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

ERA-5-Land ve Euro-CORDEX veri kümelerini sağladığı için Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi'ne (ECMWF) teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bana hep güvenen, desteklerini ve sevgilerini sonuna kadar hissettiğim anne ve babama ayrıca her zaman arkamda olduğunu bilmenin rahatlığını yaşatan, üzüntümde, sevincimde ve umutsuzluğa kapıldığım anlarda hep yanımda olan, her düştüğümde elimden tutup ayağa kaldıran ve benden manevi ve maddi hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ablam Melike YILDIZ'a teşekkür ederim.

Varlığı ve desteğiyle yaşamıma anlam katan, umudumu kaybettiğimde her zaman elini uzatan, yardıma ihtiyaç duyduğumda her zaman yanımda olan, aklıma ne zaman gelse gökyüzüne kadar zıplamak istediğim Sedanur ALAKUŞ'a teşekkür ederim.

Mehmet Berkant YILDIZ

20.12.2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……..……..i
ABSTRACT……..…...ii
TEŞEKKÜR……..…..iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ……...vi
ŞEKİLER DİZİNİ……vii
ÇİZELGELER DİZİNİ……...viii
1. GİRİŞ 1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 3
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI 5
2.1. Kuraklık ve Kuraklık İndisleri 5
2.2. Dünya'da Yapılan Çalışmalar 7
2.3. Türkiye'de Yapılan Çalışmalar 10
3. MATERYAL VE YÖNTEM 12
3.1. Çalışma Alanı 12
3.2. Veri Setleri 14
3.2.1. ERA5-Land Yeniden Analiz Veri Seti 14
3.2.2. CORDEX Bölgesel İklim Modeli Veri Setleri 16
3.3. Çift Doğrusal Enterpolasyon 20
3.4. Model Performanslarının Değerlendirilmesi 21
3.4.1. Değiştirilmiş Uyumluluk İndeksi (Modified Index of Agreement) 23
3.4.2. Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (NSE) 24
3.4.3. Kling-Gupta Verimlilik Katsayısı (KGE) 24
3.4.4. Normalize Edilmiş Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (nRMSE) 25
3.4.5. Çoklu Model Grubu Ortalaması (MMEA) 26
3.5. Kuantil Delta Haritalama (QDM) Yanlılık Düzeltme Yöntemi 26
3.6. Kuraklık İndeksleri 28
3.6.1. Standart Yağış İndeksi (SPI) 28
3.7. Eğilim Analizleri 30
3.7.1. Modifiye Mann-Kendall (MMK) Yöntemi 30
3.7.2. Sen'in Eğim Yöntemi 32
3.7.3. Yenilikçi Eğilim Analizi (YEA) 32
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 35
4.1. Model Performanslarının Değerlendirmesi 35
4.2. Yanlılık Düzeltmesi Bulguları 38
4.3. Standart Yağış İndeksi (SPI) Bulguları 39
4.3.1. Farklı Kuraklık Sınıflarına Göre Kurak Ayların Gelecekteki Değişimi 39
4.3.2. Farklı Nemlilik Sınıflarına Göre Nemli Ayların Gelecekteki Değişimi 43
4.4. Eğilim Analizi Bulguları 49
4.4.1. Modifiye Mann-Kendall (MMK) Yöntemi Bulguları 49
4.4.2. Sen'in Eğim Yöntemi Bulguları 49
4.4.3. Yenilikçi Eğilim Analizi Bulguları 51
4.5. Tartışma 53
5. SONUÇLAR 58
KAYNAKLAR 61
EKLER 71

ÖZGEÇMİŞ 76

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
d	Uyumluluk indeksi
O	ERA5-Land yeniden analiz verileri
P	RCM model verileri
α_P	Veriler arasındaki Pearson kolerasyonu
μ	Veri ortalaması
β_P	Yanlılık oranını
γ_{RP}	Değişkenlik oranını
CV	Değişim katsayısını
D_i	İklimsel su dengesi açığı (mm)
P_i	Toplam yağış miktarı (mm)
N, n	Veri uzunluğu
S	Mann-Kendall test istatistiği
H_0	Sıfır hipotezi (eğilim yok)
α	Ölçek parametresi
Γ	Gama fonksiyonu
β	Şekil parametresi
γ	Orijin parametresi
w_s	Sıralı olasılık yoğunluk fonksiyonu

Kısaltmalar	Açıklama
AR-5	5. Değerlendirme Raporu
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project
ECMWF	Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi
GCM	Küresel İklim Modeli
GG-YEA	Geliştirilmiş Görselleştirme ile Yenilikçi Eğilim Analizi
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
KGE	Kling-Gupta Verimlilik Katsayısı
RCP	Temsili Konsantrasyon Yolları
MME	Çoklu Model Grubu
MMEA	Çoklu Model Grubu Ortalaması
MMK	Modifiye Mann-Kendall Testi
NetCDF	Ağ Ortak Veri Formu
NSE	Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı
nRMSE	Normalize Edilmiş Karesel Hataların Ortalamasının Karekökü
SPI	Standart Yağış İndeksi
RCM	Bölgesel İklim Modeli
YEA	Yenilikçi Eğilim Analizi
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
WRI	Dünya Kaynakları Enstitüsü (World Resource Institute)

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 3.1.	Köppen-Geiger iklim sisteminin birinci, ikinci ve üçüncü derece harf sınıflandırmasına göre Türkiye'deki iklim tiplerinin coğrafi dağılımları (Türkeş, 2010)	13
Şekil 3.2.	Türkiye illeri 2017 gelişmişlik kademeleri haritası (S. T. B., 2019)	14
Şekil 3.3.	Analizlerde kullanılan veri setlerinin zaman aralıkları	16
Şekil 3.4.	Eşdeğer CO_2 konsantrasyonları senaryoları grafiği	18
Şekil 3.5.	Bilineer enterpolasyon yönteminin şematik diyagramı (Jiao vd., 2023)	20
Şekil 3.6.	Gamma olasılık dağılım fonksiyonun normal olasılık dağılımına dönüştürülmesi	29
Şekil 3.7.	YEA yöntemi şablonu	33
Şekil 4.1.	KGE sonuçları kutu grafikleri	36
Şekil 4.2.	"md" sonuçları kutu grafikleri	36
Şekil 4.3.	nRMSE sonuçları kutu grafikleri	37
Şekil 4.4.	NSE sonuçları kutu grafikleri	37
Şekil 4.5.	Yanlılık düzeltmesi sonuçları	38
Şekil 4.6.	3 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki kurak geçen ay yüzdeleri	41
Şekil 4.7.	6 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki kurak geçen ay yüzdeleri	42
Şekil 4.8.	12 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki kurak geçen ay yüzdeleri	44
Şekil 4.9.	3 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki nemli geçen ay yüzdeleri	46
Şekil 4.10.	6 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki nemli geçen ay yüzdeleri	47
Şekil 4.11.	12 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki nemli geçen ay yüzdeleri	48
Şekil 4.12.	Sen'in eğim yöntemi eğilim sonuçları	51
Şekil 4.13.	YEA Yöntemi için SPI değerlerindeki kurak ayların değişim değerleri	54
Şekil 4.14.	Dönemlerin ilk yarı yıl nemlilik durumlarının ikinci yarıyıldaki değişimleri	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1.	İndis kullanım kolaylığı kategorisi ve girdi değişkenleri tablosu…….	6
Çizelge 2.2.	Dünya'da yapılan kuraklık ile ilgili bazı çalışmalar ...……	8
Çizelge 2.3.	Türkiye'de gelecek dönem olası kuraklıkları ile ilgili yapılmış çalışmalar…….	10
Çizelge 3.1.	ERA5-Land yeniden analiz veri seti tanımları……...…….	15
Çizelge 3.2.	Çalışmada kullanılan RCM'ler……..….....	19
Çizelge 3.3.	Standart yağış indeksi sınıfları……...….	29
Çizelge 4.1.	MMEA için seçilen RCM'ler……..	35

1. GİRİŞ

Küresel ısınma ile birlikte gelişen iklim değişikliği önemli ölçüde çevreyi, su kaynaklarını, endüstriyel üretimi, tarımsal faaliyetleri ve insan yaşamını etkilemektedir (J. Yao ve Chen, 2015). İklimde meydana gelebilecek olası değişiklikleri ve bu değişikliklerin etkilerini doğru bir şekilde belirlemek ve insanlara sürdürülebilir bir yaşam sağlamak için birçok resmi, sivil kurum ve kuruluş çaba sarf etmektedir (Demircan vd., 2017). Artan sıcaklıklar buharlaşmaya ve dolayısıyla toprak yüzeylerin kurumasına neden olmaktadır. Bunun yanında atmosferin su tutma kapasitesi her 1 $^{\circ}$C sıcaklık artışında yaklaşık %7 artmaktadır (Cheng ve AghaKouchak, 2014; Trenberth, 2011). Yirminci yüzyılın son çeyreği ve yirmi birinci yüzyılın ilk yılları, dünyada birçok bölgede giderek daha sık görülen sıcak hava dalgalarının ve aşırı yağışlar gibi hava olayları ile sel ve kuraklık gibi aşırı afetlerin yaşandığı yıllar olmuşlardır (IPCC, 2014; Spinoni vd., 2020).

Afetler arasında kuraklık, gözlenen ısınma eğilimleri ile neredeyse tüm iklim rejimlerinde meydana gelen ve çok sık görülen bir olay haline gelmiştir (Ersoy, 2022; R. Zhao vd., 2021). Fakat seller veya fırtınalar gibi diğer doğal afetlerle karşılaştırıldığında, kuraklıkların tespit edilmesi ve ölçülmesi daha karmaşıktır, çünkü kuraklıklar yavaş bir başlangıç ve yüksek bir direnç ile karakterize edilir. Kuraklığın uzun dönem etkileri kuraklığın zirve yaptığı zamandan aylar hatta yıllar sonra ortaya çıkabilir (Spinoni vd., 2020; Vogt ve Somma, 2013; Wilhite vd., 2007).

Etkileri hemen hissedilebilen sel, deprem ve tayfun gibi diğer doğal afetlerin aksine, kuraklıklar geniş bölgelerde ve birkaç aydan birkaç yıla kadar değişen sürelerde kademeli olarak gelişmektedir (Lange vd., 2017). Dünyanın birçok bölgesinde kuraklıklar; çevreyi, ekonomiyi ve toplumu etkileyebilen, daha sık görülen ve şiddeti giderek artan doğal afetler haline gelmiştir (Ahmed, Shahid ve Nawaz, 2018). Kuraklıkların sosyo-ekonomik maliyeti yıllar geçtikçe artmaktadır (Omer vd.m, 2020; Yılmaz, vd., 2022). Geçtiğimiz birkaç on yıl boyunca kuraklıklar dünya çapında ciddi ekonomik kayıplara yol açmıştır. Örneğin Çin'deki 2013 kuraklığı 8,5 milyar $ (Sun vd., 2014), ABD'deki 2012 kuraklığı 12 milyar $ (AghaKouchak, 2014) ve Avustralya'daki 2002-2003 kuraklığı 7,4 milyar $ (Heberger, 2011) zarara neden olmuştur. Belçika merkezli Afetlerin Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi'nin Uluslararası Afet Veri Tabanı'ndan alınan raporlar, 1980'den bu

yana Avrupa'da 10 milyondan fazla insanın kuraklık olaylarından etkilendiğini ve toplam hasarın 2,8 milyar dolara mal olduğunu göstermektedir (Yeşilköy ve Şaylan, 2022). 1984 yılında Etiyopya ve Sudan'da yaşanan kuraklık 300.000'den fazla insanın ölümüne neden olmuştur (Slim, 2012; Viste vd., 2013). Daha yakın bir tarihte, 2010-2011 yıllarında Kenya, Etiyopya ve Somali'de yaşanan şiddetli kuraklık, 10 milyondan fazla insanı etkileyen yıkıcı bir kıtlığa ve yaygın insani sonuçlara sebebiyet vermiştir (Amir AghaKouchak, 2015; Dutra vd., 2013). Dolayısıyla, doğrudan ve dolaylı olarak, kuraklıklar genellikle insan yaşamını olumsuz yönde etkilemekte ve insan ölümlerine yol açmaktadır. Bu sebeplerle, özellikle küresel ısınma dünyadaki kuraklık koşullarını daha da kötüleştirebileceği düşünüldüğünde, araştırmacılar ve karar verici kurum ve kuruluşlar gelecekteki kuraklık özelliklerini doğru bir şekilde anlamaya büyük ilgi duymaya başlamışlardır (Dai, 2011; Yılmaz vd., 2022; Zhai vd., 2020).

Son yıllarda birçok çalışma değişimin kapsamı ve büyüklüğü hakkında ayrı fikirlere sahip olsa da küresel olarak daha sık ve şiddetli meteorolojik kuraklık olaylarına doğru genel bir eğilim olduğunu bildirmiştir (Dai, 2011; Hauser vd., 2017; Osborn vd., 2015; Seneviratne, 2012; Spinoni vd., 2020). Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 5. Değerlendirme Raporu'nda (AR-5) (IPCC, 2013) küresel ısınma nedeniyle dünyanın farklı bölgelerinde yaşanan kuraklıkların önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir. Her ne kadar bir çok çalışma, yakın geçmişteki kuraklık olaylarının yoğunlaştığı bölgeler (Akdeniz, batı Kuzey Amerika, Güney Amerika, Afrika'nın büyük bir kısmı ve kuzeydoğu Çin) konusunda hemfikir olsa da (Coelho vd., 2016; Cook ve Spray, 2012; Spinoni vd., 2020; Zittis, 2018), diğer bölgelerin de son yıllarda büyük kuraklık olaylarından etkilendiği görülmüştür. Bununla birlikte meteorolojik kuraklığın Akdeniz, Orta Amerika, Brezilya, Güney Afrika ve Avustralya gibi birçok bölgede daha da şiddetlenmesi beklenmektedir (Collins vd., 2013; Nguyen-Ngoc-Bich vd., 2021).

IPCC (2014) AR5'de, gelişmekte olan ülkeler kuraklık gibi hava ve iklimle ilgili risklere karşı savunmasız olduğu belirtilmiştir. Sadece kamu sağlığı, tarım ve turizm sektörü değil, aynı zamanda su kaynakları ve farklı ekosistemler de kuraklıktan önemli ölçüde etkilenmektedir (Yeşilköy ve Şaylan, 2022). World Resource Institute (WRI), iklim modelleri ve sosyoekonomik senaryoları kullanarak, 167 ülkede 2020, 2030 ve 2040 yıllarında gelecekteki su stresini (yüzey suyunun rekabet ve tükenmesinin bir ölçüsü)

puanlamıştır. Bu puanlamaya göre 33 ülkenin 2040 yılında aşırı derecede yüksek su stresiyle karşı karşıya olduğu tespit edilmiştir. Listede Türkiye 27. sıra ile bu 33 ülke arasında yer almıştır (WRI, 2022). Su kıtlığı en belirgin şekilde kuraklıkla bağlantılı olup tarım ve gıda güvenliğini (Hameed vd., 2019; Hameed vd., 2020; Teklu, Von Braun ve Zaki, 1992), ekosistemleri (Lotsch vd., 2005), içme suyu talebini (Kharraz vd., 2012) ve enerji sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Kuraklık ayrıca seller (Modarres vd., 2016), orman yangınları (Parente vd., 2019), çölleşme ile kum ve toz fırtınaları (Yahya ve Seker, 2018) gibi iklimle ilgili diğer aşırı olayları da etkilemektedir. Son olarak; kuraklığa bağlı yaşanacak su stresi jeopolitik zorlukları, göçleri (Kaniewski vd., 2012), bölgesel su çatışmaları (Feitelson ve Tubi, 2017; Mathbout vd., 2018) ile yaşlı ve çocuk gibi hassas nüfus gruplarını (Barlow vd., 2016; Hameed vd., 2019) doğrudan etkileyen önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır (Tomaszkiewicz, 2021).

Kuraklık özelliklerini ve etkilerini değerlendirmek için; yağış sıklığı ve yoğunluğu, buharlaşma ve kurak dönemler dahil olmak üzere su mevcudiyetini etkileyen hidro-meteorolojik değişkenleri incelemek gerekmektedir (Spinoni vd., 2019; Vicente-Serrano vd., 2010). Son yıllarda, iklim değişikliğinin dünyanın farklı bölgelerindeki kuraklık koşulları üzerindeki olası etkilerini değerlendirmek için birçok çalışmada küresel iklim modelleri (GCM) kullanılmıştır (Nguyen-Ngoc-Bich vd., 2021; Touma vd., 2015). Küresel ölçekte, GCM projeksiyonları 21. yüzyılda Güney Avrupa, Orta Doğu ve Amerika, Afrika, Avustralya ve Güneydoğu Asya bölgelerinin çoğunda kuraklığın artacağını göstermiştir (Dai, 2011).

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Geçmiş ve gelecekteki kuraklık koşulları potansiyel olarak birçok küresel ve bölgesel faktörden etkilenmektedir. Ancak, hızla değişen ve/veya insan egemen ortamlardaki şiddetli kuraklıklar sadece doğal tehlikeler olarak görülemez. Bahsi geçen olası etkiler göz önünde bulundurulduğunda; kuraklığın detaylı incelenmesi, gelecek eğilimlerinin araştırılması ve muhtemel kuraklık afetlerine önceden önlem alınması önemli bir konu haline gelmiştir. Ülkemizde de kuraklık ve eğilimlerinin incelenmesi ve yaşanabilecek olası aşırı kuraklık durumlarına uyum sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla çalışma kapmasında Türkiye'de geçmiş ve gelecekte yaşanması olası olan kuraklık olayları

incelenmiştir. Bu kapsamda 0,1°x0,1° çözünürlüklü ERA-5 ile 0,11°x0,11°EURO-Cordex Bölgesel İklim Model'ine ait sayısal ağ verileri kullanılarak yakın geçmiş (1990-2020) ve yakın gelecek (2020-2050) dönem ile uzak gelecek (2070-2100) dönem kuraklıkları incelenmiştir. Kuraklık şiddeti hesaplamaları için Standart Yağış İndeksi (SPI) kullanılmıştır. Bölgedeki kuraklığın eğilimlerini incelemek adına Modifiye Mann-Kendall (MMK), Sen'in Eğim ve Yenilikçi Eğilim Analizi (YEA) yöntemleri uygulanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışması 5 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde iklim değişikliği ve kuraklık afetinin etkilerinden ve öneminden bahsedilmiştir. İkinci bölümde kuraklık kavramından ve bu konu üzerine geçmişte gerçekleştirilmiş çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu teze konu olan çalışma bölgesi, çalışmada kullanılan veri setleri ve kullanılan yöntemler üçüncü bölüm altında detaylandırılmıştır. Elde edilen bulgular üç alt başlıkta dördüncü bölümde sunulmuştur. Son bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlardan ve önerilerden bahsedilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Kuraklık ve Kuraklık İndisleri

Kuraklık karmaşık bir kavram olması ve kuraklıktan etkilenen bölgelerin farklı özellikleri nedeniyle evrensel veya kesin bir tanımı yoktur (Van Loon, 2015; Wilhite vd., 2007). Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) kuraklığı uzun süreli yağış eksikliği olarak tanımlarken, BM (Birleşmiş Milletler) Genel Sekreterliği yağışların normalden önemli ölçüde düşük olduğu, kaynak üretim sistemlerini olumsuz etkileyen ciddi hidrolojik dengesizliklere neden olan ve doğal olarak oluşan bir eğilim olarak tanımlamaktadır (Mishra ve Singh, 2010). Farklı bilim insanları ve kuruluşlar tarafından onlarca tanımı olmasına rağmen, kuraklık genel olarak yağışların beklenen normal seviyelerin altına düşmesi sonucu bazı faaliyetleri kısıtlayan ve diğer doğal sistemleri etkileyen doğal bir tehlike olarak tanımlanmaktadır (Wilhite vd., 2007).

Kuraklık, hidrolojik döngü süreçlerine göre yaygın olarak dört kategoride (meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik kuraklık) sınıflandırılmaktadır (Wu vd., 2016). Meteorolojik kuraklık, genellikle belirli bir zaman diliminde ortalama değerlere kıyasla yaşanan yağış eksikliği olarak kabul edilir (Mishra ve Singh, 2010). Meteorolojik kuraklık en baskın olanıdır ve diğer üç tür kuraklığın çok önemli bir doğal tetikleyicisidir (Amir AghaKouchak, 2015; Alamdarloo vd., 2020; Ma vd., 2023; Nasrollahi vd., 2018; Monzonís vd., 2015; Qiu vd., 2023). Hidrolojik kuraklık tanımı tipik olarak yağış eksikliği dönemlerinin yüzey veya yeraltı su kaynakları üzerindeki etkileriyle ilgilidir (Wilhite ve Glantz, 1985). Linsley vd. (1958) hidrolojik kuraklığı temel olarak akarsu akışının yerleşik su ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kaldığı bir dönem olarak tanımlamaktadır. Hidrolojik kuraklık analizi için genellikle akış verileri kullanılmaktadır (Mishra ve Singh, 2010). Tarımsal kuraklık ise toprak neminin azaldığı ve ardından mahsul yetersizliğinin yaşandığı bir dönem olarak ifade edilir (Wilhite ve Glantz, 1985). Son yaygın kuraklık kategorisi sosyo-ekonomik kuraklıktır. Sosyo-ekonomik kuraklık su tedarik sistemlerinin su talebini karşılayamaması ve dolayısıyla kuraklığın ekonomik malların su arz ve talep dengesiyle ilişkilendirilmesiyle bağlantılıdır. Ekonomik bir mala olan talep arzdan fazla olduğunda, su arzında hava koşullarına bağlı bir eksikliğin sonucu olarak sosyo-ekonomik kuraklık meydana gelecektir (Ersoy, 2022).

Kuraklığın farklı tanımlanması, farklı sınıflarının olması, etkilenen sektörlerin sayısı ve çeşitliliği göz önüne alındığında tüm kuraklık türleri için uygun eylemleri belirlemek üzere tek bir gösterge veya indeks kullanılamaz (WMO, 2016). Farklı girdi kombinasyonları ile farklı eşik değerlerinin kullanılması tercih edilen yaklaşımdır. WMO farklı kuraklık indislerini taramış ve kullanım kolaylığı ya da türüne göre sınıflandırılmıştır. Çizelge 2.1'de gösterilen yeşil renk elde edilmesi ve kullanımı en kolay, sarı renk orta derecede zor ve kırmızı renk en zor indisler için kullanılmıştır. Her ne kadar indisler 'kullanım kolaylığına' göre sıralanmış olsa da kullanıcı bilgisi, ihtiyaçları, veri mevcudiyeti ve bunları uygulamak için mevcut bilgisayar kaynaklarına bağlı olarak göstergelerin herhangi birinin, tamamının veya hiçbirinin belirli bir uygulama için uygun olmaması mümkündür.

Çizelge 2.1. İndis kullanım kolaylığı kategorisi ve girdi değişkenleri tablosu (WMO, 2016)

İndisler	Kullanım Kolaylığı	Girdi Parametresi
Kuraklık Anomali İndeksi (AAI)		P, T, PET, ET
Standart Yağış İndeksi (SPI)		P
Standart Ağırlıklı Anomali İndeksi (WASP)		P, T
China Z Indeksi (CZI)		P
Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI)		P, T, AWC
Standart Yağış ve Buharlaşma İndeksi (SPEI)		P, T
Yağış Anomali Indeksi (RAI)		P
Akım Kuraklık İndeksi (SDI)		SF
Kuraklık İçin Tarımsal Referans İndeksi (ARID)		P, T, Mod
Standartlaştırılmış Kar Erimesi ve Yağmur İndeksi (SMRI)		P, T, SF, Mod
Toprağa Göre Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI)		Sat
Ürüne Özel Kuraklık İndeksi (CSDI)		P, T, Td, W, Rad, AWC, Mod, CD

Çizelge 2.1'de verilen "P" yağış, "T" sıcaklık, "SF" akım, "Sat" uydu, "Td" çiğlenme noktası sıcaklığı, "W" rüzgar, "Mod" modelleme, "AWC" kullanılabilir su miktarı, "PET" potansiyel buharlaşma, "CD" mahsul verisi ve "ET" buharlaşma girdi değişkenini ifade etmektedir.

2.2. Dünya'da Yapılan Çalışmalar

Araştırmacılar tarafından dünya üzerinde birçok ülke veya bölgede geçmiş ve gelecek dönem kuraklıkları ile ilgili çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan iklim projeksiyonlarını da kullanan bazıları Çizelge 2.2'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde geçmişten günümüze birçok çalışma farklı çözünürlükte ve veri uzunluğunda GCM ve RCM verilerini kullandığı görülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda araştırmacılar farklı kuraklık indekslerini kullansa da yaygın olarak SPI, SPEI ve Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI) kuraklık indeksleri kullanılmıştır. Çalışma bölgeleri farklı olsa da elde edilen bulgular gelecek dönemlerde kuraklığın şiddetinin ve frekansının artacağı yönünde olmuştur (Lee vd., 2019; Reyniers vd., 2022; Teutschbein vd., 2023).

Wehner vd. (2011) yaptıkları çalışmada ABD ve Meksika'da farklı çözünürlüklere sahip 19 GCM verisini kullanmışlardır. PDSI kuraklık indeksi ile bölgedeki geçmiş ve gelecek dönem kuraklıkları hesaplamışlardır. Tüm model sonuçlarına göre gelecek yıllarda kuraklık sıklığı ve şiddetinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Orlowsky ve Seneviratne (2013), global düzeyde yaptıkları çalışmada farklı çözünürlüğe sahip GCM'lerin geçmiş ve gelecek (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) verilerini kullanmışlardır. Çalışmasında SPI, Soil Moisture Anamolies (SMA), Consecutive Dry Days (CDD), ve warm Spell Duration (WSDI) kuraklık indislerini kullanan Orlowsky ve Senevirate gelecekteki kuraklık olaylarının sıklığındaki değişikliğin Akdeniz, Güney Afrika ve Orta Amerika / Meksika bölgelerinde 21. yüzyılın sonuna doğru daha sık kuraklık görülebileceği belirtmiştir.

Çizelge 1.2. Dünya'da yapılan kuraklık ile ilgili bazı çalışmalar

Yazar	Veri-Çözünürlük	Veri Aralığı	Çalışma Bölgesi	Kullanılan Yöntem
Wehner vd. (2011)	GCM	1900-2100	ABD ve Meksika	PDSI
Orlowsky ve Senevirate (2013)	GCM	2070-2099	Global	SPI, SMA, WSDI, CDD
Dubrovský vd. (2014)	GCM - 1ºx1º	2080-2099	Akdeniz	PDSI
Lee, Im ve Bae (2019)	RCM - 0,11ºx0,11º	2076-2100	Kore	SPI, SPEI, SRI
Zhao vd. (2020)	CanESM2-CESM1	2005-2100	Kuzey Amerika	SPI, SDI
Yang vd. (2020)	GCM - 1ºx1º	2006-2100	Global	PDSI
Yao vd. (2020)	GCM	2011-2100	Çin	SPEI
Mirgol vd. (2021)	GCM	2021-2080	Urmiye Gölü	SPI, SPEI
Kamal, Hossain ve Shahid (2021)	GCM (CMIP6)	2020-2099	Bangladeş	SPI
Zhang, Gan ve Su (2022)	GCM (CMIP6)	2040-2100	Çin	SPI, SPEI, SSI, scPDSI, SRI
Hamed vd. (2022)	GCM - 0,5ºx0,5º	2020-2100	Irak	SPEI
Reyniers vd. (2022)	RCM - 0,11ºx0,11º	2025-2080	Büyük Britanya	SPI, SPEI
Das vd. (2023)	GCM CMIP6	2010-2100	Hindistan	SPEI
Teutschbein vd. (2023)	RCM - 0,11ºx0,11º	2006-2100	İsveç	SPI, SPEI

Mirgol vd. (2021) yarı kurak bir bölge olan Urmiya Gölü havzasının kuraklık durumunu 6 farklı GCM verisi kullanarak geçmiş ve gelecek dönemler için incelemişlerdir. Çalışmada RCP2.6, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarını kullanan yazarlar 1988-2017 geçmiş ile 2021-2050 ve 2051-2080 gelecek dönemlerinin kuraklık değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışma sonucunda SPEI'da SPI'dan daha fazla kuraklık olayı tespit etmişlerdir. Genel olarak, tüm senaryolar altında gelecek dönemler kuraklık eğilimleri ve süresi açısından geçmiş döneme göre daha az kuraklık tespit edilmiş, ancak gelecek

dönemlerdeki üç aylık şiddetli kuraklık olaylarının sıklığı gözlenen döneme göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Kamal vd. (2021), Bangladeş için gerçekleştirdikleri çalışmada CMIP6 havuzundan 6 farklı GCM ve 2 farklı senaryo kullanarak bölgedeki olası gelecek kuraklık olaylarını analiz etmişlerdir. Yazarlar çalışma sonuçlarına göre kuraklık sıklığının, kuraklığa eğilimli Bangladeş'in batı bölgesinde %50'ye kadar azalıp, doğu bölgesinde %50-70'e kadar artarak kuraklıkların ülke genelinde daha homojen bir şekilde dağılmasının beklendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca yazarlar SSP119 ve SSP126 senaryoları için kuraklık karşılaştırılması yaparak, sıcaklıktaki 0,5ºC'lik bir artışın Bangladeş'in orta-doğu kesimlerinde aşırı kuraklık sıklığında %30'a yakın bir artışa neden olabileceğini ortaya koymuştur.

Hamed vd. (2022) yarı kurak bölge olan Irak'ta yaptıkları çalışmada CMIP6 modellerinden 21 farklı GCM verisini değerlendirip en iyi GCM'yi seçmişler ve seçilen GCM ve 2 farklı gelecek senaryosu ile yakın (2020-2059) ve uzak gelecek (2060-2099) kuraklıklarını SPEI kullanılarak tahmin etmişlerdir. Elde ettikleri bulguları referans dönemle (1975-2014) karşılaştırmışlardır. Buna göre her iki senaryoda da tüm şiddetler için kuraklık sıklığının yakın gelecekte %0 ila %40 arasında azalacağı, orta ve şiddetli kuraklıkların ise uzak gelecekte %45'e kadar artacağı öngörülmüştür. Senaryoların çoğu, kuraklığa eğilimli kuzey bölgesinde aşırı kuraklıklarda %30'a varan bir azalma göstererek Irak'taki aşırı kuraklığa eğilimli bölgelerde bir değişimin olacağı öngörüsünde bulunmuşlardır.

Das vd. (2023) Hindistan'daki gelecek dönem kuraklık koşullarını SPEI kuraklık indisini kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada CMIP6 havuzundan 3 GCM verisi içim 4 farklı gelecek senaryosu (RCP2.6, RCP4.5, RCP7.0 ve RCP8.5) kullanılmıştır. Araştırmacılar 1967-2005 dönemi ile 2023-2061 ve 2062-2100 dönemleri kuraklık sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Elde edilen bulgular şiddetli (alanın %56 ila %72'si) ve aşırı (alanın %99'u) kuraklıkların sırasıyla 3 aylık ölçekli koşullar için tüm senaryolar altında artacağını göstermiştir. Ayrıca 3 ve 12 aylık ölçekli kuraklık koşulları altında kuraklık yoğunluğunun artacağı öngörülmüştür.

2.3. Türkiye'de Yapılan Çalışmalar

Türkiye'de geçmiş kuraklıklar üzerine yapılmış birçok bölgesel ve ülke çapında çalışma mevcuttur. Gelecek dönem olası kuraklıkları üzerine yapılan çalışmalar olsa da çoğu il veya havza boyutunda sınırlı kalmıştır. Çizelge 2.3'te Türkiye'de gelecek dönem olası kuraklıkları konu alan çalışmalar verilmiştir.

Çizelge 2.3. Türkiye'de gelecek dönem olası kuraklıkları ile ilgili yapılmış çalışmalar

Yazar	Veri Türü	Veri Aralığı	Çalışma Bölgesi	Kullanılan Yöntem
Mehr vd. (2020)	RCM- 20km	1971-2000, 2016-2041	Ankara	SPI-SPEI
Afshar vd. (2020)	RCM- 20km	1984-2018, 2018-2050	Ankara	SPI
Poyraz (2018)	RCM- 0,11ºx0,11º	1971-2005, 1972-2100	Akdeniz İklim Bölgesi	SPI
Yılmaz vd. (2022)	RCM- 0,11ºx0,11º	2030-2059, 2070-2099	Yukarı Çoruh Havzası	SPI
Yeşilköy ve Şaylan (2022)	RCM- 0,11ºx0,11º	2019-2099	Batı Marmara	SPI, scPDSI
Ersoy (2022)	RCM - 0,11ºx0,11º	1970-2100	Türkiye Geneli	SPI

Mehr vd. (2020) Ankara için yaptıkları çalışmada 3 RCM'nin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo verilerini kullanmışlardır. 2016-2040 dönemi için SPI ve SPEI yöntemleri yardımıyla olası kuraklıkları analiz etmişlerdir. Çalışmada, projeksiyonların 2016-2040 yakın gelecek dönemi için daha az kuraklık olayına işaret ettiğini ve potansiyel aşırı kuraklık olaylarının görülmeyeceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca RCP4.5 senaryosu, kurak dönemlerin yakın gelecekteki dönemin ikinci yarısında baskın olacağını gösterirken, RCP8.5 senaryosu kurak dönemlerin yakın gelecekteki tüm dönem boyunca eşit olarak dağılacağını öngörüldüğünü belirmişlerdir.

Afshar vd. (2020) Ankara için yaptıkları çalışmalarında 3 farklı RCM'nin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ile gelecek dönem olası kuraklık olaylarını SPI yardımıyla hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda gelecek dönemde kuraklığın meydana gelme

olasılığı daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuçlara göre ılımlı kuraklıkların süresinin artacağı ve aşırı kuraklıklar daha uzun sürelerde ve daha büyük şiddetlerde meydana geleceği öngörülmektedir. Ayrıca, ortak dönüş periyodu analizi farklı kopula fonksiyonları aracılığıyla hafif kuraklıkların geri dönüş süresinin yakın gelecekte aynı kalacağını ortaya koyarken yakın gelecekte aşırı kuraklıklarda %12 oranında azalacağı belirlenmiştir.

Yılmaz vd. (2022) Yukarı Çoruh Havzası yaptıkları çalışmada SPI yöntemi kullanarak 2030-2059 ve 2070-2099 dönemleri kuraklıklarını hesaplamışlardır. Çalışmada RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına sahip 13 RCM verisi kullanmışlardır. Sonuçlar, hidrolojik kuraklık sürelerinin sıklığının 2030-2059 döneminde RCP4.5 ve RCP8.5 altında daha yüksek olacağını göstermiştir. Buna ek olarak yazarlar hidrolojik yüksek şiddetli kuraklıkların ve düşük şiddetli kuraklıkların sıklığı RCP4.5 ve RCP8.5 altında sırasıyla 2030-2059 ve 2070-2099 dönemlerinde daha olası olacağını belirtmişlerdir.

Yeşilköy ve Şaylan (2022) Marmara Bölgesi'nin batısını ele aldıkları çalışmada SPEI ve Self-Calibrated Palmer Drought Severity (sc-PDSI) indislerini kullanarak bölgedeki geçmiş (1971-2018) ve olası gelecek (2019-2050, 2051-2099) dönem kuraklıklarını analiz etmişlerdir. Çalışma kapsamında 5 RCM verisinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo verilerini kullanmışlardır. Elde ettikleri kuraklık bulgularının eğilimlerini YEA yöntemi ile incelemişlerdir. Sonuç olarak bölgede orta ve yüksek kuraklık (kuraklık görülme) oranı geçmiş dönemde SPEI ve sc-PDSI için sırasıyla %17,2-30,3 olarak gerçekleşmiştir. Kuraklık görülme oranının 2051-2099 yılları için RCP 4.5'te %38,3-35,3 ve RCP 8.5'te %41-47 oranında artacağını belirtmişlerdir.

Ersoy (2022) yaptığı çalışmada Türkiye genelinde geçmiş ve gelecek dönem kuraklıklarını havza bazında incelemiştir. Çalışmasında 0,11ºx0,11º çözünürlüklü 56 RCM verisinin RCP8.5 senaryosunu kullanmıştır. Çalışma sonucunda SPI ile yapılan kuraklık analizleri tüm havzalarda ve tüm Türkiye'de 2071 ile 2100 yılları arasında kuraklık şiddetinin ve uzunluklarının arttığını gösterdiğini ve buna göre yüzyılın son 30 yılının bölge üzerinde daha önce görülmemiş en şiddetli kuraklık koşullarının görüleceğini belirtmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

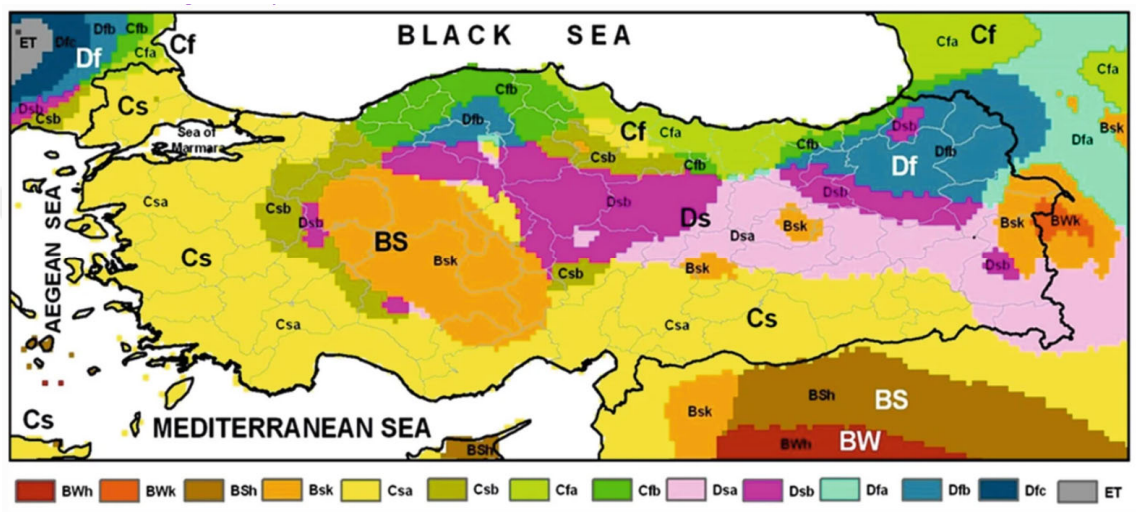
Türkiye 36^0 K ve 42^0 K enlemleri ile 26^0 D ve 45^0 D boylamları arasında yer almaktadır. Çalışma bölgesi Güneydoğu Avrupa'dadır ve Avrupa ile Asya'yı birbirine bağlar. Yaklaşık 780.000 km^2 yüzölçümüne sahip olan bölgenin ortalama yükseltisi 1.130 m'dir. Ülkenin ortalama rakımı dünya üzerindeki her bir kıtanın ortalama rakımından daha yüksektir (Türkeş, 2020). Ülke oldukça değişken topografyaya sahiptir ve ülkenin orta kesimlerinden doğuya doğru gidildikçe yükselti artar. Orta enlem coğrafi kuşağının subtropikal kuşağa doğru güney kesiminde yer aldığından yıl içinde dört mevsim belirgin şekilde yaşanır (Türkeş, 2020). Ilıman iklim koşullarının hâkim olduğu Akdeniz coğrafi konumuna rağmen, topografyadaki çeşitlilik ve Karadeniz, Ege Denizi ile Akdeniz'e kıyısının bulunması ülkede farklı iklim koşullarının görülmesine neden olmaktadır. Ülke iklim ile sosyal ve ekonomik değişkenlere göre; Marmara, Ege, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu, İç Anadolu ve Karadeniz olmak üzere yedi coğrafi bölgeye ayrılmıştır.

Köppen-Geiger (Köppen, 1936; Köppen ve Geiger, 1954) iklim sistemine göre Türkiye'nin iklimi diğer birçok iklim sınıflandırmasında olduğu gibi oldukça çeşitlidir (Türkeş, 2020). Şekil 3.1'de Köppen-Geiger iklim sisteminin birinci, ikinci ve üçüncü dereceden harf sınıflandırmasına göre Türkiye'deki iklim tiplerinin coğrafi dağılımları haritası verilmiştir. Haritada gösterilen iklim sınıflandırmasında sadece birinci ve ikinci dereceden harfler dikkate alındığında başlıca iklim tipleri şu şekilde tanımlanabilir:

- Türkiye'de sub-tropikal bozkır iklimi BS, İç Anadolu Bölgesi'nin orta kesimlerinde ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin en doğusunda Van-Iğdır bölümünde görülür.
- Kurak mevsimi olmayan ve ılıman yağışlı veya nemli sıcaklıktaki batı kıyısı iklimi Cf (Cfa ve Cfb), Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nin kıyısında hakimdir (batı bölgesi hariç).
- Marmara, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ile İç Anadolu Bölgesi'nin batı ve güney kısımları (Sakarya ve Konya alt bölgelerinin bazı

kısımları) kuru yaz sub-tropikal Akdeniz iklimine veya yazları kuru ılıman yağışlı iklim Cs (çoğunlukla Csa) sınıfına dahildir.

- Yazları kurak geçen soğuk karlı orman iklimi Ds (Dsa ve Dsb) Türkiye'nin İç ve Doğu Anadolu bölgelerinin orta ve kuzey kesimlerinde görülür.
- Son derece soğuk yarı arktik iklim (Dfb) Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey kesimlerinde görülmektedir.

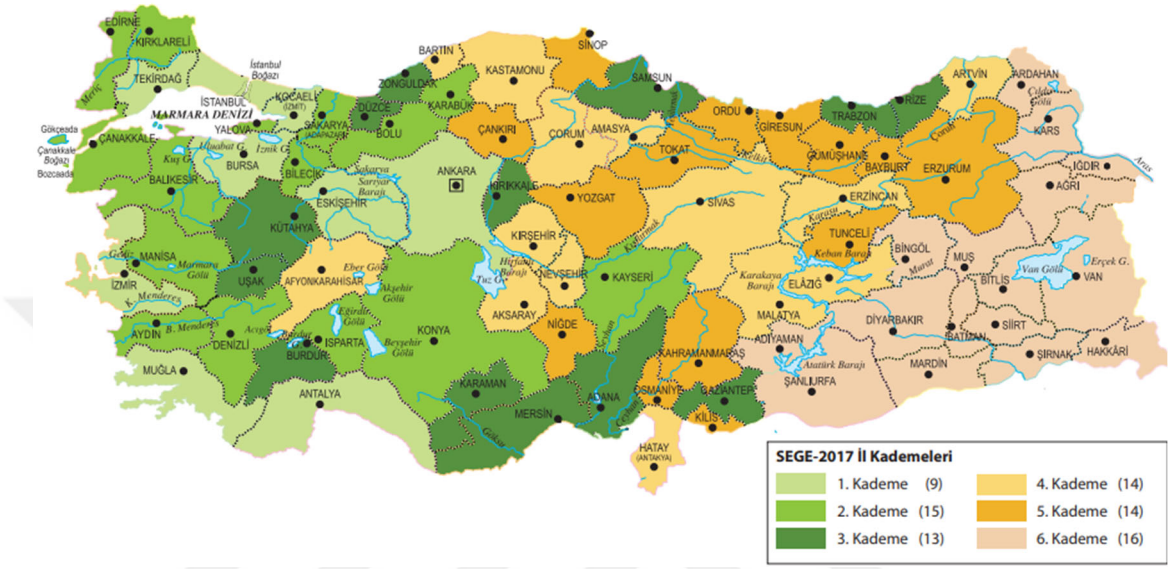


Şekil 3.1. Köppen-Geiger iklim sisteminin birinci, ikinci ve üçüncü derece harf sınıflandırmasına göre Türkiye'deki iklim tiplerinin coğrafi dağılımları (Türkeş, 2010)

Türkiye'nin farklı bölgelerinin iklimsel değişkenliğine bakılmaksızın, Türkiye'nin genel iklim deseni, su kaynakları potansiyelini tanımlayan ve dolasıyla tarımını ve endüstrisini şekillendiren genel bir yarı kurak iklimin özellikleri taşımaktadır (Khorrami ve Gündüz, 2022).

Türkiye'nin ekonomik yapısına bakıldığında T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü (2019) tarafından yapılan araştırmada illerin ve bölgelerin sosyo-ekonomik gelişmişlikleri incelenmiştir. Araştırmadan elde edilen "İl Gelişmişlik Kademeleri Haritası" Şekil 3.2'de sunulmuştur. En gelişmiş illeri kapsayan birinci ve ikinci gelişmişlik kademesinde Marmara, İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinden iller yer almaktadır. Karadeniz Bölgesi'nden Karabük ili de ikinci gelişmişlik kademesinde yer alan iller arasındadır. Orta derecede gelişmişliği temsil eden üçüncü, dördüncü ve beşinci gelişmişlik kademelerinde ağırlıklı olarak İç Anadolu,

Karadeniz, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinden iller bulunmakla birlikte İç Ege'de yer alan Uşak, Kütahya ve Afyonkarahisar illeri de bu grupta yer almaktadır. Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yer alan illerimiz çoğunlukla altıncı gelişmişlik kademesinde bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Türkiye illeri 2017 gelişmişlik kademeleri haritası (S. T. B., 2019)

3.2. Veri Setleri

3.2.1. ERA5-Land Yeniden Analiz Veri Seti

Meteorolojik yeniden analiz verileri, birkaç on yıl öncesini kapsayan ve hem fiziksel hem de dinamik açıdan bütüncül ve tutarlı bir iklim veri seti oluşturmak amacıyla, çeşitli kaynaklardan elde edilen kara yüzeyi ve atmosferik gözlemleri fiziksel yasalara uyan en gelişmiş sayısal hava tahmin modelleri ile asimile ederek geçmişteki hava ve hava olaylarının hassas bir tanımını sağlamaktadır. Yeniden analiz verileri genellikle ücretsiz ve düzenli sayısal ağ düzeninde, günümüzden birkaç ay gecikmeli olarak yayınlanmaktadır.

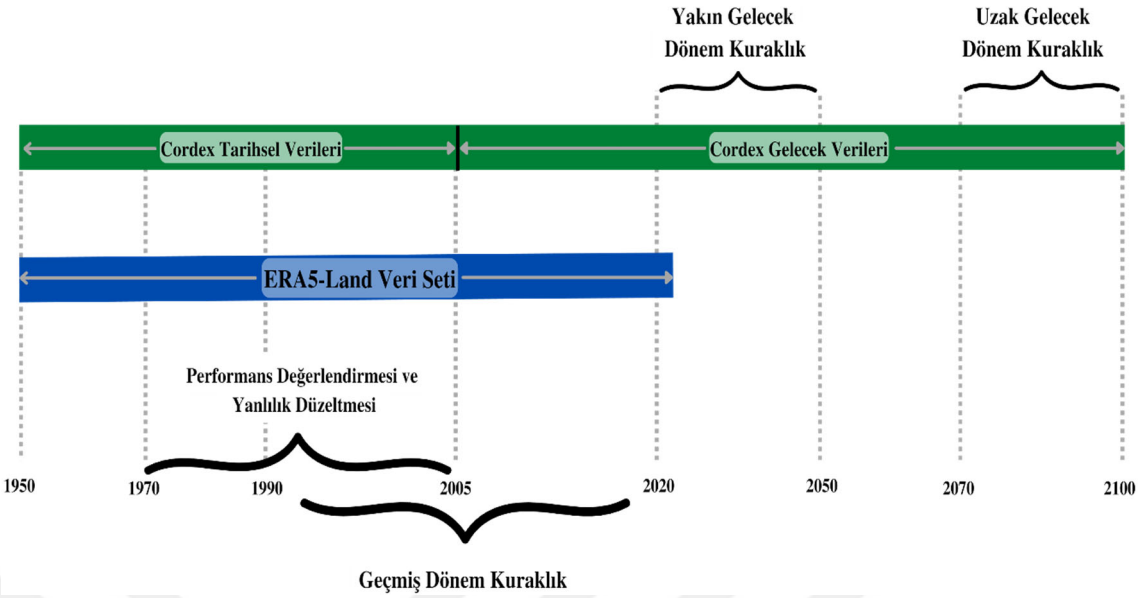
ERA5-Land, ERA5'e kıyasla gelişmiş bir çözünürlükte birkaç on yıl boyunca arazi değişkenlerinin gelişiminin tutarlı bir görünümünü sağlayan bir yeniden analiz veri setidir. ERA5-Land, ECMWF ERA5 iklim yeniden analizinin arazi bileşeni tekrar modellenerek üretilmiştir (Copernicus, 2022a).

Çizelge 3.1'de tanımları verilen ERA5-Land yeniden analizinin zamansal ve mekânsal çözünürlükleri, bu veri setini sel veya kuraklık tahmini gibi her tür arazi yüzeyi uygulaması için çok kullanışlı hale getirmektedir. Bu veri setinin zamansal ve mekânsal çözünürlüğü, zaman içinde kapsadığı periyot ve herhangi bir dönemde veri dağıtımı için kullanılan sabit sayısal ağ, karar vericilerin, işletmelerin ve bireylerin arazi durumları hakkında daha doğru bilgilere erişmesini ve kullanmasını sağlamaktadır (Copernicus, 2022a).

Çizelge 3.1. ERA5-Land yeniden analiz veri seti tanımları

Veri Tipi	Sayısal ağ
Projeksiyon	Düzenli enlem-boylam ızgarası
Yatay Kapsama	Küresel
Yatay Çözünürlük	0.10° x 0.10°; Yerel Çözünürlük 9 km.
Zamansal Kapsama	1950'den günümüze (birkaç ay gecikmeli)
Zamansal Çözünürlük	Saatlik
Güncelleme Sıklığı	Gerçek tarihe göre yaklaşık 3 ay gecikmeli olarak aylık olarak
Dikey Kapsama	Yüzey seviyesinden 2 m yukarıdan 289 cm toprak derinliğine kadar
Dosya Formatı	GRIB

Bu çalışmada, RCM'lerin performanslarının değerlendirmesi adına gözlem verisi olarak 1970-2005 yılları arası ERA5-Land yağış veri seti kullanılmıştır. Performans değerlendirmesi adına seçilen yıl aralığı RCM veri setlerinin tarihsel verilerinin sınırlı uzunlukta olmasından kaynaklı 1970-2005 yılları arası seçilmiştir. Ayrıca geçmiş dönem kuraklıkları hesaplayabilmek adına geçmiş dönem veri aralığı 1990-2021 seçilmiş ve bu dönem için yağış ve sıcaklık hidrometeorolojik verileri ERA5-Land yeniden analiz verileri kullanılmıştır. Veriler saatlik çözünürlükte Copernicus'un İklim Veri Merkezi'nden (https://cds.climate.copernicus.eu) indirilmiştir. Kullanılan veri setleri ve aralıkları Şekil 3.3'te detaylandırılmıştır.



Şekil 3.3. Analizlerde kullanılan veri setlerinin zaman aralıkları

3.2.2. CORDEX Bölgesel İklim Modeli Veri Setleri

GCM'ler dünyanın karmaşık iklim değişkenliğini ve değişimini ortaya çıkarmak için bileşenlerin birbirleriyle etkileşimlerini tanımlayarak dünyanın iklim sisteminin zaman içindeki evrimini benzeştirmektedir. GCM'ler insan kaynaklı sera gazlarının ve aerosollerin gelecekteki iklim üzerindeki etkilerini bir yüzyıl veya daha uzun bir süre boyunca tahmin etmektedir (Turp, 2021).

İklim modellemesinin temelini oluşturan GCM'ler, Dünya'nın iklimini benzeştirme becerilerini her geçen gün geliştirmektedir. Literatürde GCM'lerin doğruluklarını değerlendiren çalışmalarda, GCM'lerin iklim değişkenlerindeki değişim ve çeşitliliklere ilişkin gözlemlerle tutarlı sonuçlar verdiği konusunda genel bir mutabakat olduğu görülmektedir (Hausfather vd., 2020; Reichler ve Kim, 2008). GCM'lerin çözünürlüğü büyük ölçüde artmış olsa da çekirdek yapılarının doğrudan bölgesel veya yerel benzeşimler için uygun olmaması ve yüksek hesaplama maliyetleri nedeniyle RCM'ler ile birlikte çalışmak durumunda kalınmaktadır (Turp, 2021).

RCM'ler bir GCM'den alınan başlangıç ve sınır koşulları kullanılarak çalıştırılmaktadır (Houghton, 2009). RCM'ler yerel ölçekli orografik, kıyı ve iç kesim süreçlerini temsil

etmede daha kullanışlı olduğundan (Christensen vd., 2007; Maraun vd., 2010) özellikle heterojen araziler için daha hassas sonuçlar üretmektedirler (Turp, 2021).

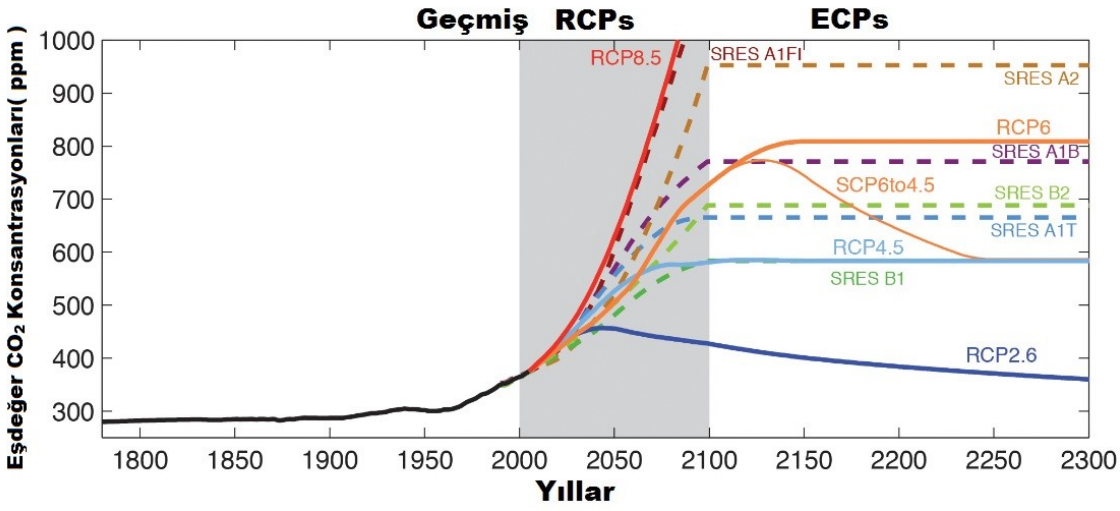
Yüksek çözünürlüklü RCM'ler, GCM'ler ile elde edilemeyen bölgesel ve yerel ölçeklerde nispeten daha ince ayrıntılarla iklim değişikliği bilgileri sağlayabilmektedir. Bu, küçük ölçekli bölgesel iklim özelliklerinin daha iyi tanımlanmasında ve ayrıca aşırı olayların daha doğru temsilinde kendini göstermektedir. Sonuç olarak, bu tür RCM'lerin çıktıları bölgesel ve yerel iklim etki çalışmalarını ve uyum kararlarını desteklemek için büyük önem arz etmektedir. GCM'ler bölgesel modellere yanal ve alt sınır koşulları sağladığından RCM'ler GCM'lerden bağımsız değildir. Bu anlamda RCM'ler GCM'lerin büyüteçleri olarak görülebilir (Copernicus, 2022b).

İklim değişikliğinin etkileri farklı alanlarda ve zaman ölçeklerinde değişken özellikler gösterdiğinden, iklim değişikliği sinyallerinin doğru tespit edilebilmesi için bölgesel bazlı çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda dünya genelinde PRUDENCE (Christensen vd., 2007), ENSEMBLES (Van der Linden ve Mitchell, 2009), NARCCAP (Mearns vd., 2009) ve CLARIS (Menendez vd., 2010) gibi çeşitli uluslararası projeler yürütülmektedir. Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX) ise 2008 yılında Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) tarafından oluşturulan çok ortaklı girişimlerden biridir (Evans, 2011; Giorgi vd., 2009). CORDEX toplamda 14 farklı alanı kapsamakta ve dünyanın neredeyse tüm bölgeleri için en az 50 km x 50 km küçültülmüş bölgesel iklim projeksiyonları verilerini bir araya getirmektedir. Bu çalışmada çalışma alanı olarak seçilen Türkiye'yi sınırları içerinde bulunduran ve yüksek çözünürlüklü veri (0,11ºx0,11º) içermesinden kaynaklı CORDEX'in EURO etki alanı verileri kullanılmıştır.

Bugün dünyanın farklı ülkelerinde farklı araştırma merkezleri ve birçok bilim insanı bireysel ve ortak projeler yürüterek dünyanın gelecekteki iklim koşullarını tahmin eden çalışmalar yapmaktadır. Amaç geleceğin olası iklim koşullarını belirlemek olduğuna göre, burada kritik nokta gelecekteki iklimin nasıl belirleneceğidir. Bu nedenle mevcut iklim değişikliğinin temel nedeni olan insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının gelecekte ne ölçüde değişeceği ve güneşten gelen enerjinin yeryüzündeki atmosferik miktarının ne

kadar artacağı öngörülmesi gereken ilk kısımdır. Bu nedenle çeşitli senaryolar hazırlanmakta ve gelecekteki atmosferik sera gazı konsantrasyonları tahmin edilmektedir. Gelecekle ilgili iklim projeksiyonları yapabilmek için insanlığın küresel iklim değişikliğine karşı nasıl önlemler alacağını öngörmek gerekir. Bu noktada bilim insanları ekonomik sistemlerin gelişimine ve değişimine bağlı olarak çeşitli senaryolar oluşturmaktadır. Bu senaryolar en iyimser senaryodan en kötümser senaryoya kadar geniş bir yelpazeyi içermektedir.

IPCC AR5'te (2013) bakış açısını değiştirmiş ve projeksiyon çalışmalarında emisyon senaryoları yerine Temsili Konsantrasyon Yollarını (RCP) (Meinshausen vd, 2011; van Vuuren vd., 2011a) kullanmıştır (Şekil 3.4). İyimserden kötümsere doğru sırasıyla RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 olarak adlandırılan dört senaryo bulunmaktadır. RCP kısaltmasının yanındaki sayılar, 2100 yılı itibariyle radyatif zorlama değerlerini (W/m^2) göstermektedir. RCP2.6 (van Vuuren vd., 2007; van Vuuren vd., 2011b) yüzyılın ortalarında zirveye ulaşmakta ve daha sonra azalan bir eğilim izlemektedir. RCP4.5 (Wise vd., 2009) ve RCP6.0 (Fujino vd., 2006) bir stabilizasyon yolu izlemektedir. RCP4.5'teki ışınımsal zorlama değeri yüzyılın sonunda durağan olmaktadır. RCP8.5 (Riahi vd., 2011; Riahi vd., 2007) emisyonları 2100 yılına kadar sürekli artan bir yol izlemekte ve bu nedenle radyatif zorlama seviyesi yüzyılın sonunda yükselmektedir (Turp, 2021).



Şekil 3.4. Eşdeğer CO_2 konsantrasyonları senaryoları grafiği

Diğer pek çok karmaşık sistem gibi, iklim çalışmaları da modellere dayanmak zorundadır. Zaman ve bilgisayar maliyetleri açısından oldukça pahalı hale gelen iklim modellemelerinin hızlı ve yaygın bir şekilde gerçekleştirilmesi, gerçekleşen ve gerçekleşmesi muhtemel iklim koşullarının ve iklim değişikliğinin etkilerinin belirlenmesinde kritik bir role sahiptir. Dolayısıyla dünya genelinde farklı kişi ve kurumların el ele hareket etmesi daha fazla gündeme gelmektedir. Bu sayede dünyadaki iklim değişikliği çalışmalarının daha düzenli ve etkin bir şekilde işlemesine vesile olan ortak iklim değişikliği projeleri, dünyanın farklı yerlerinde çeşitli iklim grupları tarafından gerçekleştirilen iklim modellerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu ortak projelerin en bilinenlerinden ve en önemlilerinden birisi ise Coupled Model Intercomparison Project'tir (CMIP).

Kurulduğu günden bu yana modelleme çalışmalarına katkı sağlayan grupların sayısındaki artış, yeni geliştirilen senaryo ve modeller, mevcut modellerin geliştirilmesi gibi faktörler CMIP'i altıncı aşamaya getirmiş ve CMIP6 adını almıştır. Bu tezde, IPCC'nin son yayınlanan raporu AR5'in temelini oluşturan ve AR6'ya da katkı sağlamaya devam edecek olan CMIP5'teki GCM'lerden elde edilmiş RCM verileri kullanılmıştır. CMIP6'nın dinamik ölçek indirgenmiş verileri henüz mevcut olmadığından CMIP5 tercih edilmiştir. Veriler günlük çözünürlükte Copernicus'un İklim Veri Merkezi'nden "CDSAPI" kullanılarak (https://cds.climate.copernicus.eu/) indirilmiştir. Elde edilen veriler daha sonra aylık ortalamaya dönüştürülmüştür. Çalışmada kullanılan EURO-CORDEX etki alanının geçmiş RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına ait 0,11º x 0,11º çözünürlüklü RCM'lerin listesi Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan RCM'ler

Numara	GCM	RCM
RCM01	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63
RCM02	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	DMI-HIRHAM5
RCM03	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	GERICS-REMO2015
RCM04	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	IPSL-WRF381P
RCM05	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	KNMI-RACMO22E
RCM06	ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E
RCM07	IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL-WRF381P
RCM08	IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4
RCM09	MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17
RCM10	MOHC-HadGEM2-ES	DMI-HIRHAM5
RCM11	MOHC-HadGEM2-ES	GERICS-REMO2015
RCM12	MOHC-HadGEM2-ES	KNMI-RACMO22E
RCM13	MOHC-HadGEM2-ES	SMHI-RCA4
RCM14	MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17
RCM15	MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009
RCM16	MPI-M-MPI-ESM-LR	SMHI-RCA4
RCM17	NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5
RCM18	NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015
RCM19	NCC-NorESM1-M	SMHI-RCA4

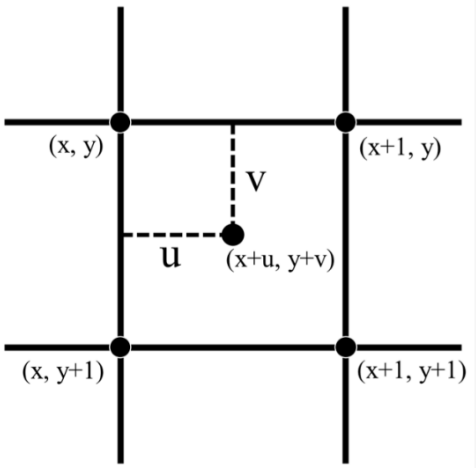
3.3. Çift Doğrusal Enterpolasyon

İkinci dereceden doğrusal enterpolasyon olarak da bilinen bilineer enterpolasyon, yeni enterpolasyon sonucunu toplamak için etrafındaki dört piksel değeri artı mesafe ağırlıklarını kullanarak bir piksel noktasını bilineer olarak enterpole etme işlemidir (Jiao vd, 2023).

"(x+u, y+v)" konumunda istenen değer Denklem 3.1 kullanılarak hesaplanır:

$$\mathrm{f}(\mathrm{x}+\mathrm{u},\mathrm{y}+\mathrm{v}) = (1-\mathrm{u})(1-\mathrm{v})\mathrm{f}(\mathrm{x},\mathrm{y}) + \mathrm{u}(1-\mathrm{v})f(\mathrm{x}+1,\mathrm{y}) + \mathrm{v}(1-\mathrm{u})f(\mathrm{x},\mathrm{y}+1) + \mathrm{uvf}(\mathrm{x}+1,\mathrm{y}+1) \quad (3.1)$$

Burada x ve y sırasıyla Şekil 3.5'te görülen noktaların satır ve sütun koordinatlarıdır; u ve v sırasıyla istenen nokta ile bilinen noktanın satır ve sütun koordinatları arasındaki mesafe farkıdır.



Şekil 3.5. Çift doğrusal enterpolasyon yönteminin şematik diyagramı (Jiao vd, 2023)

Bu çalışma kapsamında kullanılan CORDEX (0,11ºx0,11º) ve ERA5-Land (0,1ºx0,1º) veri setleri arasında önceki bölümlerde de belirtildiği üzere alansal çözünürlük farkı bulunmaktadır. Bu farkın giderilmesi adına CORDEX veri setlerinin çözünürlükleri ERA5-Land veri setleriyle aynı coğrafi konuma sahip olacak şekilde çift doğrusal enterpolasyon yöntemi kullanılarak 0,1°x0,1° çözünürlükte tekrar oluşturulmuştur.

3.4. Model Performanslarının Değerlendirilmesi

Son yıllarda sayısal modellemelerdeki gelişmeler, atmosfer fiziğinin ve iklim sisteminin fiziksel bileşenlerinin dinamiklerinin anlaşılmasını sağlamıştır. Tekil GCM'lerin ve Çoklu Model Grubu (MME) modellerinin uygulanmasıyla, küresel ölçekte ışınımsal zorlamaya (sera gazı ve aerosol yoğunlukları) dayalı yeniden yapılandırmalar ve iklim tahminleri giderek daha gerçekçi hale gelmektedir (Koutroulis vd., 2016; Torres ve Marengo, 2014). Bu gelişmelere rağmen benzeşimlerin bölgeselleştirme tekniği ve gelecekteki iklim etkilerinin tahminlerinin inandırıcılığı üzerinde doğrudan etkisi olabilecek belirsizlikler hala mevcuttur (Lutz vd., 2016). İklim modelleme çabalarındaki başarılara rağmen, dünyamızın iklim sistemindeki karmaşıklığı, mevcut iklim modelleri tarafından tamamen anlaşılabilir ve temsil edilebilir olma konusunda sınırlamalar getirmektedir (da Silva vd., 2022).

Bunlara ek olarak GCM'lerin kaba çözünürlüğü, orografik ve bitki örtüsü heterojenliğinin bölgesel ve yerel ölçekte iklim sistemleri üzerindeki etkisi gibi önemli iklim olaylarını belirleme kabiliyetlerini kısıtlamaktadır. Ayrıca, başlangıç sınır koşullarındaki ve uygulanan genel algoritmalardaki farklılıklar nedeniyle, farklı iklim modelleri farklı iklim projeksiyonları sağlamakta ve bu da iklim projeksiyonlarında (özellikle de yağış değerlerinde) önemli belirsizlik kaynakları olduğu ifade edilmektedir. Dolayısıyla, hiçbir küresel iklim modeli mükemmel değildir ve tüm iklim modelleri ve iklim projeksiyonları farklı seviyelerde belirsizlikler sergilemektedir (Yimer vd., 2022)

İklim modellerinin seçiminden kaynaklanan belirsizlikleri azaltmak için, araştırmacılar genellikle birden fazla iklim modelinden elde edilen projeksiyon sonuçlarının birleştirildiği topluluk yaklaşımını kullanmaktadır. Mevcut tüm iklim modellerinin (bireysel performanslarına bakılmaksızın) dikkate alındığı çoklu model topluluğu, yayınlanmış birçok araştırma çalışmasında yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır (Déqué vd., 2017; Nikulin vd., 2012). Bununla birlikte, son çalışmalar seçilen modellerle oluşturulan model toplulukların, mevcut tüm iklim modelleriyle birlikte oluşturulanlara kıyasla daha iyi bir performans becerisine sahip olduğunu göstermiştir (Almazroui vd., 2017; Aloysius vd., 2016). GCM-RCM çiftlerinin iklimsel olarak farklı bölgelerdeki farklı meteorolojik değişkenleri mümkün olan en uygun benzeştirme performansının değerlendirilmesi, göreceli yanlılıkları belirlemede ve modeller tarafından temsil edilen belirsizlik aralığının daraltılmasına yardımcı olabilmektedir (Ahmed vd., 2020; Sohom vd., 2019). Değerlendirme süreciyle iklimin ana bileşenlerini ve karakteristiklerini temsil etmede yetersiz olduğu düşünülen modellerin elenmesi sağlanabilir. Bu nedenle, topluluk oluşturmadan önce münferit iklim modellerinin performansını analiz etmek önemli bir unsurdur (Yimer vd., 2022).

Bu çalışmada münferit RCM'lerin performansını analiz etmek için Değiştirilmiş Uyumluluk İndeksi, Kling-Gupta Verimlilik Katsayı, Nash-Sutcliffe Verimlilik KAtsayısı ve Normalize Edilmiş Ortalama Hataların Karekökü olmak üzere 4 farklı performans metriği kullanılmıştır. Yöntemlerde "O" ERA5-Land yeniden analiz verilerini temsil ederken, "P" RCM model verilerini ifade etmektedir. Model performansları hesaplanırken her bir 0,1º x 0,1º çözünürlüklü sayısal ağ parçası kendi

arasında değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda en iyi performans gösteren RCM'ler seçilerek Çoklu Model Grubu Ortalaması (MMEA) uygulanmıştır. Yöntemlerin detayları alt başlıklarda verilmiştir.

3.4.1. Değiştirilmiş Uyumluluk İndeksi (Modified Index of Agreement)

Willmott (1981) ilk olarak korelasyona dayalı performans ölçümlerinin aşırı değerlere (aykırı değerler) aşırı duyarlılığının, gözlemlenen ve modelle benzeştirilmiş ortalamalar ve varyanslardaki farklılıklara karşı duyarsızlığını ortaya koyabilmek için uyumluluk indeksini (d) tanımlamıştır (Bağçacı, vd., 2021). Uyumluluk indeksi "d" Denklem 3.2'de verilmiştir.

$$d = 1{,}0 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(\left|P_i - \overline{O}\right| + \left|O_i - \overline{O}\right|\right)^2} = 1{,}0 - N\frac{MSE}{PE} \tag{3.2}$$

Burada "P" RCM tahminleri, "O" ölçüm değerlerini (bu çalışmada ERA5-Land kullanılmıştır.), "MSE" ortalama kareler hatasını ve "PE" Willmott (1984)'te ifade edilen potansiyel hatayı temsil etmektedir. Her ne kadar "d", R^2'ye göre belirgin şekilde iyileştirilmiş özelliklere sahip olsa da hala kare farkları nedeniyle uç değerlere duyarlıdır. Legates ve McCabe Jr. (1999) d'nin genelleşmiş şekli olan değiştirilmiş uyum indeksini tanıtmıştır. Değiştirilmiş uyum indeksinin (md) formülü Denklem 3.3'te verilmiştir.

$$md = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^{N}|O_i - P_i|}{\sum_{i=1}^{N}\left(\left|P_i - \overline{O}\right| + \left|O_i - \overline{O}\right|\right)} \tag{3.3}$$

"md", uyumluluk indeksi d'den farklı olarak hata ve fark değerlerine uygun ağırlığı vermektedir. Hata ve fark değerlerinin karelerini alıp büyütmemektedir. Md, "0" ile "1" arasında değerlendirilir. "0" değeri uyum olmadığını ifade ederken "1" değeri mükemmel uyumu ifade eder. Değiştirilmiş uyum indeksi hidrolojik ve hidroklimatolojik modellerin doğrulanması için önerilmektedir (Bağçacı vd., 2021; Legates ve McCabe Jr., 1999).

3.4.2. Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (NSE)

NSE değeri Nash ve Sutcliffe (1970) tarafından sunulmuştur. NSE verimlilik katsayısı tahmin edilen ve gözlemlenen değerler arasındaki mutlak karesel farkların toplamının, incelenen dönem boyunca gözlemlenen değerlerin varyansı ile normalize edilen değerin birden çıkarılması ile elde edilmektedir. NSE verimlilik katsayısı formülü Denklem 3.4'te verilmiştir (Krause vd., 2005).

$$NSE = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(O_i - \bar{O})^2} \tag{3.4}$$

NSE aralığı 1 (mükemmel uyum) ile -∞ arasında değerlenir. Gözlem serilerinin varyansının normalleştirilmesi, daya yüksek dinamiğe sahip havzalarda nispeten daha yüksek NSE değeriyle karşılaşırken daha düşük dinamiğe sahip havzalarda daha düşük NSE değeriyle karşılaşılabilir.

NSE'nin en büyük dezavantajı, gözlenen ve tahmin değerleri arasındaki farkların karesi kullanılarak hesaplanmasıdır. Bu durum bir zaman serisindeki daha büyük değerler güçlü bir şekilde tahmin edilirken daha düşük değerler ihmal edilir (Legates ve McCabe Jr., 1999).

3.4.3. Kling-Gupta Verimlilik Katsayısı (KGE)

Gupta vd. (2009) hidrolojik model kalibrasyonu ve değerlendirme süreci için NSE verimliğinin kolerasyon, değişkenlik hatası ve yanlılık hatası gibi temel bileşenlerine ayrıştırılmasına dayalı olarak geliştirdikleri Kling-Gupta Verimlilik Katsayısını (KGE) önermişlerdir. NSE metriğinden daha iyi sonuçlar elde etmek için değişkenliğin azaltılmasının vurgulayarak literatüre sundukları yöntemde üç bileşenin ideal noktadan Öklidyen uzaklığını hesaplayarak daha iyi performans gösterebileceğini iddia etmektedirler. KGE üç eşit ağırlıklı bileşenle sunulmaktadır (Koch vd., 2018) ve tarihsel gözlemlenen veriler ile GCM benzeştirilmiş veriler arasında mekânsal performans ölçütü

olarak kullanılır (Ahmed vd., 2020; Nashwan ve Shahid, 2020). Yöntemin formülleri şu şekildedir.

$$KGE = 1{,}0 - \sqrt{((\alpha_P - 1)^2 + (\beta_P - 1)^2 + (\gamma_{RP} - 1)^2)} \tag{3.5}$$

$$\beta_P = \frac{\mu_G}{\mu_O} \tag{3.6}$$

$$\gamma_{RP} = \frac{CV_G}{CV_O} = \frac{\frac{\sigma_G}{\mu_G}}{\frac{\sigma_O}{\mu_O}} \tag{3.7}$$

Burada α_P geçmişte gözlenen (ERA5 Land) ve RCM tarafından tahmin edilen veriler arasındaki Pearson kolerasyonu, β_P yanlılık oranını ve γ_{RP} değişkenlik oranını ifade eder. Denklem 3.6'da ifade edilmiş μ_G ve μ_O sırasıyla RCM tarafından tahmin edilen ve ERA5-Land verilerinin ortalamasını ifade eder. Denklem 3.7'de verilen CV_G ve CV_O sırasıyla RCM tarafından tahmin edilen ve ERA5-Land verilerinin değişim katsayısını temsil etmektedir. KGE değerleri 1 (mükemmel uyum) ile -∞ arasında değişmektedir.

3.4.4. Normalize Edilmiş Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (nRMSE)

Kapsamlı bir model performansı değerlendirmesini tamamlamak için en az bir "uyum sağlama yeterliliği" ölçütü (örn. md) ve en az bir mutlak hata ölçütü yardımıyla gözlemlenen ve model benzeşim verilerinin ortalama ve standart sapması arasında karşılaştırma gibi tamamlayıcı bilgiler uygulanmalıdır (Legates ve McCabe Jr., 1999). İstatistiksel çalışmalarda farklı ölçeklerdeki gözlem ve model benzeşim verileri arasında karşılaştırma yapılmasını sağlayan performans ölçütlerinin normalize edilmesi yaygın olarak kullanılmaktadır (Almeida vd., 2015). Normalize edilmiş hata kareler ortalamasının karekökü (nRMSE), değişkenler farklı birimde veya aynı birimde olmasına rağmen farklı büyüklüklerde olduğunda model performanslarının değerlendirmesinde RMSE'ye göre avantajlıdır (Ahmed vd., 2020). nRMSE yönteminin formülü Denklem 3.8'de verilmiştir.

$$nRMSE = \frac{\left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2\right]^{1/2}}{O_{mak} - O_{min}} \quad (3.8)$$

Burada P değeri RCM tahminlerini ifade ederken, O değeri ERA5-Land yeniden analiz verilerini ifade etmektedir. Daha düşük nRMSE değerleri daha düşük varyansa ve dolayısıyla modelin daha iyi performans gösterdiğine işaret eder.

3.4.5. Çoklu Model Grubu Ortalaması (MMEA)

Çoklu model topluluğu ortalaması (MMEA) yaklaşımı model parametrelerinde, varsayımlardan ve öngörülmeyen GCM'lerin yaklaşımlarından kaynaklanan belirsizlikleri azaltmak için iklim modelleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ahmed vd., 2020; Kim vd., 2016). MMEA için seçilen RCM'lerin sayısını belirlemekte kesin bir kural yoktur, ancak geçmiş çalışmalarda genellikle en yüksek uyum gösteren 3 ila 10 RCM seçilmektedir (Ahmed vd., 2020). Bunun yanında bazı çalışmalar sıralama yapmadan mevcut tüm GCM veya RCM'leri kullanmaktadır (Grose vd., 2020); ancak bu durumda, özellikle orografiyi veya sınır yapısını yeterince çözemeyen kötü performans gösteren GCM veya RCM'ler, MMEA'nın başarısını azaltmaktadır. Ayrıca, ölçek küçültme çalışmalarında çok sayıda GCM-RCM topluluğu üyesinin kullanılması da hesaplama açısından zahmetlidir. Bu nedenle MMEA'nın makul sayıda RCM ile belirlenmesi iklim modelleme çalışmalarında oldukça önemlidir (Bağçacı vd., 2021). Bu tez çalışması kapsamında geçmiş senaryo verileri için en iyi sonuç veren ilk 4 RCM'nin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait gelecek verileri kullanılarak MMEA elde edilmiştir. SPI kuraklık indeksinin hesaplanması için elde edilen MMEA değerleri kullanılacaktır.

3.5. Kuantil Delta Haritalama (QDM) Yanlılık Düzeltme Yöntemi

Yağış modellerinin performanslarının değerlendirmesi ve en iyi performans gösteren modellerin seçilmesi çalışmanın ilk adımıdır. Çalışmada 4 farklı performans metriği ile model performansları incelenmiş ve elde edilen bulgular Bölüm 4.1'de sunulmuştur.

GCM ve RCM yağış verilerindeki yanlılığa ilişkin kanıtlar, birçok araştırmacıyı hidrolojik iklim değişikliği etki analizi için iklim modeli yağış çıktılarının doğrudan kullanımından kaçınmaya sevk etmiştir. Yağışın mekansal-zamansal yapısının önemli olduğu analizlerde ya da bölgesel veya küresel çalışmalarda, iklim modeli çıktılarının kullanılması bu mekansal tutarlılığı sağlamakta ve yağışın zamansal yapısındaki değişiklikleri içermektedir. Bu nedenle, iklim modeli çıktılarındaki sapmaları düzeltmek için kullanılan teknikler, aynı dönemden alınan gözlemlenmiş verilerden (bu çalışmada ERA5-Land) elde edilen istatistiksel özelliklere dayalı olarak GCM/RCM yağış zaman serilerinin gerçekçiliğini artırmak için kullanılmaktadır (Lafon vd., 2013). Yanlılık düzeltme yöntemlerinin sistematik hataların azaltılmasında kullanışlı bir araç olması sebebiyle, tartışmalara açık olmakla beraber (Ehret vd., 2012; Maraun, 2013), iklim değişikliği etki çalışmalarının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Yanlılık düzeltme yöntemleri incelenen iklim parametresine ait verilerin çeşitli dağılım momentlerine uygulanarak ve parametrenin dağılım yapısı da esas alınarak yapılmaktadır (Leander ve Buishand, 2007; Lenderink vd., 2007; Leander vd., 2008). Bu konuda yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde dağılım tabanlı yanlılık düzeltme yöntemlerinin diğer yöntemlere kıyasla daha tutarlı sonuçlar ürettiği görülmektedir (Teutschbein ve Seibert, 2012; Cannon vd., 2015;). Bu çalışma kapsamında kuantil haritalama (QM) esasına dayalı kuantil delta haritalama (QDM) yanlılık düzeltme yöntemi uygulanmıştır. QM yanlılık düzeltme yöntemi RCM'lere ait dağılımların gözlenmiş verilere (ERA5-Land) ait dağılımların üzerine haritalanması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde, verilerin uyum gösterdiği teorik dağılımlar dikkate alınarak referans dönem (ERA5-Land geçmiş dönem) verilerine ait dağılımları altında, her aya ait geçmiş ve gelecek dönem kümülatif olasılık değerleri ve bu değerlere karşılık gelen kuantil değerleri gözlenmiş dağılımlar altında elde edilerek düzeltilmiş gelecek dönem verileri (RCM) elde edilir. QM ile düzeltilmiş değerlerin elde edilmesinde Denklem 3.9 kullanılmaktadır (Cannon vd., 2015)

$$y_{cor}(t) = F^{-1}(F(y_{mod}(t), \theta_{referans}), \theta_{obs}) \quad (3.9)$$

Burada, $ycor(t)$ t zamanındaki düzeltilmiş değerleri, $ymod(t)$ t anındaki iklim modelinden elde edilen referans dönem senaryosu veya gelecek dönem senaryolarına ait değerleri, $\theta referans$ ve θobs sırasıyla simüle edilmiş referans dönem senaryo verileri ve gözlenmiş verilerden elde edilmiş dağılım parametrelerini, F(.) ve F-1 (.) ise sırasıyla

referans dönem senaryo verilerinin dağılımına ait eklenik olasılık fonksiyonunu ve gözlenmiş verilere ait ters kümülatif olasılık fonksiyonunu temsil etmektedir.

3.6. Kuraklık İndeksleri

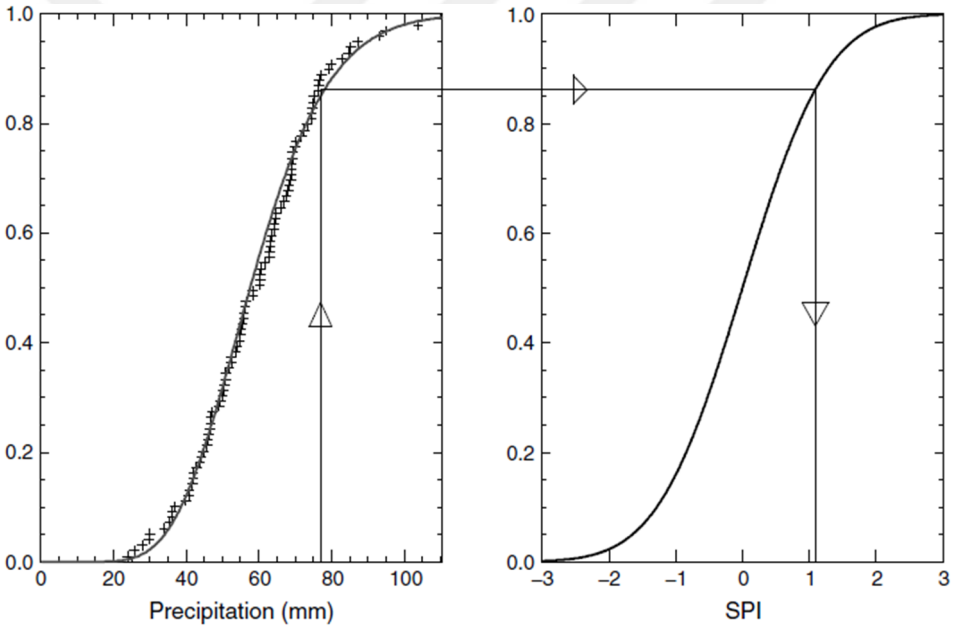
3.6.1. Standart Yağış İndeksi (SPI)

Standart Yağış İndeksi (SPI) McKee vd. (1993) tarafından kuraklık kavramını tanımlamak ve gözlemlemek üzere geliştirilmiştir. Yöntem yağış olasılıklarının normalleştirilmesine dayanır ve literatürde en yaygın kullanılan meteorolojik kuraklık indislerinden biridir. Yöntemin ihtiyaç duyduğu tek girdi değişkenini yağış verisidir. SPI uzun zaman aralığında kaydedilen yağış verilerindeki değişime bağlı olarak kurak ve sulak dönemleri karakterize edebilmesi açısından oldukça önemlidir (Gülmez, 2022). SPI hesaplanırken genelde aylık yağış verileri ile hesaplansa da günlük ve haftalık verilerle de hesaplanabilir. SPI hesaplamasında kullanılan zaman serisi belirli bir uzunlukta olmak zorunda değildir. Ancak örnekleme hatalarını azaltmak amacıyla yapılan uygulamalarda veri setinin en az 30 yılı kapsaması tercih edilmektedir. Veri setinin mümkün olduğunca eksiksiz olması arzu edilse de SPI değerini hesaplamak için yeterli veri yoksa, hesaplamalarda bu sorun bir "Non-Avaliable (NA)" değeri atayarak çözmektedir (Ersoy, 2022).

Uzun süreli yağış gözlemlerine dayanarak, SPI belirli bir bölge ve istenen zaman için çeşitli zaman ölçeklerinde (1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 ay) hesaplanabilir. Söz konusu bölge ve zaman için bu uzun vadeli gözlemlere uygun olasılık dağılımı bulunur ve SPI ortalaması "0" ve standart sapması "1" olan normal bir dağılıma dönüştürülür (McKee vd., 1993). SPI hesaplama adımları şu şekildedir:

- Yağış verilerinin olasılık dağılım fonksiyonları “Gamma” olasılık dağılım fonksiyonuna dönüştürülür.
- Gamma olasılık dağılımından elde edilen kümülatif yağış olasılıkları için ters standart normal dağılım fonksiyonu kullanılarak yağış değerleri normalize edilmiş olur. Normalize edilmiş yağış değerleri SPI değerlerine karşılık gelir (Şekil 3.6).

Bu süreç Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Şekil 3.6'nın solunda bulunan grafik aylık ortalama yağışları göstermektedir. Yağış değerlerinin üzerinde en uygun gamma dağılımının teorik kümülatif olasılık dağılımı gösterilmiştir. Şeklin sağında ise standart normal kümülatif olasılık dağılımı gösterilmiştir. Belirli bir yağış seviyesine (bu grafikte 77 mm) karşılık gelen SPI değerine dönüştürmek için önce sol şeklin x ekseninde istenen değer (77 mm) bulunur ve y ekseninde karşılık gelen değer okunur. Okunan bu değer daha sonra standart normal kümülatif olasılık dağılımında y ekseninde bulunur ve aynı grafiğin x ekseninde bu değere karşılık gelen değer okunur. Okunan değer SPI değerini ifade eder.



Şekil 3.6. Gamma olasılık dağılım fonksiyonun normal olasılık dağılımına dönüştürülmesi (Lloyd-Hughes ve Saunders, 2002)

Çizelge 3.3'te SPI'nın farklı değer aralıkları için literatürde yaygın kullanılan sınıflandırmaları verilmiştir. Pozitif SPI değerleri yağışların ortalamadan daha yüksek olduğunu yani nemli dönemi temsil ederken negatif SPI değerleri kuru dönemleri ifade etmektedir. SPI yaygın olarak kuraklığın uzunluğunu ve şiddetini analiz etmek için kullanılsa da yağışlı dönemleri ifade etmek içinde kullanılabilir.

Çizelge 3.3. Standart yağış indeksi sınıfları

SPI Değer Aralığı	Sınıf
(2,00) ve üzeri	Aşırı Derecede Nemli
(1,50) – (1,99)	Şiddetli Nemli
(1,00) – (1,49)	Orta Derece Nemli
(0,99) – (-0,99)	Normal
(-1,00) – (-1,49)	Orta Derece Kurak
(-1,50) – (-1,99)	Şiddetli Kurak
(-2,00) ve altı	Aşırı Derecede Kurak

3.7. Eğilim Analizleri

3.7.1. Modifiye Mann-Kendall (MMK) Yöntemi

Mann-Kendall testini uygulamadan önce, dikkate alınan veri serilerinin önemli bir otokorelasyona sahip olmadığından emin olunmalıdır. Ancak, hidroklimatolojik zaman serilerinin çoğu önemli bir otokorelasyona sahip olabilir. Zaman serilerinde önemli bir otokorelasyonun varlığı, önemli bir eğilimin tespit edilmesine ve aslında reddedilmemesi gereken sıfır hipotezinin (önemli eğilimlerin olmaması) reddedilmesine neden olur (Dinpashoh vd., 2014). Modifiye Mann-Kendall (MMK) testi Hamed ve Rao (1998) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde, Mann-Kendall testini uygulamadan önce, tüm önemli otokorelasyon katsayılarının etkisi zaman serisinden elimine edilir. MMK eğilim testi ile hesaplanan varyans değerine serisel korelasyonun etkisi de dahil edilmektedir. Bu çalışmada MMK eğilim testi kullanılmıştır. MMK testinde Mann-Kendall eğilim testinde kullanılan ve Denklem 3.20'de verilen S istatistik hesaplama eşitliği kullanılır.

Mann (1945) ve Kendall (1975) tarafından geliştirilen parametrik olmayan Mann-Kendall Yöntemi eğilim analizi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde bir zaman serisinde artan-azalan yönde eğilim olup olmadığına sıfır hipotezi; "H_0: eğilim yok" ile bakılmaktadır. Yöntemin kullanılmak istendiği zaman serisinde $(x_1, x_2, x_3, \dots \dots, x_n)$ x_i ve x_j veri çiftleri iki guruba ayrılır. Mann-Kendall test istatistiği S aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \mathrm{sgn}(x_j - x_i) \tag{3.20}$$

n veri uzunluğunu, $\boldsymbol{x_i}$ ve $\boldsymbol{x_j}$ ise sırasıyla *i* ve *j* zamanlarındaki veri değerlerini gösterir. MMK testinde, değiştirilmiş varyans Var (S) Denklem 3.21'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$\mathrm{Var}(S) = [\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}] \, n/n_s^* \tag{3.21}$$

n/n_s^* otokorelasyon düzeltme faktörünü belirtmektir ve Denklem 3.22'deki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\frac{n}{n_s^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)p(i) \tag{3.22}$$

Serinin standart sapması belirlendikten sonraki adımda Standart normal Z değeri şu şekilde bulunmaktadır:

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & , \quad S > 0 \; ise \\ 0 & , \quad 0 \quad ise \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & , \quad S < 0 \; ise \end{cases} \tag{3.23}$$

Yukarıda anlatıldığı şekilde bulunan Z'nin mutlak değeri, seçilen α anlamlılık düzeyine karşılık gelen normal dağılımın $Z_{\alpha/2}$ değerinden küçükse sıfır hipotezi kabul edilmektedir. Bu da zaman serisinde artan ya da azalan yönde bir değişim olmadığını ortaya koymaktadır. Z'nin mutlak değerinin $Z_{\alpha/2}$ değerinden büyük olması zaman serisinde bir artış ya da azalışın olduğunu göstermektedir. Ayrıca, S pozitif (negatif) ise artan (azalan) bir eğilim vardır. Bu tez kapsamında güven aralığı %95 olarak seçilmiştir.

3.7.2. Sen'in Eğim Yöntemi

Sen (1968), N çift veri örneğindeki eğilimin eğimini tahmin etmek için parametrik olmayan bir süreç geliştirmiştir. Sen'in eğim metodu uç değerlerden etkilenmeyen, Mann-Kendall eğilim testiyle paralel bir şekilde sıklıkla kullanılan bir istatistik yöntemidir. Mann-Kendall eğilim testiyle analizi yapılan iklim parametresinin veya kuraklık indeksinin eğilimi belirlenirken Sen'in eğim yöntemiyle de bu eğilimin büyüklüğü belirlenebilmektedir. WMO hidro-meteorolojik verilere dayalı eğilim analizi çalışmasının bir parçası olarak Sen'in eğim yönteminin kullanılmasını önermektedir.

Sen'in eğim yöntemi, doğrusal model kullanarak zaman serilerinde meydana gelen eğilimin büyüklüğü hakkında bilgi vermektedir (Sen, 1968; Keskiner ve Çetin, 2022). Yönteme ait denklemler aşağıda sıralanmıştır:

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \tag{3.24}$$

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{(j-k)}, j > k; i = 1,2,3,\ldots\ldots,N \tag{3.25}$$

$$Q_{medyan} = \begin{cases} Q_{\left[\frac{n+1}{2}\right]}, & N\ tek \\ Q_{[n/2]} + Q_{\left[\frac{n+2}{2}\right]}, & N\ çift \end{cases} \tag{3.26}$$

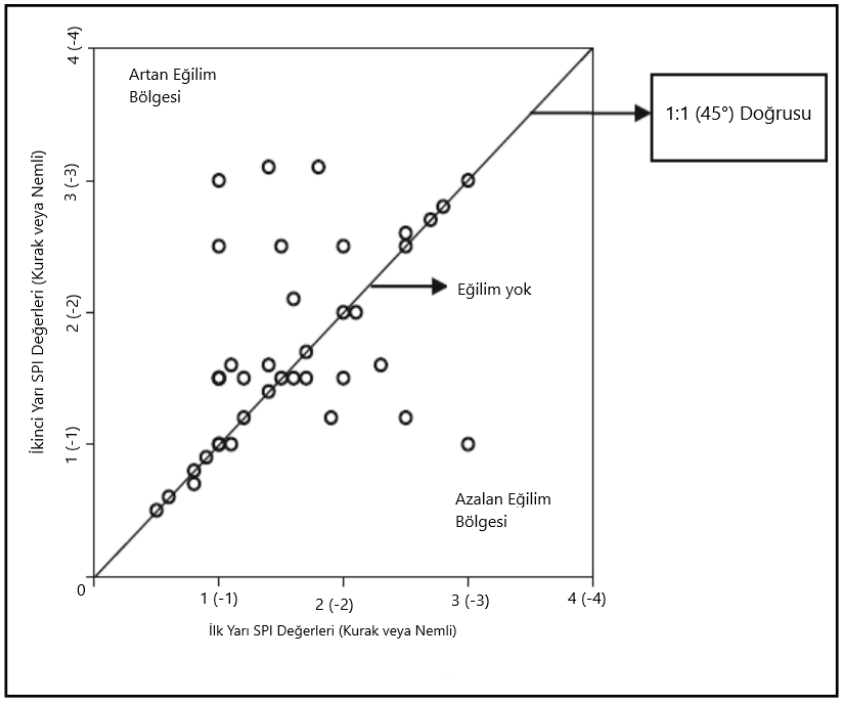
Denklem 3.24'te n veri sayısını, j ve k zamanlarında gözlemlenen verileri ve N ise zaman serisinde hesaplanması gereken eğim sayısını ifade eder. Denklem 3.25'e göre Q_i değerleri küçükten büyüğe sıralanır ve Denklem 3.26'da verilen medyan değeri hesaplanır. Q_{medyan} değeri, ilgili gözlemlerin birim zamandaki değişimini verir. Q_{medyan} değeri pozitif olduğunda artan yönde bir eğim, negatif olması durumunda ise azalan yönde bir eğim olduğuna karar verilir (Gocic ve Trajkovic, 2013). Bu tez çalışmasında hesaplamalar yapılırken %5 anlamlılık düzeyi kullanılmıştır.

3.7.3. Yenilikçi Eğilim Analizi (YEA)

Şen (2012) tarafından literatüre sunulan Yenilikçi Eğilim Analizi (YEA) yöntemi grafiksel bir yaklaşımdır. Bu yöntemin en önemli özelliği hiçbir varsayım içermemesidir.

Bu yöntemde verilerin normal dağılıma uymaması, veri uzunluğunun kısa olması ve verilerin içsel bağımlılığının bulunması önemli değildir (Akçay, 2018; Şen, 2012). Bu yaklaşımı Mann-Kendall gibi parametrik olmayan yöntemlere kıyasla öne çıkaran özelliği eğilimine bakılan zaman serisinin bağımlı veya bağımsız olması fark etmeksizin tüm zaman serilerine uygulanabilir olmasıdır. Yöntemin hesaplama adımları şu şekilde sıralanabilir.

- Veri seti başlangıç tarihinden itibaren 2 eşit parçaya ayrılır ve küçükten büyüğe sıralanır.
- İlk alt seri (1. yarıyıl) kartezyen koordinat sisteminde x eksenine, ikinci alt seri (2. yarıyıl) y ekseninde işaretlenir.
- Grafik üzerinde 45^0 (1:1) doğrusu çizilir (Şekil 3.7).
- Eğer veriler 1:1 doğrusu üzerine veya bu doğruya çok yakın düşerse incelemeye konu olan zaman serisinde eğilimin olmadığı anlaşılır. Eğer verileri 1:1 doğrusunun alt (üst) bölgesinde yer alırsa incelenen veri seti azalma (artma) eğilimindedir.



Şekil 3.7. YEA yöntemi şablonu

Şen (2012) tarafından önerilen bu yöntemin bir üstünlüğü de hidrometeorolojik verilerin uzman bakış açısı altında farklı sınıflara ayrılabilmesidir. Bu sayede verilerin kendi içerisinde kritik öneme sahip özellikle yüksek ve düşük değerlerin durumu ortaya konulabilir.

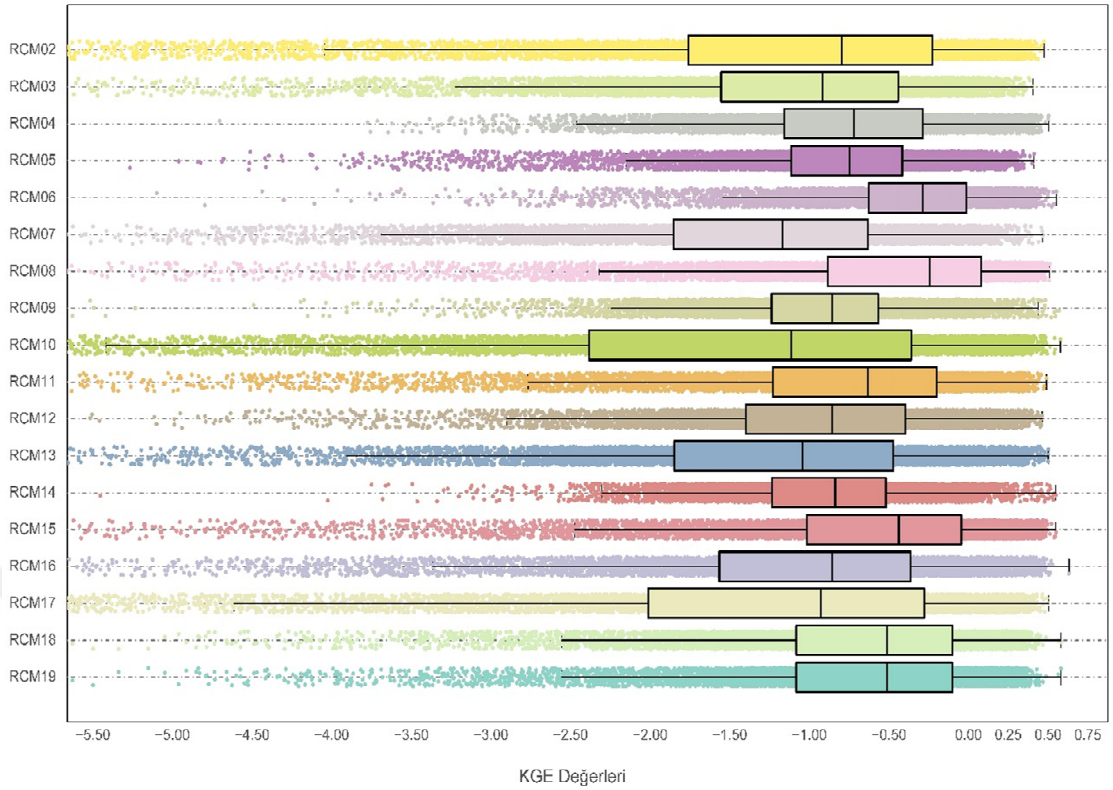
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Model Performanslarının Değerlendirmesi

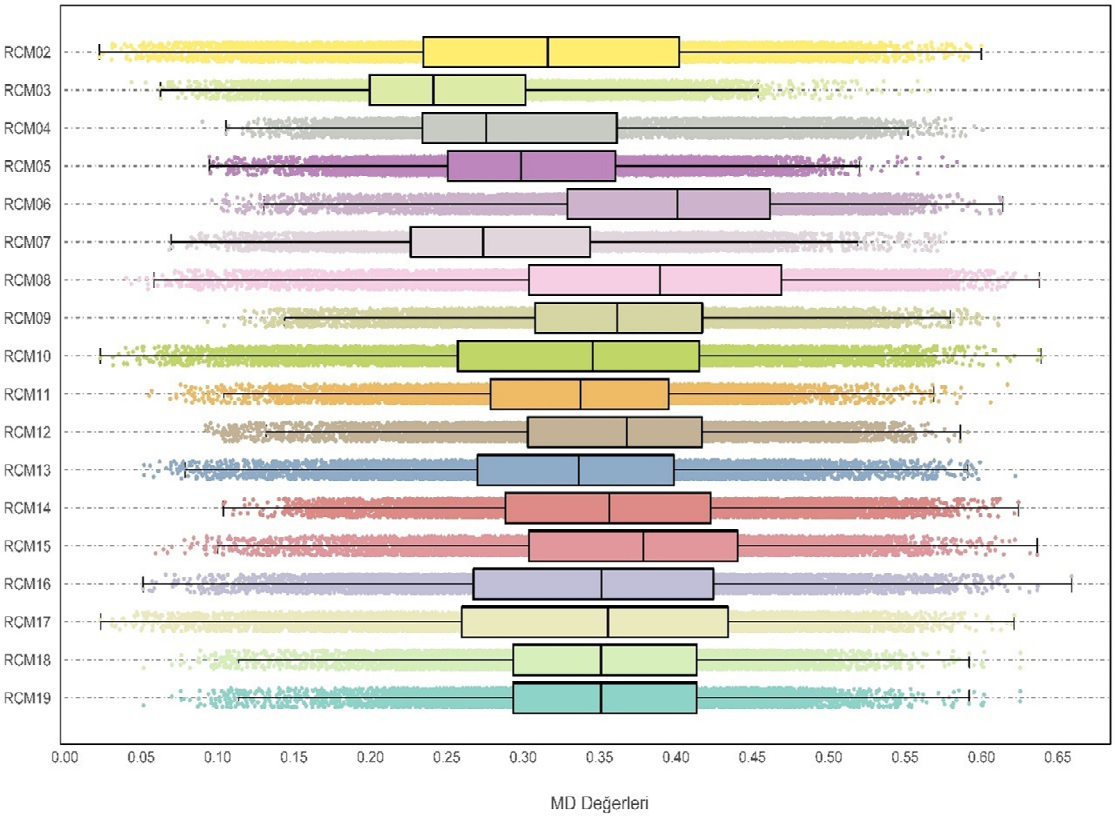
CORDEX RCM model performanslarının değerlendirmesi için KGE, NSE, md ve nRMSE hata hesaplama metrikleri kullanılmıştır. Elde edilen bulgular için oluşturulan kutu grafikleri KGE, NSE, md ve nRMSE için sırasıyla Şekil 4.1-4.4'te verilmiştir. Ayrıca modellerin ülke üzerinde dağılımını inceleyebilmek adına EK-1'de sunulan her bir metrik ve model için oluşturulmuş hata haritaları oluşturulmuştur. İlgili şekiller incelendiğinde RCM06, RCM08, RCM15, RCM18 ve RCM19 numaralı modellerin en iyi sonuçları verdiği görülmektedir. Bununla birlikte RCM18 ve RCM19 numaralı modeller aynı GCM'den elde edilmiş ve sonuçları birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda MMEA elde ederken kullanılacak modeller "RCM06, RCM08, RCM15 ve RCM18" olarak seçilmiştir. Ayrıca ilgili şekil ve eklerde yer almayan RCM01 numaralı model hata sonuçlarına bakılmaksızın MMEA'ya dahil edilmiştir. Bunun nedeni diğer tüm modellerde ülkenin doğu bölgesinde veri noksanlığı bulunurken RCM01 numaralı modelin ülke genelinde neredeyse eksiksiz veri sunmasıdır. Sonuç olarak MMEA'da oluşturmak için seçilen modellerin listesi Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. MMEA için seçilen RCM'ler

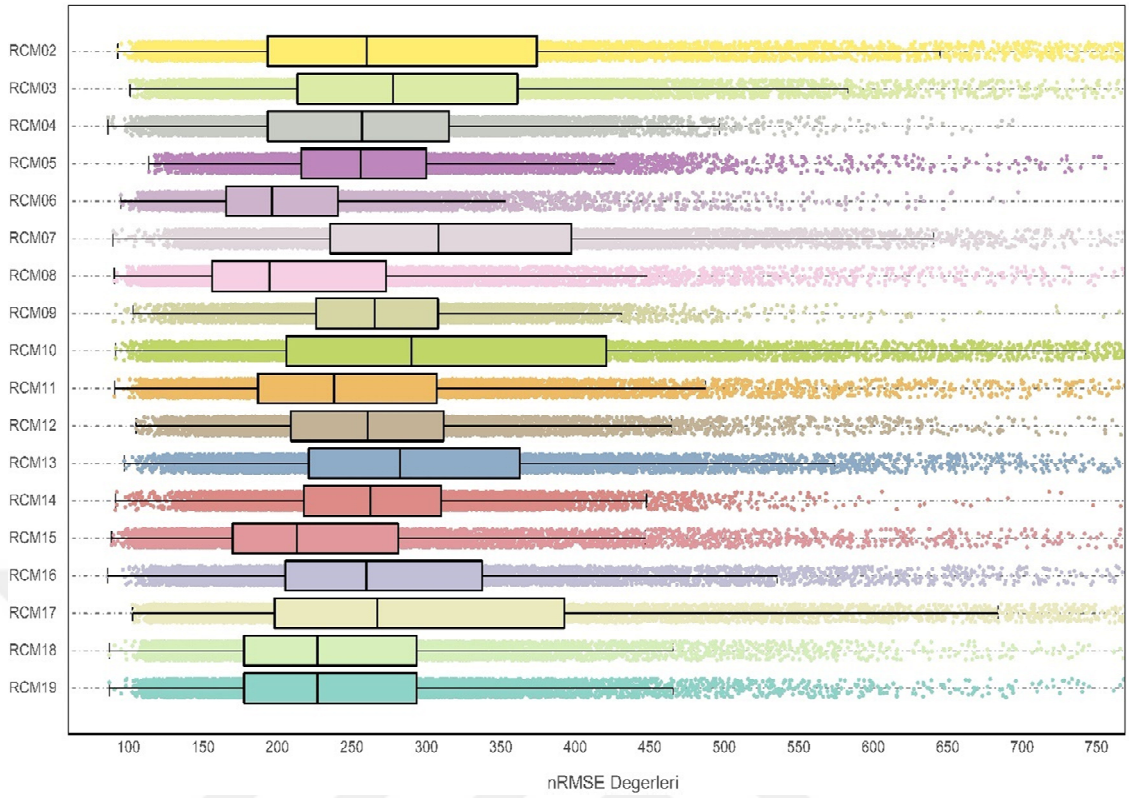
Numara	GCM	RCM
RCM01	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63
RCM06	ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E
RCM08	IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4
RCM15	MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009
RCM18	NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015



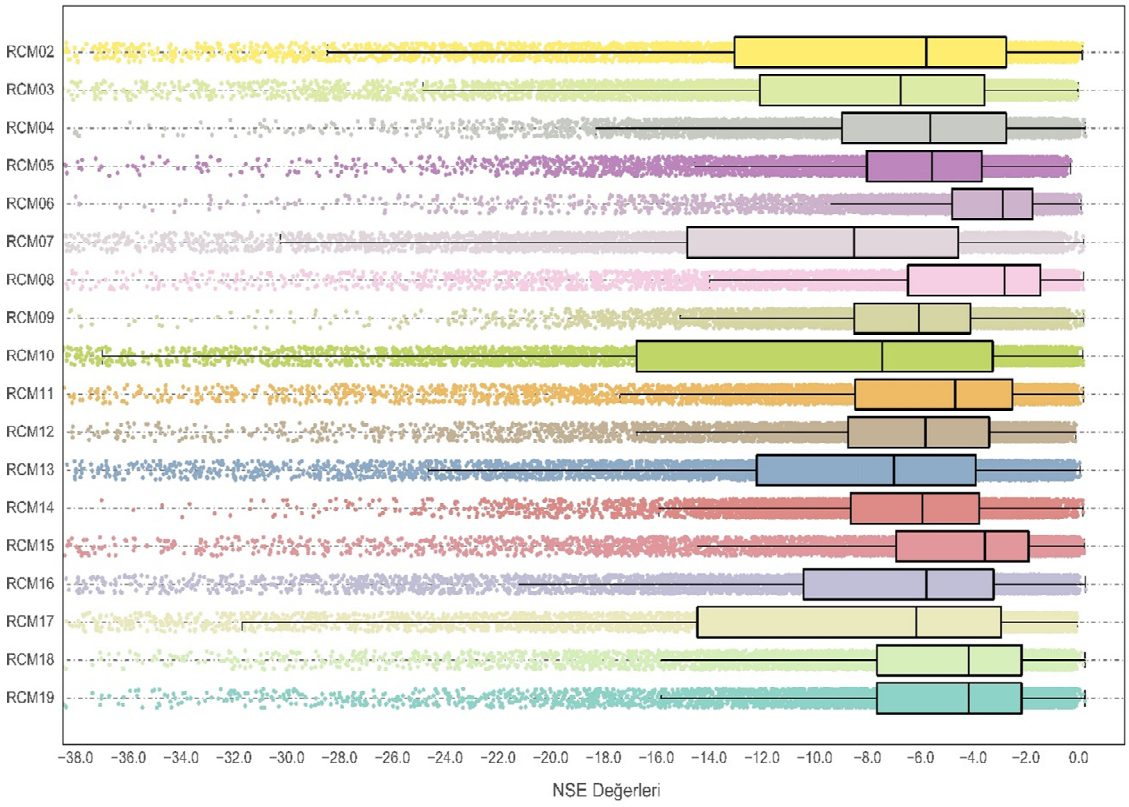
Şekil 4.1. KGE sonuçlarına ait kutu grafikleri



Şekil 4.2. "md" sonuçlarına ait kutu grafikleri



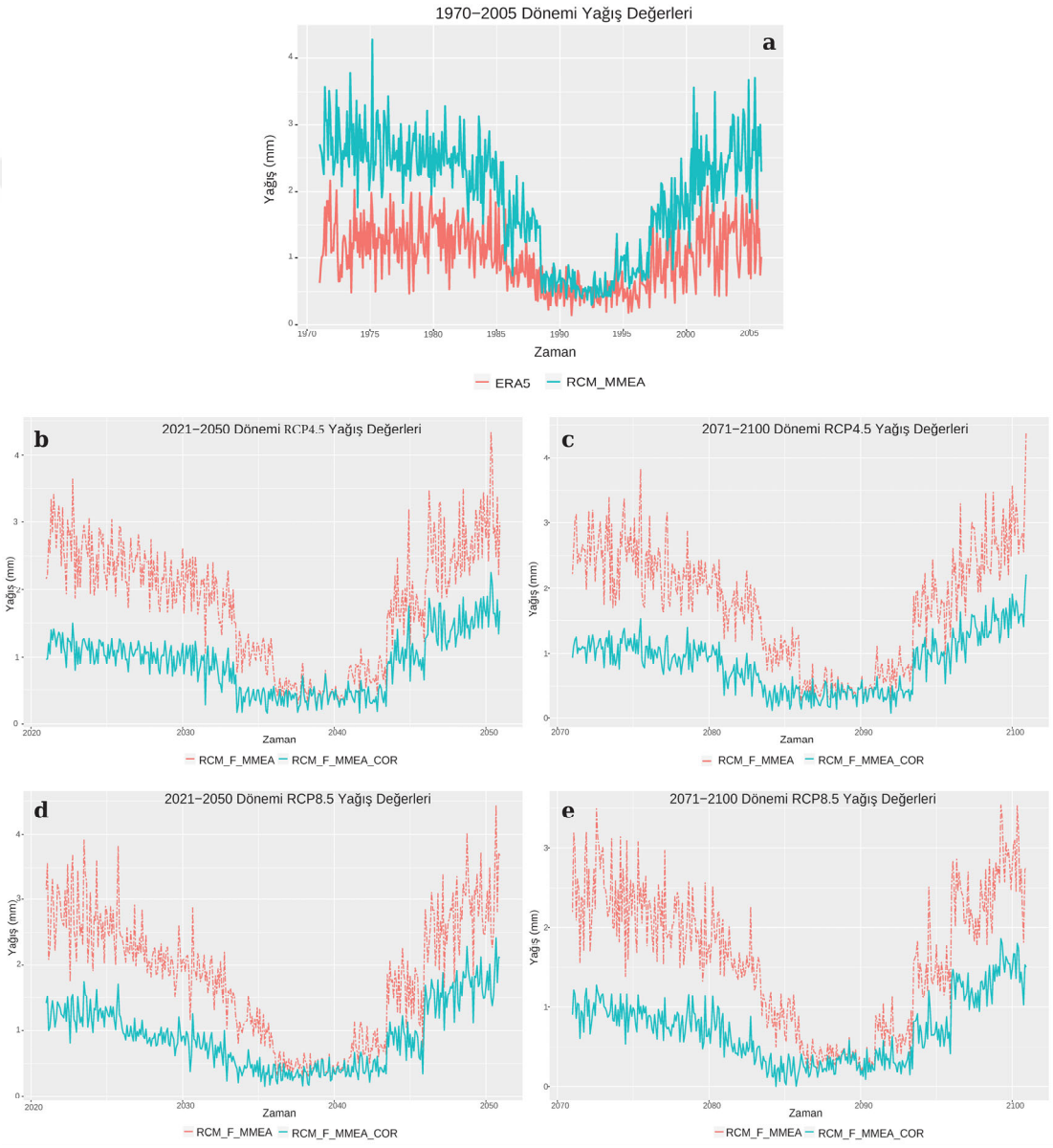
Şekil 4.3. nRMSE sonuçlarına ait kutu grafikleri



Şekil 4.4. NSE sonuçlarına ait kutu grafikleri

4.2. Yanlılık Düzeltmesi Bulguları

RCM'ler iklim parametrelerini daha ayrıntılı çözünürlüğe indirgerken gözlem sonuçlarına kıyasla önemli sapmalara uğrayabilmektedir. Bu nedenle, RCM'lerden elde edilen MMEA çıktılarını kullanmadan önce bu yanlılıkları ortadan kaldırmak gerekmektedir. Bunun için bu çalışmada QDM yöntemi kullanılmıştır. Her bir dönem ve senaryo için elde edilen yanlılık düzeltmesi sonuçları Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Yanlılık düzeltmesi sonuçları ("a":1991-2020 ERA5-Land ve RCM-MMEA; "b", "d":2021-2050 RCM-MMEA sırasıyla RCP4.5 ("b") ve RCP8.5 ("d"); "c", "e" 2071-2100 RCM-MMEA sırasıyla RCP4.5 ("c") ve RCP8.5 ("e") verileri düzetme öncesi ve sonrası)

Gözlem dönemi 1991-2020 seçilmiştir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının 2021-2050 ve 2071-2100 dönemleri için model sonuçlarının yanlılık düzeltmeleri her ay kendi içerisinde değerlendirilerek gerçekleştirilmiştir. Yanlılık düzeltme ile ERA5-Land verilerinin iklim modellerinin atmosferik verilerine yakınsaması hedeflenmiştir. Şekil 4.5(a)'da 1971-2005 dönemi ERA5-Land gözlem (kırmızı) ve RCM-MMEA model (mavi) yağış verileri verilmiştir. Grafikte yüksek değerlerde daha fazla sapma görülürken düşük değerlerdeki sapmalar daha azdır. Model değerlerinin ERA5-Land değerlerine göre daha yüksek yağış değerleri verdiği görülmektedir. Şekil 4.5'in "b", "c", "d" ve "e" grafiklerinde sırasıyla RCP4.5 senaryosu 2021-2050, RCP4.5 senaryosu 2071-2100, RCP8.5 senaryosu 2021-2050 ve RCP8.5 senaryosu 2071-2100 dönemi yanlılığı düzeltilmemiş (kırmızı) ve düzeltilmiş (mavi) yağış verileri sunulmuştur. Gelecek döneme ait analizlerde yanlılığı düzeltmiş yağış verileri kullanılmıştır.

4.3. Standart Yağış İndeksi (SPI) Bulguları

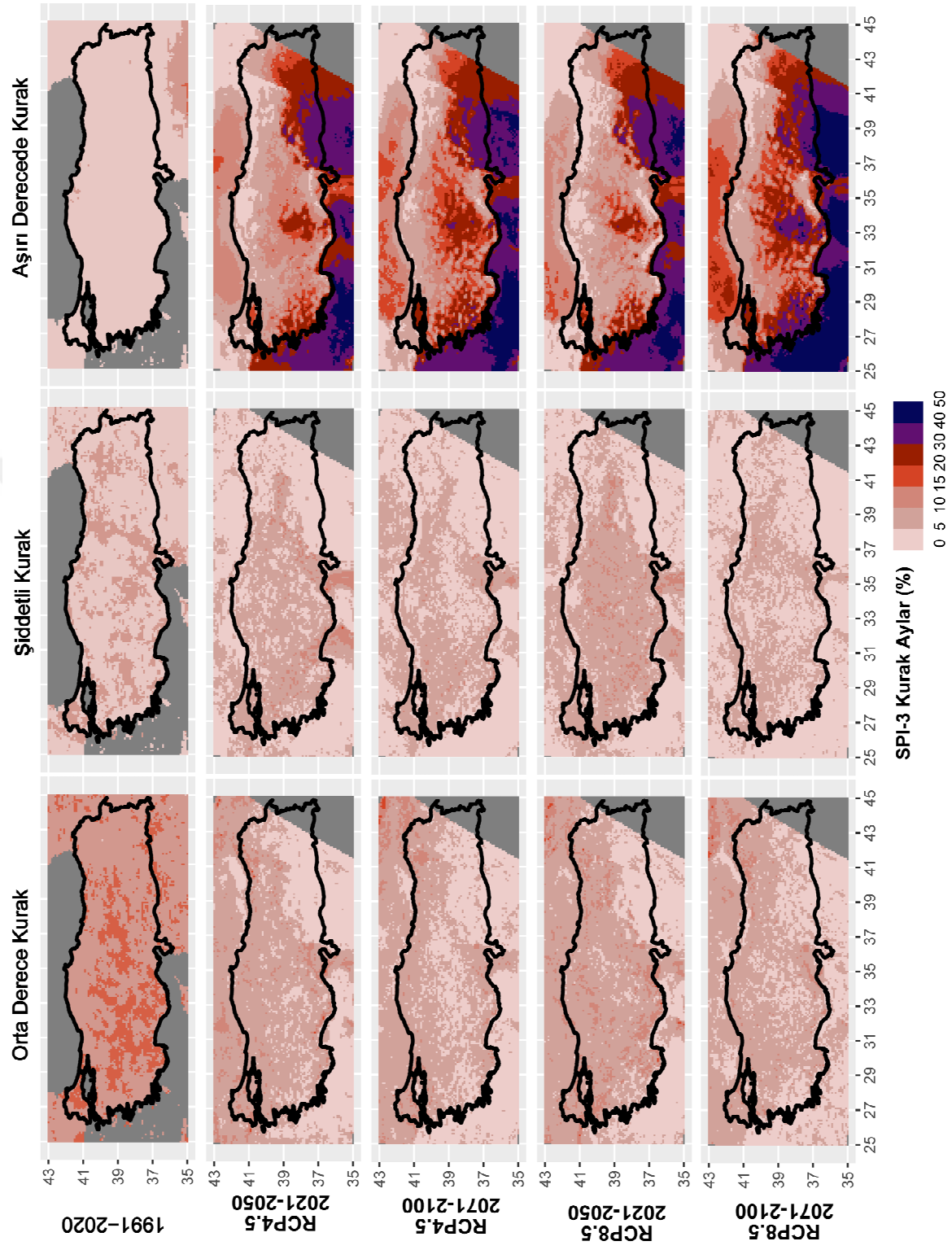
4.3.1. Farklı Kuraklık Sınıflarına Göre Kurak Ayların Gelecekteki Değişimi

ERA5-Land gözlem verileri ile iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) senaryolara ait meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkları temsil eden sırasıyla 3, 6, ve 12 aylık SPI değerleri hesaplanmıştır. Farklı kuraklık sınıflarındaki değişimleri gözlemlemek adına değerlendirmeler orta, şiddetli ve aşırı olarak üç farklı sınıf için yapılmıştır (Çizelge 3.3). Meteorolojik kuraklıkları temsil eden 3 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki kurak geçen ay yüzdeleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde gözlem dönemi olan 1991-2020 yılları arasında "orta derecede kurak" sınıfındaki kurak geçen ay yüzdesi genel olarak 10-20 arası iken Akdeniz Bölgesi ve Anadolu'nun orta kısımlarında çoğunlukla %15-20 arasındadır. Bu durum şiddetli kurak sınıfa doğru gidildikçe azalmakta ve bu sınıfta maksimum %5 değeri görülmektedir. Orta derece kurak aylar yüzdesi gelecek dönemler için tüm senaryolarda azalmakta ve %0-15 arasındaki değerlere düşmektedir. Bu düşüş en belirgin olarak Güneydoğu Bölgesi'nde görülmektedir. RCP8.5 senaryosunda 2071-2100 dönemi hariç şiddetli kurak geçmesi öngörülen ayların yüzdesi Anadolu'nun batı ve orta bölgelerinde artmaktadır. Aşırı derece kurak geçen ay yüzdesi gözlem döneminde %0-5 arasındadır. Ancak 2021-2050 döneminde her iki senaryoda Ege ve Anadolu'nun orta bölgelerinde bu değerin 20-40 arasında olduğu görülmektedir.

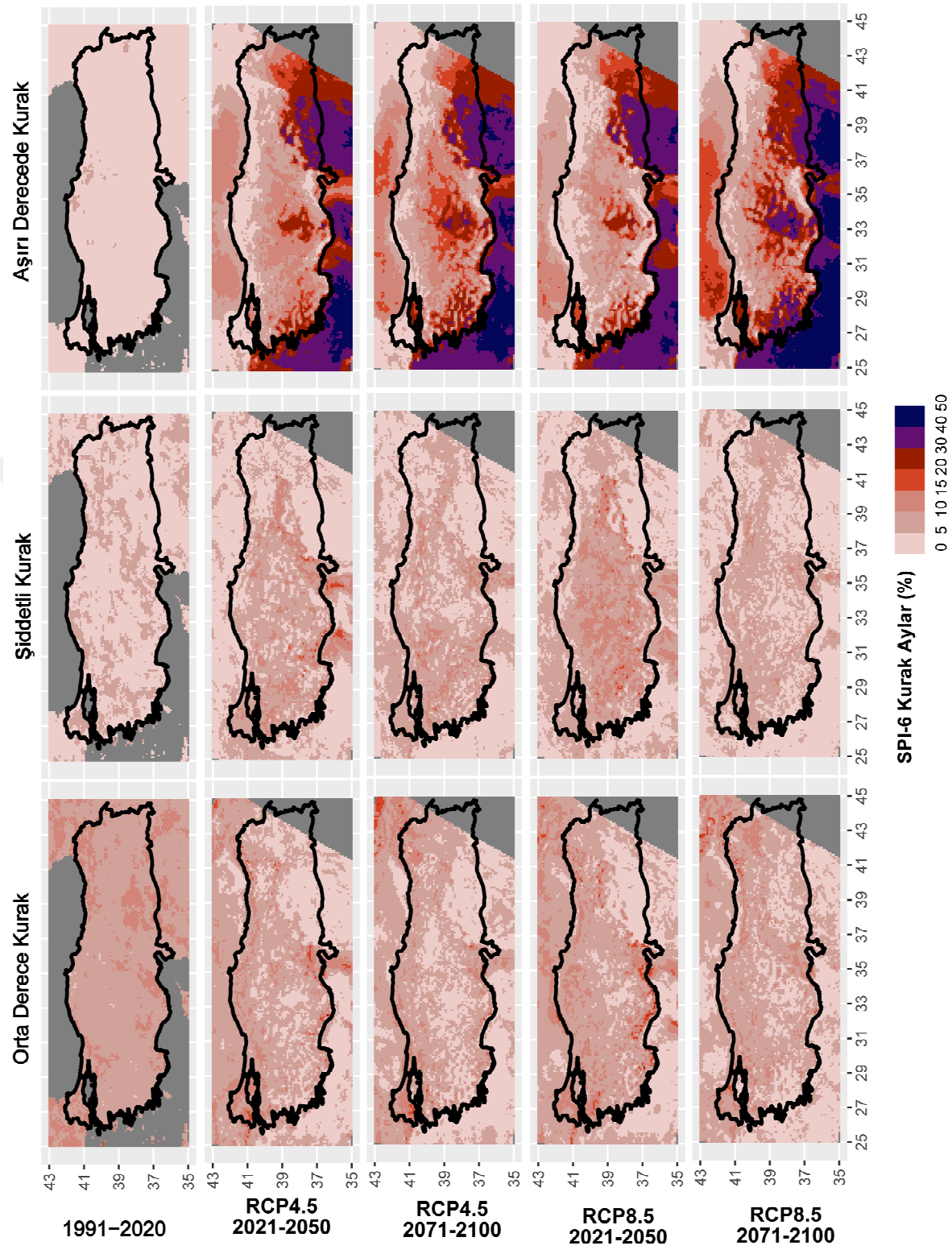
Güneydoğu Bölgesi'nin yarısında aşırı derecede kurak geçen ay yüzdesi 20-30 arasında diğer yarısında 30-40 değerlerine ulaşmaktadır. RCP4.5 senaryosuna göre 2071-2100 döneminde aşırı derecede kurak geçen ay yüzdesinin alanı 2021-2050 göre yaklaşık iki kat artmaktadır. RCP8.5 senaryosuna göre alan daha az artmakta ancak kurak geçen ay yüzdesi Ege Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi'nin orta kısmında ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 30-40'a yükseldiği görülmektedir.

Tarımsal kuraklığın bir göstergesi olan 6 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki kurak geçen ay yüzdeleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde gözlem dönemi olan 1991-2020 yılları arasında orta derecede kurak geçen ay yüzdesi 10-15 bandında iken aşırı derece kurak sınıfa doğru azalarak 0-5 bandına düşmektedir. Orta derecede kurak geçen ay yüzdesi gelecek dönemlerde genel olarak azalmakta ve çoğunlukla 0-10 bandına yer almaktadır. Ancak 2021-2050 dönemine ait RCP8.5 senaryosunda Akdeniz kıyılarında orta derecede kurak ay yüzdesi bazı bölgelerde 20-30 bandına kadar yükselmektedir. Gelecek dönem için şiddetli derecede kurak geçen ay yüzdesi tüm aralık ve senaryolarda Türkiye'nin doğusu hariç genel olarak 5-15 bandına çıkmaktadır. Gelecek dönemlerde aşırı derecede kurak geçen ay sayısı genel olarak artmakta iken 2021-2050 döneminde Karadeniz kıyılarında önemli bir değişim öngörülmemektedir. Her iki senaryoda 2021-2050 döneminde Ege Bölgesi ve Anadolu'nun orta kısımlarında aşırı derecede kurak geçen ay yüzdesi 20-30 arasında iken Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde %30-40 bandına yükselmektedir. 2071-2100 döneminde her iki senaryoda ise Ege, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde aşırı derecede kurak geçen ay yüzdesi artmakta ve 2021-2050 dönemine göre alan oldukça artmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde ise kurak geçen ay yüzdesi gözleme göre bir değişiklik göstermeyip 0-5 bandındadır.

Hidrolojik kuraklığın bir göstergesi olan 12 aylık SPI değerlerinin farklı kuraklık sınıflarındaki yüzdeleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Gözlem dönemi olan 1991-2020 yılları arasında orta derecede kurak geçen ay yüzdesi genel olarak 5-10 bandındadır. Ancak aşırı derece sınıfına doğru SPI-3 ve SPI-6'daki gibi kurak geçen ay yüzdesi giderek azalmaktadır.



Şekil 4.6. 3 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki kurak geçen ay yüzdeleri



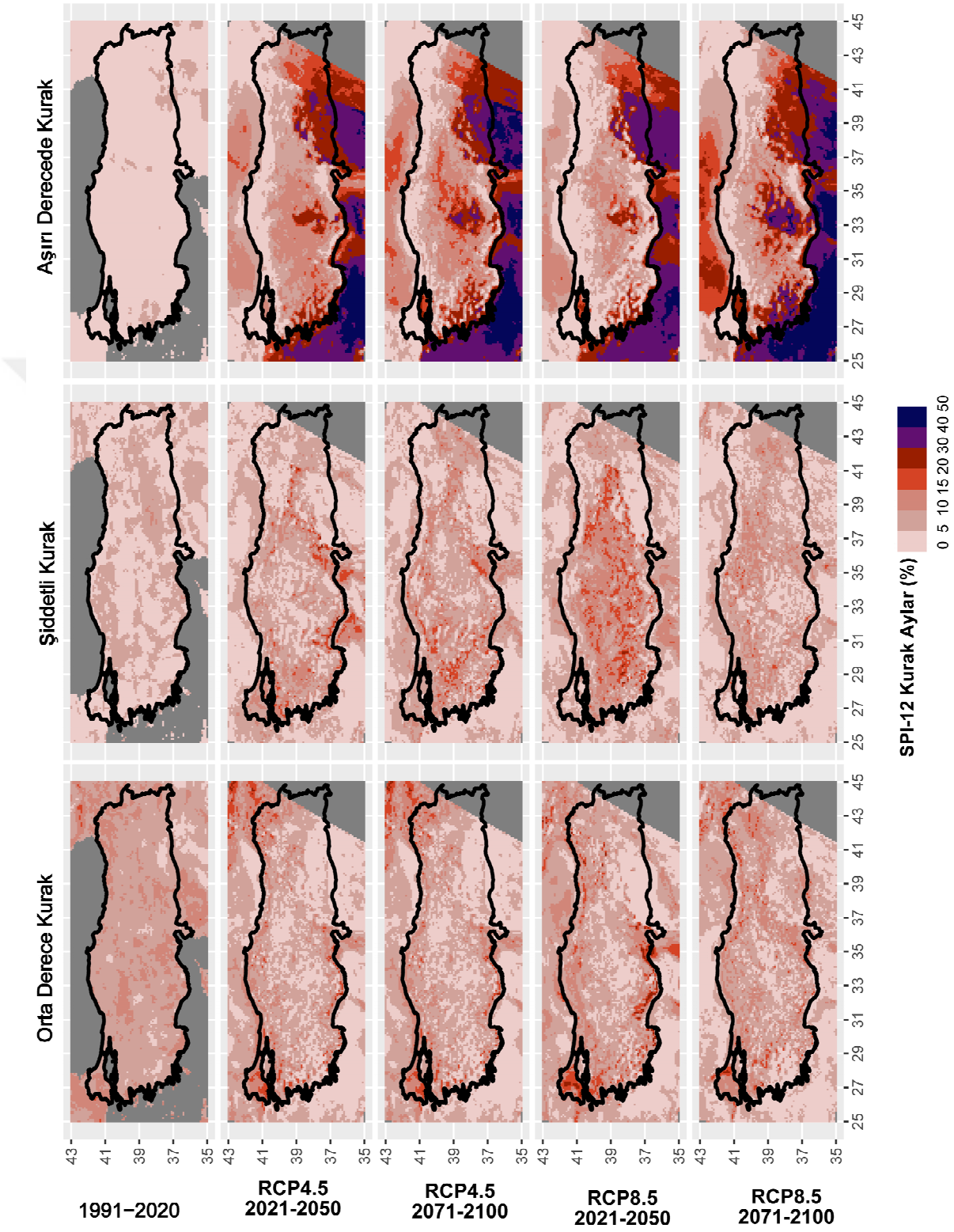
Şekil 4.7. 6 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki kurak geçen ay yüzdeleri

Orta derecede kurak geçen ay yüzdesi her iki senaryoda gelecek dönemde daha heterojen bir dağılım göstermiştir. Gözlem dönemine göre gelecekte bazı bölgelerde orta derede kurak ay sayısı artarken bazı bölgelerde azalmaktadır. Trakya-Marmara, Karadeniz hattında iç kesimler ve doğu Akdeniz kıyı kesimlerinde orta derecede kurak geçen ay yüzdesi artarak 15-20 bandına çıktığı görülmektedir. Şiddetli kurak geçen ay yüzdesinin gözlem dönemine göre bölgelerin çoğunda artış gösterdiği belirlenmiştir. En belirgin değişim RCP8.5 senaryosunda 2021-2050 döneminde İç Anadolu ve Ege bölgelerinde görülmektedir ve kurak geçen ay yüzdesi genel olarak 10-20 bandındadır. Gelecek dönemde aşırı derecede kurak geçen ay yüzdesi Karadeniz kıyısı boyunca önemli bir değişiklik göstermemektedir. Ancak diğer bölgelerde artmakta ve Ege, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde önemli artışla %20-30 bandına çıktığı görülmektedir. Ayrıca 2071- 2100 döneminde her iki senaryo içinde İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde aşırı derecede kurak geçen ay yüzdesinin 30-40 bandında olduğu alanlar gözlenmiştir.

Orta ve şiddeti derecede kurak geçen ayların yüzdesinde önemli bir artış görülmezken aşırı derecede kurak geçen aylarda Karadeniz Bölgesi hariç tüm senaryolar için önemli artışlar ortaya çıkmıştır. Aşırı derecede kurak geçen ay yüzdeleri özellikle Ege, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde diğer bölgelere göre daha fazla artmaktadır.

4.3.2. Farklı Nemlilik Sınıflarına Göre Nemli Ayların Gelecekteki Değişimi

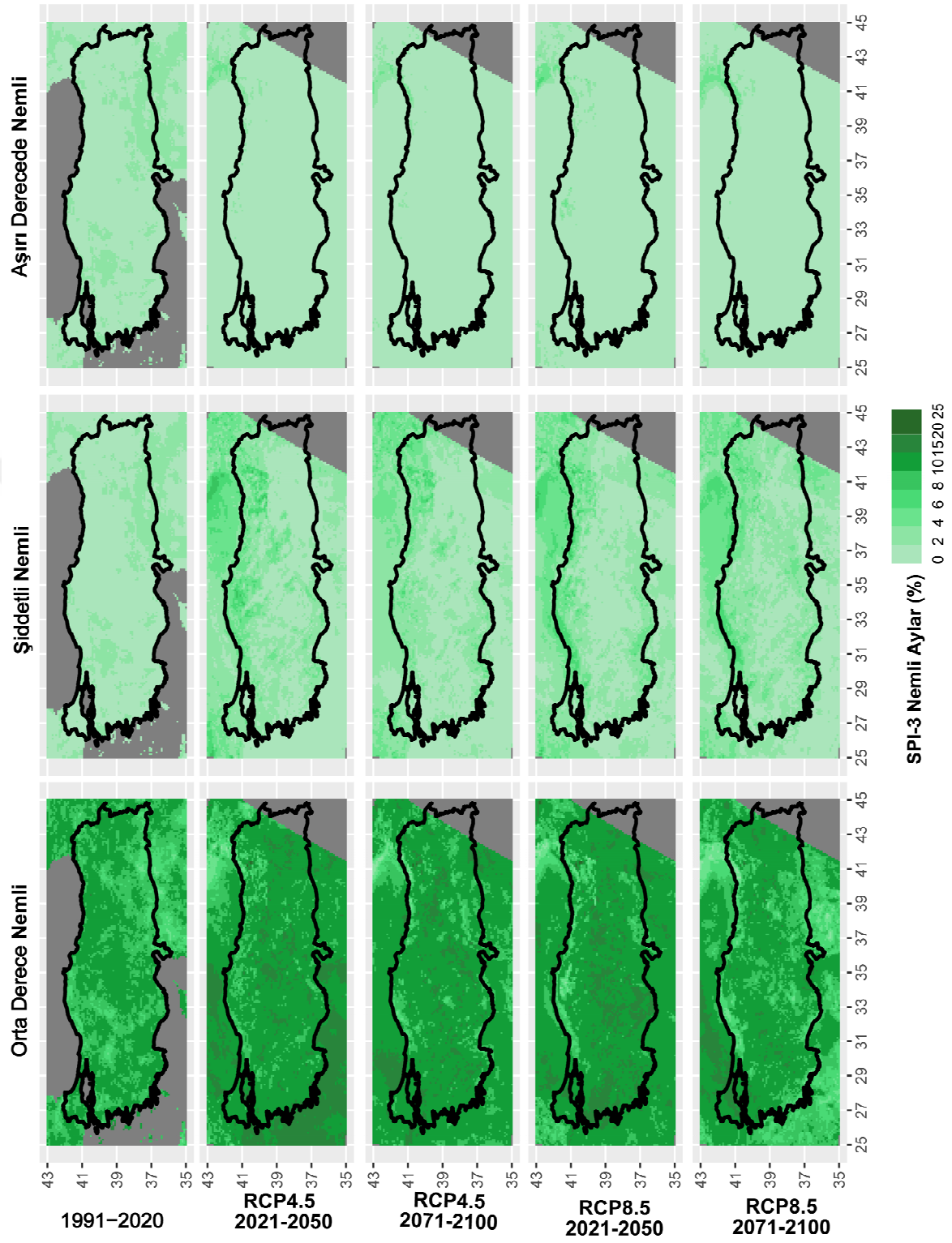
ERA5-Land gözlem verileri ile RCP4.5 iyimser ve RCP8.5 kötümser senaryolarına ait nemlilik durumlarının 3, 6, ve 12 aylık SPI değerleri için hesaplanmıştır. Nemlilik sınıflarındaki değişimleri gözlemlemek adına elde edilen nemlilik sonuçları orta derece, şiddetli ve aşırı derecede şiddetli olarak üç sınıfta ele alınmıştır. 3 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki nemli geçen ay yüzdeleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Gözlem dönemi olan 1991-2020 yılları arasında orta derecede nemli sınıfındaki nemli geçen ay yüzdesi genel olarak 10-20 arasında iken Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi'nin batısında çoğunlukla 8-15 arasındadır. Bu durum aşırı derecede nemli sınıfa doğru gidildikçe azalmakta ve en büyük %4 değeri karşımıza çıkmaktadır.



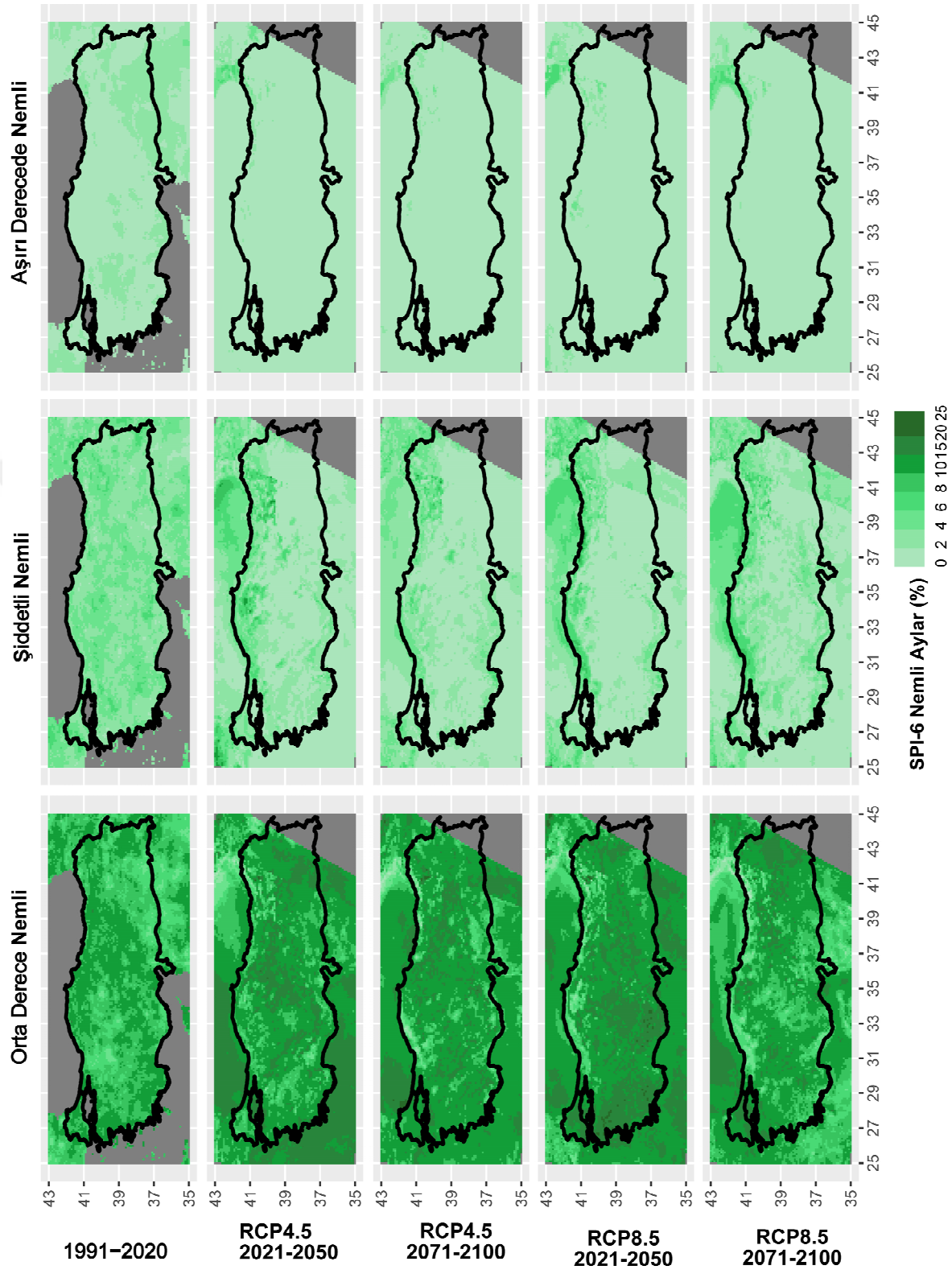
Şekil 4.8. 12 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki kurak geçen ay yüzdeleri

Orta derece nemli aylar yüzdesi gelecek dönemlerde ve senaryolarda Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimleri hariç olmak üzere artış göstermiştir. Artış değeri %15-25 arasında değişmektedir. Artışın en belirgin olduğu bölgeler Güneydoğu ve İç Anadolu'dur. RCP4.5 senaryosu RCP8.5 senaryosuna göre Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde bu sınıfa giren ay yüzdeleri daha düşükken, Ege ve Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinde yer yer daha fazla nemlilik oluşumu saptanmıştır. Şiddetli nemli sınıf değerlerine bakıldığında 1991-2020 dönemine kıyasla her iki senaryo ve dönem için özellikle Karadeniz Bölgesi'ndeki şiddetli nemli sınıfa giren ayların yüzdelerinde artış meydana gelmiştir. En belirgin artış RCP4.5 senaryosunun 2021-2050 döneminde görülmüştür. Aşırı şiddetli nemlilikler incelendiğinde, İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatı kesimleri ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yüzdelerde azalma yaşanırken bu bölgeler dışında kalan alanlarda önemli değişim gözlenmemiştir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları her iki dönem için aşırı şiddetli nemli sınıf için karşılaştırıldığında benzer davranışlar gösterdiği görülmektedir.

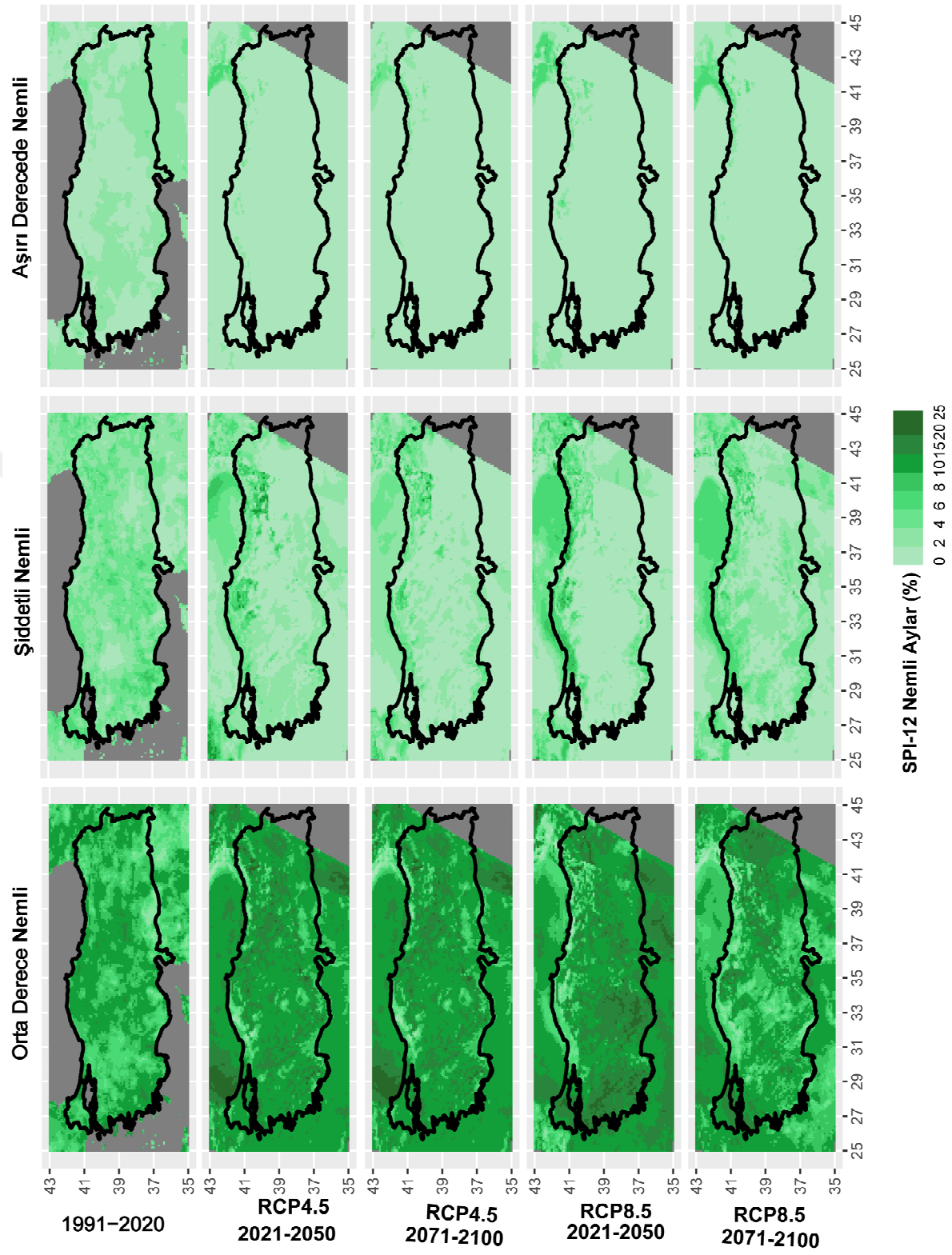
6 ve 12 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki nemli geçen ay yüzdeleri sırasıyla Şekil 4.10'da ve Şekil 4.11'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde 6 ve 12 aylık farklı sınıflardaki nemlilik değerlerinin neredeyse benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Her iki şekil değerlendirildiğinde gözlem dönemi olan 1991-2020 yılları arasında orta derecede nemli geçen ay yüzdesi 10-15, şiddetli nemli sınıfta 4-10 ve aşırı derece nemli sınıfa doğru azalarak 0-4 bandına düşmektedir. Orta derecede nemli geçen ay yüzdesinde geçmiş döneme kıyasla gelecek dönemlerde Karadeniz Bölgesi kıyı kesimleri hariç diğer alanlarda %0-5 arasında artış görülmektedir. Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimlerinde ve özellikle Karadeniz'in batı bölgesinde ise orta dereceli nemli aylar %2-8 aralığına düşmüştür. Bu düşüş RCP8.5 senaryosunun 2071-2100 döneminde daha da belirgindir. Şiddetli nemli geçen ay yüzdesi Karadeniz Bölgesi hariç ülke genelinde azalarak 4-10 bandından 0-8 bandına düşmektedir. En belirgin azalma RCP4.5 senaryosu 2071-2100 döneminde gerçekleşmiştir. Karadeniz Bölgesi'nin özellikle orta ve doğu kesimlerinde belirgin artışlar görülmektedir. Bu artışlar 12 aylık SPI sonuçlarında daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır. Aşırı derecede nemli geçen ay yüzdesi genel olarak azalmakta iken doğu Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimlerinde büyük bir değişiklik yaşanmamıştır.



Şekil 4.9. 3 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki nemli geçen ay yüzdeleri



Şekil 4.10. 6 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki nemli geçen ay yüzdeleri



Şekil 4.11. 12 aylık SPI değerlerinin farklı sınıflardaki nemli geçen ay yüzdeleri

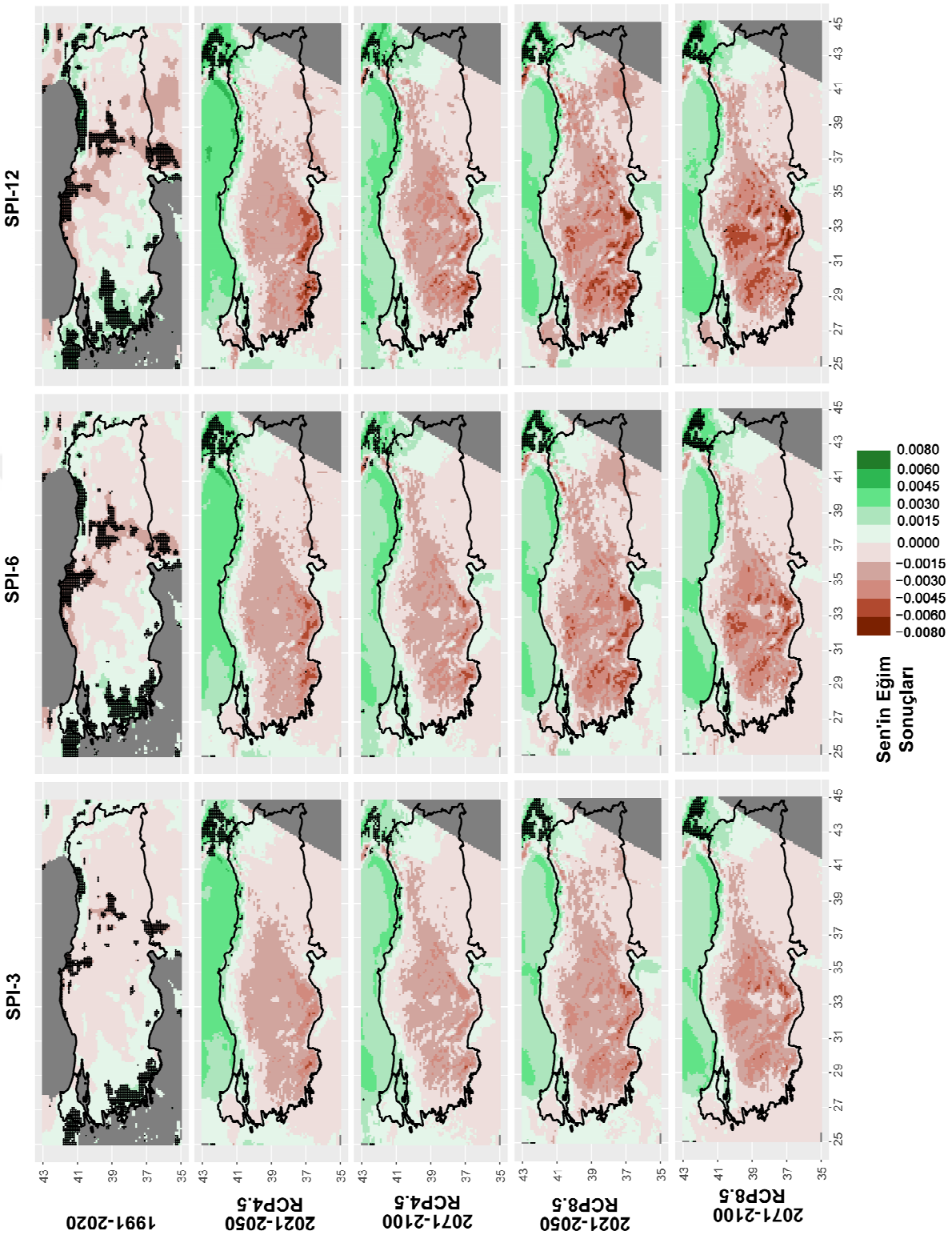
4.4. Eğilim Analizi Bulguları

4.4.1. Modifiye Mann-Kendall (MMK) Yöntemi Bulguları

Farklı zaman ölçeklerindeki (3, 6 ve 12 ay) SPI sonuçları kullanılarak her dönemin kendi içerisindeki eğilimini tespit etmek için MMK yöntemi %5 anlamlılık düzeyi için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarda istatistiksel olarak anlamlı eğilim tespit edilen bölgeler Şekil 4.12'de verilen harita üzerinde siyah nokta ile işaretlemiştir. Eğilimlerin yönü lejantta verilen kırmızı (azalan) ve yeşil (artan) renkler ile belirtilmiştir. MMK'ya göre 1991-2020 döneminde tüm zaman ölçekleri için batı Ege ve Doğu Karadeniz bölgelerinde anlamlı artan eğilim saptanmıştır. Bu durum bu bölgelerde kuraklık değerlerinde azalma nemlilik değerlerinde artma olduğunu göstermektedir. Orta Karadeniz, orta Anadolu'nun bazı kesimleri ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin güney kesimlerinde azalan eğilim tespit edilmiştir. Bu bölgelerde kuraklığın artış nemliliğin ise azalış eğilimde olduğu ortaya çıkmıştır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının yakın ve uzak gelecek dönem sonuçlarında MMK yöntemine göre anlamlı eğilim neredeyse hiçbir bölgede tespit edilmemiştir. Sadece Doğu Karadeniz Bölgesi'nin bazı bölgelerinde anlamlı artan eğilim tespit edilmiştir.

4.4.2. Sen'in Eğim Yöntemi Bulguları

Sen'in Eğim Yöntemi SPI değerlerindeki eğilimlerin eğimini yani büyüklüğünü tespit etmek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların alansal dağılımı Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekilde lejantta kırmızı renk tonları SPI değerlerindeki azalan eğilimi yeşil renk tonları ise SPI değerlerindeki artış eğilimi temsil etmektedir. Şekilde renklerin tonları ise eğilimin büyüklüğünü ifade etmektedir. SPI değerlerindeki azalma eğilimi kuraklığın artışını nemliliğin azalışını temsil ederken değerlerdeki artış eğilimi kuraklığın azaldığını nemliliğin arttığını göstermektedir.



Şekil 4.12. Sen'in eğim yöntemi eğilim sonuçları (Siyah nokta ile işaretli bölgeler MMK'ya göre anlamlı eğilim varlığını temsil eder.)

Şekil 4.12 incelendiğinde 1991-2020 dönemi tüm zaman ölçekleri için İç Anadolu, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu bölgeleri ile doğu Marmara ve orta-batı Karadeniz bölgelerinde SPI değerlerinde azalma eğilimi tespit edilmiştir. Bu bölgelerde kuraklık koşullarında artan, nemlilik koşullarında azalan eğilim olduğu görülmektedir. Bu eğilimlerin 6 ve 12 aylık ölçeklerde Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Karadeniz bölgelerinin orta kesimlerinde daha şiddetli olduğu ortaya çıkmıştır. SPI değerlerinde artış eğilimi ise Ege ve Doğu Karadeniz bölgelerinde saptanmıştır. Bu bölgelerde diğer bölgelerin aksine kuraklıklarda azalma nemlilik durumlarında ise artma görülmektedir. Eğilimler 6 ve 12 ay zaman ölçeklerinde 3 aylık zaman ölçeğine göre daha şiddetlidir.

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının 2021-2050 ve 2071-2100 dönemlerinde 3, 6 ve 12 ay zaman ölçeğinde hesaplanan eğilimler aynı bölgelerde benzer davranışlar göstermiştir. Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimleri, Marmara Bölgesi'nin doğu kısımları ile Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğusunda SPI değerlerinde artış eğilimi tespit edilmiştir. Diğer tüm bölgelerde ise azalma eğilimi olduğu görülmüştür. Artış eğilimlerinin Doğu Karadeniz Bölgesi'nde diğer bölgelere oranla daha şiddetli olarak meydana geleceği öngörülmektedir. Azalma eğilimi gösteren bölgeler için en şiddetli eğilim 12 aylık zaman ölçeği ve RCP8.5 senaryosunun 2071-2100 döneminde İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinin orta kesimleri ile Ege Bölgesi'nin doğu kesimlerinde görüleceği öngörülmüştür.

3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinin tümünde RCP8.5 senaryosu eğilimlerinin RCP4.5 senaryosu eğilimlerine göre daha şiddetli olduğu ve daha geniş bölgelere yayıldığı görülmüştür.

4.4.3. Yenilikçi Eğilim Analizi Bulguları

SPI sonuçları her dönemin kendi içerisindeki kuraklık ve nemlilik durumlarının eğilimleri YEA yöntemi temel alınarak tespit edilmiştir. YEA yönteminde veriler düşük ve yüksek kategoride değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada yüksek ve düşük değerlerin ayırımı için değişim noktası "SPI=0" değeri seçilmiştir. Bu şekilde kuraklık ve nemlilik durumlarına ait eğilimler ayrı ayrı değerlendirilmiş olacaktır. Elde edilen bulguların alansal dağılımları kuraklık ile nemlilik değerleri için sırasıyla Şekil 4.13 ve 4.14'te

sunulmuştur. Şekil 4.13'te kırmızı ton kuraklık durumlarındaki artışı yeşil tonlar ise azalışı ifade etmektedir. Şekil 4.14'te ise kırmızı tonlar nemlilik durumlarında azalma yeşil tonlar ise artmayı temsil eder.

Kuraklık durumlarının değişimi (Şekil 4.13) incelendiğinde 1991-2020 döneminde ilk yarıya (1991-2005) göre ikinci yarıda (2006-2020) batı Marmara, Doğu Karadeniz ve Ege bölgelerinde SPI değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Buda bu bölgelerde kuraklık şiddetinin azaldığını göstermektedir. Bu azalma 3 ay ölçeğinde 0-0,5 ve genelde 0-0,25 aralığında gerçekleşmiştir. 6 ay ölçeğinde de benzer şekilde gerçekleşmiştir ancak 0,25-0,5 bandında olan bölge 3 ay ölçeğine göre daha büyüktür. SPI değerindeki azalmalar 12 ay ölçeğinde 0-1 aralığında değişmektedir. Doğu Karadeniz ve Ege'nin batı bölgelerinde bu değerlerin 0,5-1 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgelerde tüm zaman ölçeklerinde kuraklığın azaldığını tespit edilmiştir. Diğer bölgelerde kuraklıklar artış eğilimindedir ve bu artış genel olarak 0 ila 0,5 aralığındadır. 12 aylık zaman ölçeğinde Güneydoğu Anadolu ve orta Karadeniz bölgelerinde artış değeri 0,5-1 aralığındadır.

2021-2050 döneminde SPI'nın tüm zaman ölçeklerinde benzer eğilimler tespit edilmiştir. Karadeniz Bölge'sinin kıyı ve doğu kesimleri ile orta Akdeniz'in kıyı kesimleri hariç kuraklıklarda artış tespit edilmiştir. Bu artış 0,25 ila 2 aralığında değişmektedir. En yüksek kuraklık artışlarının İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde olması öngörülmüştür. Ege Bölgesi'nde diğer bölgelere kıyasla artışlar daha küçük kalmıştır (0-1,5). Zaman ölçeği büyüdükçe artış miktarlarının ve etki alanlarının azaldığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca RCP4.5 senaryosundaki değişimlerin RCP8.5 senaryosuna göre tüm zaman ölçeklerinde daha düşük olduğu belirlenmiştir. 2071-2100 sonuçları 2021-2050 dönemi sonuçlarına benzer şekilde çıkmıştır.

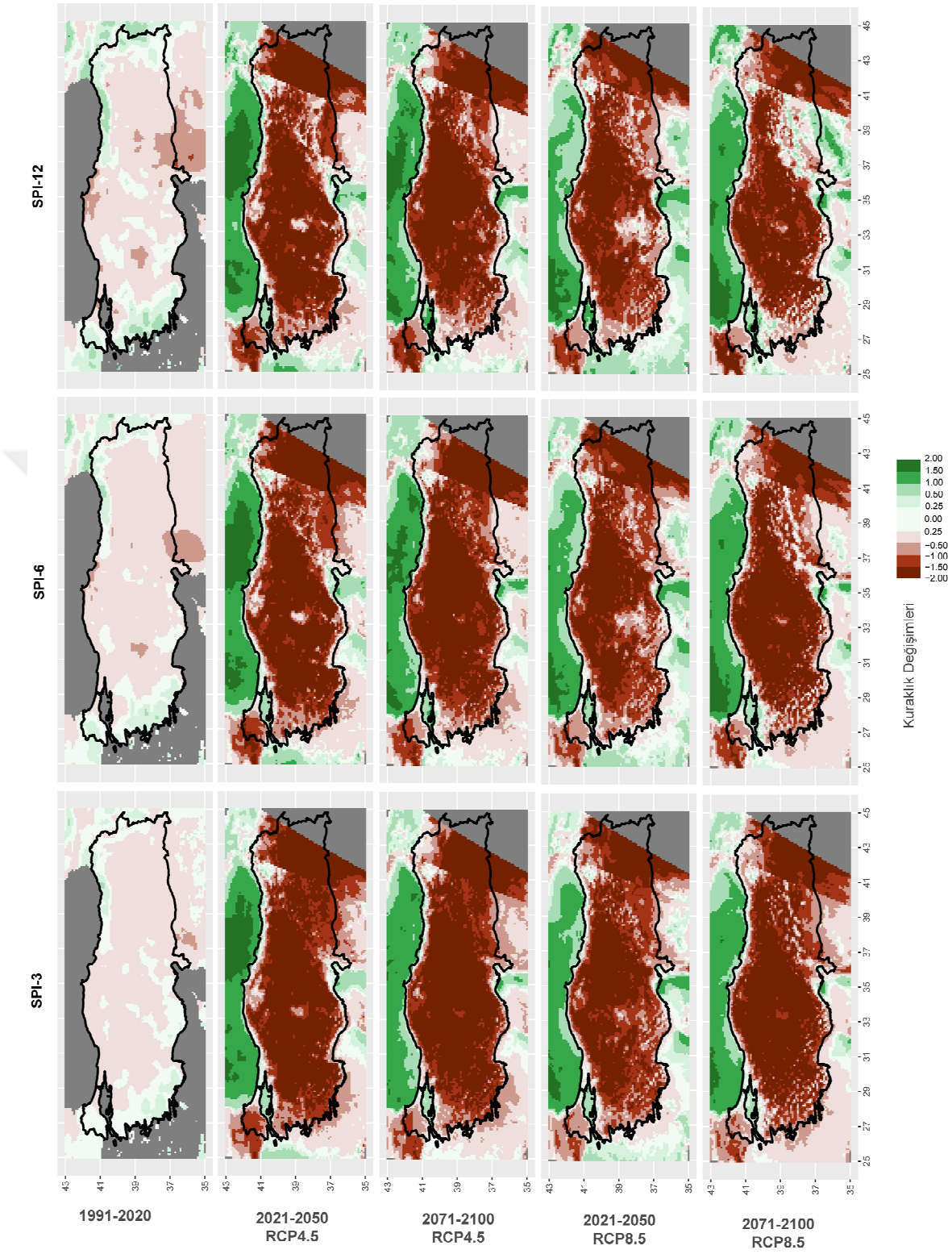
Nemlilik durumlarının değişimi incelendiğinde, 1991-2020 döneminde ilk yarıya göre ikinci yarıda batı Marmara, Doğu Karadeniz ve Ege bölgelerinde nemlilik durumlarında artış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Bu artış 3 ve 6 ay ölçeğinde 0-0,5 aralığında gerçekleşmiştir ancak 6 ay ölçeğinde 0,25-0,5 aralığında olan bölgeler 3 ay ölçeğine göre daha fazladır. 12 ay ölçeğinde artışlar 0-1 aralığında değişmektedir. Diğer zaman dilimlerinden farklı olarak ve İç Anadolu Bölgesi'nin batı kesimlerinde de artış

saptanmıştır. Artışların özellikle Doğu Karadeniz ve Ege bölgelerinde 0,5-1 aralığına olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgelerde tüm zaman ölçeklerinde nemliliğin arttığını ortaya çıkmıştır. Nemlilikteki azalmalar ise orta ve batı Karadeniz, İç Anadolu Bölgesi'nin orta ve doğu kesimleri ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin büyük bir kısmında görülmüştür ve genelde 0-0,50 aralığındadır.

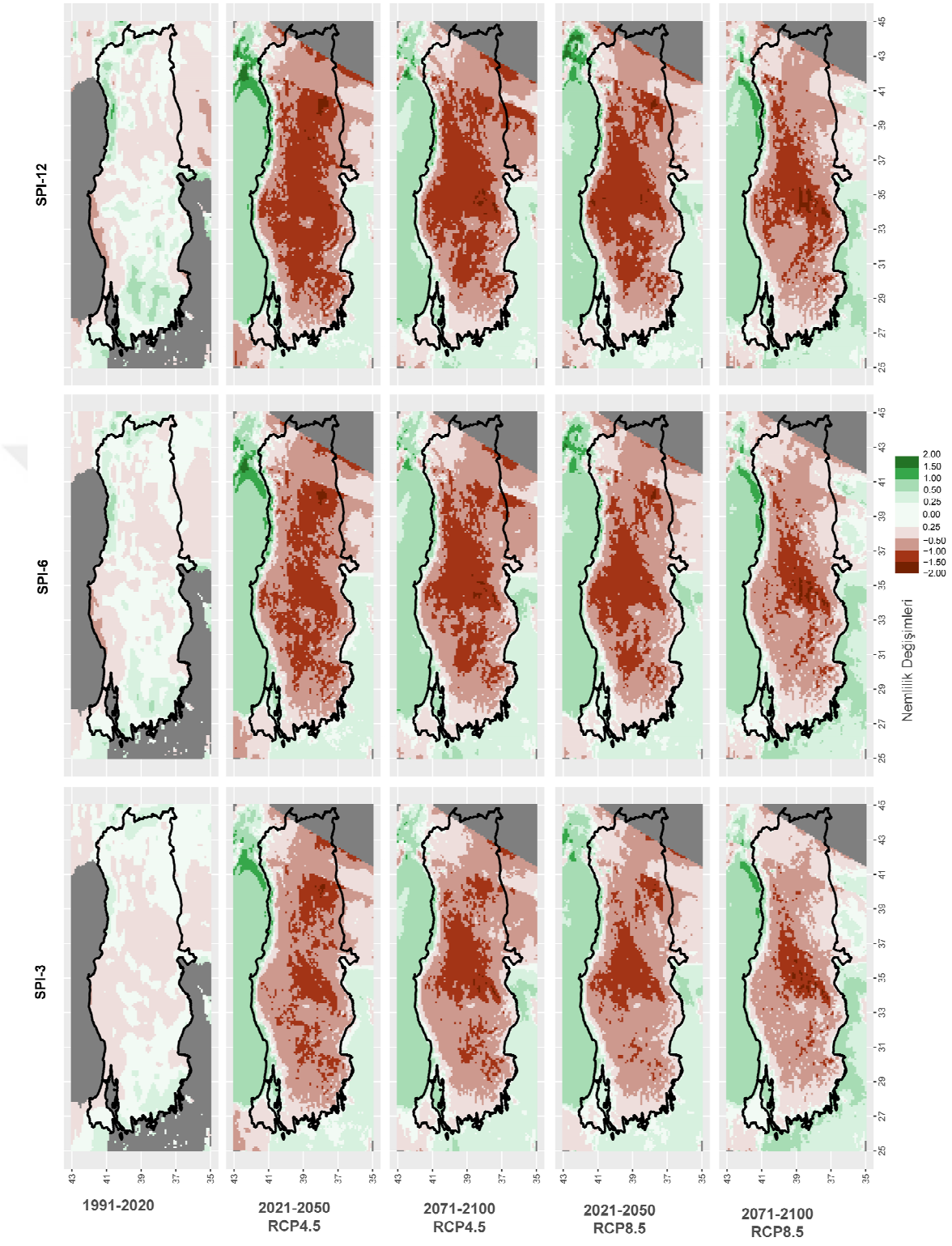
2021-2050 dönemi için tüm zaman ölçeklerinde benzer sonuçlar görülmüştür. Karadeniz Bölge'sinin kıyı ve doğu kesimleri hariç nemliliklerde azalma tespit edilmiştir. Bu azalma durumu 0,25-1,5 aralığında değişmektedir. En yüksek nemlilik azalışları İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaşanmıştır. Ege ve Akdeniz bölgelerinde diğer bölgelere kıyasla artışlar daha küçüktür (0-1). 3 aydan 12 aylık zaman ölçeğine gidildikçe azalma miktarlarının ve etki alanlarının arttığı görülmüştür. Ayrıca RCP4.5 senaryosunda değişimlerin RCP8.5 senaryosuna göre tüm zaman ölçeklerinde daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. 2071-2100 sonuçları 2021-2050 dönemi sonuçlarına benzerdir. Ancak 2071-2100 dönemindeki nemlilik durumlarındaki azalma eğiliminin aralığı ve görüldüğü alan 2021-2050 dönemindekine göre daha azdır.

4.5. Tartışma

Türkiye genelinde gelecek dönem kuraklıkları için yapılmış tek çalışma Ersoy (2022)'dir. Çalışmada 0,11ºx0,11º çözünürlüklü 42 RCM verisinin RCP8.5 senaryosunu kullanmıştır ve 1990-2100 dönemi kuraklıkları SPI yöntemi kullanılarak 9 aylık ölçekte hesaplanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre RCP 8.5 senaryosunda kurak geçen dönemlerin 2021-2050 arasında geçmiş döneme benzer şekilde sonuçlar verirken uzak gelecekte (2071-2100) Türkiye genelinde neredeyse tüm dönemlerde kurak sınıfa düştüğü görülmüştür. Bu çalışmada ise RCP 8.5'a göre yakın gelecekte Türkiye genelinde daha fazla kurak dönem tespit edilirken uzak gelecek dönemde yakın geleceğe göre daha fazla olsa da Ersoy'un çalışmasına göre daha düşük kurak dönem oluşacağı öngörülmüştür. Bu çalışmada Ersoy'un çalışmasından farklı olarak RCP4.5 senaryosu ve farklı ölçekte kuraklıklar da incelenmiştir. Sonuçlar RCP4.5 senaryosunun RCP8.5'a göre kuraklık görülme yüzdesi ve bölgesel dağılım açısından daha düşük olduğu görülmüştür. Çalışmalar arasındaki farklılıkların kullanılan RCM sayısı ve SPI ölçeğinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.13. YEA Yöntemi için SPI değerlerindeki kurak ayların değişim değerleri



Şekil 4.14. Dönemlerin ilk yarı yıl nemlilik durumlarının ikinci yarıyıldaki değişimleri

Bunun yanında bölgesel ölçekte de yapılmış çalışmalar da bulunmaktadır. Mehr vd. (2020) yaptıkları çalışmada Ankara ili 1971-2000 ve 2016-2040 dönemleri kuraklıklarını 3 GCM verisi küresel ölçek indirgenmiş ile SPEI kuraklık indislerini kullanarak hesaplamışlardır. Çalışma sonucuna göre 2016-2040 yakın gelecek dönemi için referans döneme göre daha az kuraklık olayına tespit edilmiştir. Özellikle RCP4.5 senaryosunda 2030'dan sonra kuraklıkların artış gösterdiği ve 2035'den sonra kuraklıkların şiddetinin arttığı görülmüştür. Bu çalışmada ise Ankara ilinin alansal dağılımına bakıldığında 2035'den sonra özellikle şiddetli ve aşırı şiddetli kuraklıkların artacağı tespit edilmiştir. Ankara ili için RCP4.5 senaryosuna göre her iki çalışmada benzer bulgular elde edilmiştir. Ankara ili için yapılan diğer bir çalışmada Afshar vd. (2020) iklim değişikliğinin meteorolojik kuraklığın özellikleri (oluşumu, süresi ve şiddeti) üzerindeki etkisini araştırmışlardır. RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları altında 3 GCM dinamik ölçek indirgenmiş çıktıları ile sırasıyla 1986-2018 referans ve 2018-2050 yakın gelecek dönemleri boyunca SPI değerlerini elde etmişlerdir. Gelecek dönemde kuraklığın meydana gelme olasılığının daha yüksek olduğunu göstermiştir. Hafif kuraklıkların süresinin artabileceğini ve aşırı kuraklıkların daha uzun süreler ve daha büyük şiddetlerle meydana geleceğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada da benzer şekilde 2021-2050 döneminde özellikle şiddetli ve aşırı şiddetli sınıftaki kuraklık olaylarının görülme yüzdesinin artacağı öngörülmüştür.

Yılmaz vd. (2022) Yukarı Çoruh Havzası'nda 2030-2059 ve 2070-2099 dönemleri için RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryosu altında 13 EURO-CORDEX çıktılarından oluşan topluluktan elde edilen iklim projeksiyonları kullanılarak gelecekteki hidro-meteorolojik kuraklıkları incelemişlerdir. Meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkları değerlendirmek için sırasıyla SPI ve standartlaştırılmış akış indeksi kullanılmıştır. Sonuçlara göre bölgede meteorolojik kuraklığın yirmi birinci yüzyılda daha önemli hale geleceğini iddia etmek için yeterli kanıt bulunamamıştır. Bu çalışmada Türkiye'nin diğer bölgelerinin bazı kısımlarında kurak geçen ay yüzdelerinde belirgin artışlar görülse de Yılmaz vd.'nin çalışmasına benzer şekilde Çoruh Havzası'nda önemli bir değişime rastlanmamıştır.

Yeşilköy ve Şaylan (2022) Marmara Bölgesi'nin batısında SPEI ve sc-PDSI indislerini kullanarak 12 ay ölçekte bölgedeki geçmiş (1971-2018) ve olası gelecek (2019-2050,

2051-2099) dönem kuraklıklarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada 5 RCM verisinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo verilerini kullanmışlardır. Sonuç olarak bölgede kuraklık görülme oranının 2051-2099 dönemi için RCP 4.5'te yaklaşık %37 ve RCP 8.5'te yaklaşık %43 oranında artacağını belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise 2071-2100 döneminde bölgede kuraklık oluşumlarında RCP4.5 senaryosuna göre özellikle orta ve şiddetli sınıf kuraklıklarda artış yaşanacağı fakat RCP8.5 senaryosuna göre önemli bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulguların değişiklik göstermesinin nedeni kullanılan kuraklık indeksi ve bölgesel iklim modellerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kuraklık oluşum farklarının Yeşilköy ve Şaylan'ın çalışmada kullandıkları SPEI ve sc-PDSI yöntemleri bulguları arasında da olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye genelinde yakın (2021-2050) ve uzak gelecekteki (2071-2100) kuraklık durumları incelenmiştir. Bu doğrultuda RCM (EURO-CORDEX) geçmiş dönem değerleri ve ERA5-Land verileri elde edilmiştir. En iyi performansı gösteren dört modelin çoklu model topluluk ortalaması (MMEA) yakın ve uzak gelecek dönemlerin, iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) senaryoları için 0,11ºx0,11º çözünürlükte elde edilmiştir. Daha sonra bu modelin yanlılık düzeltmesi Kuantil Delta Haritalama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. MMEA ve ERA5-Land verileri kullanılarak geçmiş ve gelecek dönem kuraklıkları 3, 6 ve 12 ay ölçeğinde Standart Yağış İndeksi (SPI) kullanılarak hesaplanmıştır. SPI değerlerinin farklı sınıflar için görülme yüzdelerinin alansal dağılımı elde edilmiştir. Her bir dönem ve senaryo için SPI değerlerinin eğilim analizi Modifiye Mann-Kendall, Sen'in Eğim ve Yenilikçi Eğilim Analizi yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- 3 aylık ölçekte orta derece kurak ay yüzdesi geçmiş döneme kıyasla gelecek dönemler için tüm senaryolarda azalmakta ve %10-20 aralığından %0-15'e düştüğü görülmektedir. Bu düşüş en belirgin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndedir.
- Hidrolojik kuraklığın bir göstergesi olan 12 aylık zaman ölçeğinde orta derecede kurak geçen ay yüzdeleri Trakya-Marmara, Karadeniz'in iç kesimlerinde ve doğu Akdeniz'in kıyı kesimlerinde artarak %5-10 seviyelerinden %15-20 bandına çıktığı görülmektedir.
- 3, 6 ve 12 aylık ölçekte şiddetli kurak ay yüzdelerinde geçmiş döneme kıyasla en belirgin artış RCP8.5 senaryosu 2021-2050 döneminde görülmüştür.
- 3, 6 ve 12 ay ölçeğinde gözlem döneminde %5 civarında olan aşırı derece kurak aylar yakın ve uzak gelecekte her iki senaryo için Doğu Karadeniz Bölgesi hariç neredeyse tüm bölgelerde artış göstermiştir.
- Aşırı derecede kurak ay yüzdelerindeki en belirgin artışlar tüm zaman ölçeklerinde RCP8.5 senaryosunda RCP4.5 senaryosuna göre daha şiddetli olmakla beraber Ege, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde olduğu görülmüştür. Bu bölgelerde artışlar yer yer %40 seviyelerine ulaşmıştır.

- Gelecek dönemde kuraklığın etkisinin hissedileceği bölgeler en şiddetli Güneydoğu Anadolu Bölgesi olmakla birlikte İç Anadolu, Ege ve Orta Akdeniz bölgeleri olacağı tespit edilmiştir.
- MMK yöntemi sonuçlarına göre tüm zaman ölçekleri için 1991-2020 döneminde Ege ve Doğu Karadeniz bölgelerinde nemlilik durumlarında artış eğilimi görülmüştür. Orta Karadeniz, İç Anadolu'nun doğu kesimleri ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise kuraklık durumlarının anlamlı artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.
- Sen'in Eğim Yöntemi'ne göre geçmiş dönem tüm zaman ölçeklerinde SPI değerleri İç Anadolu, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu bölgeleri ile Marmara'nın doğu, Karadeniz'in orta-batı kesimlerinde azalma eğilimindedir. Diğer bir deyişle bu bölgelerde kuraklıklar artış eğilimindedir. Eğilimler Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Karadeniz bölgelerinin orta kesimlerinde daha şiddetlidir.
- Kuraklıklardaki en şiddetli artış eğilimi 12 ay ölçeğinde ve orta-batı Akdeniz, Ege ile İç Anadolu bölgelerinde görülmüştür.
- Sen'in Eğim Yöntemi sonuçlarına göre SPI'ın tüm zaman ölçeklerinde RCP8.5 senaryosu eğilimlerinin RCP4.5 senaryosu eğilimlerine göre daha şiddetli olduğu ve daha geniş bölgelere yayıldığı görülmüştür.
- YEA yöntemi sonuçlarına göre 1991-2020 döneminde Doğu Karadeniz ve Ege bölgeleri dışında kalan alanlarda kuraklık eğilimleri artış yönündedir. Bu artış eğilimi en şiddetli 12 ay ölçeğinde Güneydoğu Anadolu ve orta Karadeniz bölgelerindedir.
- YEA yöntemi sonuçlarına göre en şiddetli kuraklık artışı İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yaşanmıştır. Bu bölgelerde kuraklık sınıflarının en az 2 sınıf değişmesi beklenmektedir.
- Ayrıca RCP4.5 senaryosundaki değişimlerin RCP8.5 senaryosuna göre tüm zaman ölçeklerinde daha düşük olduğu görülmüştür.
- 2021-2050 döneminde tüm ölçek ve senaryolarda en yüksek nemlilik azalışları İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaşanmıştır. 3 aydan 12 aylık zaman ölçeğine gidildikçe azalma miktarlarının ve etki alanlarının arttığı görülmüştür.

Tüm bu sonuçlar ele alındığında gelecek dönemlerde kuraklıkların artması beklenen sosyo-ekonomik açıdan gelişmemiş illerde meydana gelebilecek tarımsal ve hidrolojik kuraklık sonucu mevcut ekonomik faaliyetler kötü etkilenebilir. Bunun sonucu olarak bu illerden sosyo-ekonomik durumu daha iyi olan illere olası iç göçler yaşanabilir. Diğer bir yönden özellikle kuraklığın artması beklenen Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne sınır ülkelerde de görülecek uzun süreli kuraklık mevcut dış göçleri arttırabilir.

Gelecek dönemlerde Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve çevresinde artacak hidrolojik kuraklıklar ülkemizin önemli su potansiyeli ve hidroelektrik kurulu güce sahip olan Fırat-Dicle Havzası'nı olumsuz etkileyebilir. Barajların rezervuar seviyelerinin düşmesi nedeniyle hidroelektrik üretim gücünü düşürebilir. Ayrıca su kaynaklarının dünyadaki dağılımı göz önüne alındığında Ortadoğu su kıtlığı görülen bölgelerden biridir ve bu kritik bölgede sorunlu olabilecek beş akarsudan ikisi olan Fırat ve Dicle nehirleri Türkiye'de doğup Suriye ve Irak'a geçmektedir. Artan uzun süreli kuraklıklarla birlikte bu nehirlerdeki akım azalmaları ciddi uluslararası sorunlara neden olabilir.

Uzun süreli kuraklıklar bitki örtüsünü daha kuru hale getirerek yangınların hızla yayılmasına neden olmaktadır. Bu kuraklıklar ülkemizde orman yangınlarından etkilenen bölgelerden olan Akdeniz ve Ege'de olası yangınları arttırabilir. Kuraklık dönemlerinde, suların seviyesi düştüğü için su kaynakları daha kolay kirlenebilir. Bu da içme suyu kaynaklarının kalitesini düşürebilir ve insanların sağlığına zarar verebilir.

Sonuç olarak, yukarıda verilen bulgular ve olası etkiler göz önüne alındığında kuraklığın olumsuz etkilerine karşı gerekli teknik ve sosyal önlemler alınmalıdır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, CMIP5 sonuçlarına göre daha yüksek doğruluğa sahip olması beklenen CMIP6 veri setleri ile geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Afshar, M. H., Şorman, A. Ü., Tosunoğlu, F., Bulut, B., Yilmaz, M. T. ve Danandeh Mehr, A. (2020). Climate change impact assessment on mild and extreme drought events using copulas over Ankara, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, *141*(3), 1045–1055. doi:10.1007/s00704-020-03257-6

AghaKouchak, A. (2014). A baseline probabilistic drought forecasting framework using standardized soil moisture index: Application to the 2012 United States drought. *Hydrology and Earth System Sciences*, *18*(7), 2485–2492. doi:10.5194/hess-18-2485-2014

AghaKouchak, Amir. (2015). A multivariate approach for persistence-based drought prediction: Application to the 2010–2011 East Africa drought. *Journal of Hydrology*, *526*, 127–135. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.063

Ahmed, K., Sachindra, D. A., Shahid, S., Iqbal, Z., Nawaz, N. ve Khan, N. (2020). Multi-model ensemble predictions of precipitation and temperature using machine learning algorithms. *Atmospheric Research*, *236*, 104806. doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104806

Ahmed, K., Shahid, S. ve Nawaz, N. (2018). Impacts of climate variability and change on seasonal drought characteristics of Pakistan. *Atmospheric Research*, *214*, 364–374. doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.08.020

Akçay, F. (2018). Doğu Karadeniz Havzası Aylık ve Yıllık Ortalama Akımlarının Eğilim (Trend) Analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ali DemirKeskiner, M. (2023). Determination of Trend and Magnitude of Drought Events in Time and Space: An Application in the Area of the Southeastern Anatolia Project (GAP). *Journal*, 1.

Almazroui, M., Nazrul Islam, M., Saeed, S., Alkhalaf, A. K. ve Dambul, R. (2017). Assessment of Uncertainties in Projected Temperature and Precipitation over the Arabian Peninsula Using Three Categories of Cmip5 Multimodel Ensembles. *Earth Systems and Environment*, *1*(2), 23. doi:10.1007/s41748-017-0027-5

Almeida, M. P., Perpiñán, O. ve Narvarte, L. (2015). PV power forecast using a nonparametric PV model. *Solar Energy*, *115*, 354–368. doi:https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.03.006

Aloysius, N. R., Sheffield, J., Saiers, J. E., Li, H. ve Wood, E. F. (2016). Evaluation of historical and future simulations of precipitation and temperature in central Africa from CMIP5 climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *121*(1), 130–152. doi:https://doi.org/10.1002/2015JD023656

Ayşe Gülmez. (2022). *Ege Bölgesinde Akım Kuraklık İndeksi ve Standart Yağış İndeksinin Ortak İncelenmesi*. Bursa Teknik Üniversitesi.

Bağçaci, S. Ç., Yucel, I., Duzenli, E. ve Yilmaz, M. T. (2021). Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey. *Atmospheric Research*, *256*, 105576. doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105576

Barlow, M., Zaitchik, B., Paz, S., Black, E., Evans, J. ve Hoell, A. (2016). A Review of Drought in the Middle East and Southwest Asia. *Journal of Climate*, *29*(23), 8547–8574. doi:10.1175/JCLI-D-13-00692.1

Cannon, A. J., Sobie, S. R. ve Murdock, T. Q. (2015). Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes? *Journal of Climate*, *28*(17), 6938–6959.

doi:https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00754.1
Cheng, L. ve AghaKouchak, A. (2014). Nonstationary precipitation intensity-duration-frequency curves for infrastructure design in a changing climate. *Scientific reports*, *4*(1), 1–6.
Christensen, Jens H, Carter, T. R., Rummukainen, M. ve Amanatidis, G. (2007). Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. *Climatic Change*, *81*(1), 1–6. doi:10.1007/s10584-006-9211-6
Christensen, Jens Hesselbjerg ve Christensen, O. B. (2007). A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*, *81*(1), 7–30. doi:10.1007/s10584-006-9210-7
Coelho, C. A. S., de Oliveira, C. P., Ambrizzi, T., Reboita, M. S., Carpenedo, C. B., Campos, J. L. P. S., … Rehbein, A. (2016). The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics*, *46*(11), 3737–3752. doi:10.1007/s00382-015-2800-1
Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.-L., Fichefet, T., Friedlingstein, P., … Krinner, G. (2013). Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. *Climate change 2013-The physical science basis: Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* içinde (ss. 1029–1136). Cambridge University Press.
Cook, B. R. ve Spray, C. J. (2012). Ecosystem services and integrated water resource management: Different paths to the same end? *Journal of Environmental Management*, *109*, 93–100. doi:10.1016/j.jenvman.2012.05.016
Copernicus. (2022a). ERA5-Land hourly data from 1950 to present. *Copernicus*. https://cds.climate.copernicus.eu/terms#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview adresinden erişildi.
Copernicus. (2022b). CORDEX regional climate model data on single levels. *Copernicus*. https://cds.climate.copernicus.eu/terms#!/dataset/projections-cordex-domains-single-levels?tab=overview adresinden erişildi.
da Silva, M. L., de Oliveira, C. P., de Araújo, J. M. ve Silva, C. M. S. e. (2022). Performance assessment of Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 models in tropical South America using TOPSIS-based method. *International Journal of Climatology*, *42*(16), 8290–8312. doi:https://doi.org/10.1002/joc.7708
Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *WIREs Climate Change*, *2*(1), 45–65. doi:https://doi.org/10.1002/wcc.81
Danandeh Mehr, A., Sorman, A. U., Kahya, E. ve Hesami Afshar, M. (2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, *65*(2), 254–268. doi:10.1080/02626667.2019.1691218
Das, J., Das, S. ve Umamahesh, N. V. (2023). Population exposure to drought severities under shared socioeconomic pathways scenarios in India. *Science of The Total Environment*, *867*, 161566. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161566
Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., Arabacıoğlu, H. ve Coşkun, M. (2017). Climate change projections for Turkey: three models and two scenarios. *Turkish Journal of Water Science and Management*, *1*(1), 22–43.
Déqué, M., Calmanti, S., Christensen, O. B., Dell Aquila, A., Maule, C. F., Haensler, A., … Teichmann, C. (2017). A multi-model climate response over tropical Africa at +2°C. *Climate Services*, *7*, 87–95. doi:https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.06.002
Dubrovský, M., Hayes, M., Duce, P., Trnka, M., Svoboda, M. ve Zara, P. (2014). Multi-

GCM projections of future drought and climate variability indicators for the Mediterranean region. *Regional Environmental Change*, *14*(5), 1907–1919. doi:10.1007/s10113-013-0562-z

Dutra, E., Magnusson, L., Wetterhall, F., Cloke, H. L., Balsamo, G., Boussetta, S. ve Pappenberger, F. (2013). The 2010–2011 drought in the Horn of Africa in ECMWF reanalysis and seasonal forecast products. *International Journal of Climatology*, *33*(7), 1720–1729. doi:https://doi.org/10.1002/joc.3545

Ehret, U., Zehe, E., Wulfmeyer, V., Warrach-Sagi, K. ve Liebert, J. (2012). HESS Opinions "Should we apply bias correction to global and regional climate model data?" *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, *16*(9), 3391–3404. doi:10.5194/hess-16-3391-2012

Ersoy, N. E. (2022). Impact of Clımate Change Over the Varıabılıty of Drought Characterıstıcs Over 25 Basıns of Turkey. Middle East Technical University.

Evans, J. P. (2011). CORDEX–An international climate downscaling initiative. *19th international congress on modeling and simulation (December)* içinde (ss. 12–16).

Feitelson, E. ve Tubi, A. (2017). A main driver or an intermediate variable? Climate change, water and security in the Middle East. *Global Environmental Change*, *44*, 39–48. doi:https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.03.001

Fujino, J., Nair, R., Kainuma, M., Masui, T. ve Matsuoka, Y. (2006). Multi-gas mitigation analysis on stabilization scenarios using AIM global model. *The Energy Journal*, (Special Issue# 3).

Giorgi, F., Jones, C. ve Asrar, G. R. (2009). Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *World Meteorological Organization (WMO) Bulletin*, *58*(3), 175.

Gocic, M. ve Trajkovic, S. (2013). Analysis of precipitation and drought data in Serbia over the period 1980–2010. *Journal of Hydrology*, *494*, 32–42.

Grose, M. R., Narsey, S., Delage, F. P., Dowdy, A. J., Bador, M., Boschat, G., … Power, S. (2020). Insights From CMIP6 for Australia's Future Climate. *Earth's Future*, *8*(5), e2019EF001469. doi:https://doi.org/10.1029/2019EF001469

Gupta, H. V, Kling, H., Yilmaz, K. K. ve Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, *377*(1), 80–91. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003

Hamed, K. H. ve Ramachandra Rao, A. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, *204*(1), 182–196. doi:https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X

Hamed, M. M., Sammen, S. S., Nashwan, M. S. ve Shahid, S. (2022). Spatiotemporal variation of drought in Iraq for shared socioeconomic pathways. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. doi:10.1007/s00477-022-02343-7

Hameed, M., Ahmadalipour, A. ve Moradkhani, H. (2020). Drought and food security in the middle east: An analytical framework. *Agricultural and Forest Meteorology*, *281*, 107816. doi:https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107816

Hameed, M., Moradkhani, H., Ahmadalipour, A., Moftakhari, H., Abbaszadeh, P. ve Alipour, A. (2019). A Review of the 21st Century Challenges in the Food-Energy-Water Security in the Middle East. *Water*. doi:10.3390/w11040682

Hauser, M., Gudmundsson, L., Orth, R., Jézéquel, A., Haustein, K., Vautard, R., … Seneviratne, S. I. (2017). Methods and Model Dependency of Extreme Event Attribution: The 2015 European Drought. *Earth's Future*, *5*(10), 1034–1043. doi:https://doi.org/10.1002/2017EF000612

Hausfather, Z., Drake, H. F., Abbott, T. ve Schmidt, G. A. (2020). Evaluating the performance of past climate model projections. *Geophysical Research Letters*, *47*(1), e2019GL085378.

Heberger, M. (2011). Australia's Millennium Drought: Impacts and Responses BT - The World's Water: The Biennial Report on Freshwater Resources. P. H. Gleick (Ed.), (ss. 97–125). Washington, DC: Island Press/Center for Resource Economics. doi:10.5822/978-1-59726-228-6_5

Heydari Alamdarloo, E., Khosravi, H., Nasabpour, S. ve Gholami, A. (2020). Assessment of drought hazard, vulnerability and risk in Iran using GIS techniques. *Journal of Arid Land*, *12*(6), 984–1000. doi:10.1007/s40333-020-0096-4

Houghton, J. (2009). *Global warming: the complete briefing*. Cambridge university press.

IPCC, Summary for policymakers in climate change the physical science Basis, contribution of working group I to the fifth assessment report of the Change, intergovernmental panel on climate. (2013). *The physical science basis*. Cambridge Univ. Press.

IPCC. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.

Jiao, Y., Zhang, F., Huang, Q., Liu, X. ve Li, L. (2023). Analysis of Interpolation Methods in the Validation of Backscattering Coefficient Products. *Sensors*. doi:10.3390/s23010469

Kamal, A. S. M. M., Hossain, F. ve Shahid, S. (2021). Spatiotemporal changes in rainfall and droughts of Bangladesh for1.5 and 2 °C temperature rise scenarios of CMIP6 models. *Theoretical and Applied Climatology*, *146*(1), 527–542. doi:10.1007/s00704-021-03735-5

Kaniewski, D., Van Campo, E. ve Weiss, H. (2012). Drought is a recurring challenge in the Middle East. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(10), 3862–3867. doi:10.1073/pnas.1116304109

Kendall, M. (1975). Rank correlation methods. *Griffin, London*.

Kharraz, J. El, El-Sadek, A., Ghaffour, N. ve Mino, E. (2012). Water scarcity and drought in WANA countries. *Procedia Engineering*, *33*, 14–29. doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1172

Khorrami, B. ve Gündüz, O. (2022). Detection and analysis of drought over Turkey with remote sensing and model-based drought indices. *Geocarto International*, 1–23. doi:10.1080/10106049.2022.2066197

Kim, J., Ivanov, V. Y. ve Fatichi, S. (2016). Climate change and uncertainty assessment over a hydroclimatic transect of Michigan. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *30*(3), 923–944. doi:10.1007/s00477-015-1097-2

Koch, J., Demirel, M. C. ve Stisen, S. (2018). The SPAtial EFficiency metric (SPAEF): multiple-component evaluation of spatial patterns for optimization of hydrological models. *Geoscientific Model Development*, *11*(5), 1873–1886. doi:10.5194/gmd-11-1873-2018

Koppen, W. (1936). Das geographische system der klimat. *Handbuch der klimatologie*, 46.

Köppen, W. ve Geiger, G. (1954). Klima der Erde (map). Justus Perthes, Darmstadt, Germany. American distributor. *AJ Nystrom, Chicago*.

Koutroulis, A. G., Grillakis, M. G., Tsanis, I. K. ve Papadimitriou, L. (2016). Evaluation of precipitation and temperature simulation performance of the CMIP3 and CMIP5

historical experiments. *Climate Dynamics*, *47*(5), 1881–1898. doi:10.1007/s00382-015-2938-x

Krause, P., Boyle, D. P. ve Bäse, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Adv. Geosci.*, *5*, 89–97. doi:10.5194/adgeo-5-89-2005

Lafon, T., Dadson, S., Buys, G. ve Prudhomme, C. (2013). Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: a comparison of methods. *International Journal of Climatology*, *33*(6), 1367–1381. doi:https://doi.org/10.1002/joc.3518

Lange, B., Holman, I. ve Bloomfield, J. P. (2017). A framework for a joint hydro-meteorological-social analysis of drought. *Science of The Total Environment*, *578*, 297–306. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.145

Leander, R. ve Buishand, T. A. (2007). Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. *Journal of Hydrology*, *332*(3), 487–496. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.08.006

Leander, R., Buishand, T. A., van den Hurk, B. J. J. M. ve de Wit, M. J. M. (2008). Estimated changes in flood quantiles of the river Meuse from resampling of regional climate model output. *Journal of Hydrology*, *351*(3), 331–343. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.12.020

Lee, M.-H., Im, E.-S. ve Bae, D.-H. (2019). A comparative assessment of climate change impacts on drought over Korea based on multiple climate projections and multiple drought indices. *Climate Dynamics*, *53*(1), 389–404. doi:10.1007/s00382-018-4588-2

Legates, D. R. ve McCabe Jr., G. J. (1999). Evaluating the use of "goodness-of-fit" Measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, *35*(1), 233–241. doi:https://doi.org/10.1029/1998WR900018

Lenderink, G., Buishand, A. ve van Deursen, W. (2007). Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, *11*(3), 1145–1159. doi:10.5194/hess-11-1145-2007

Linsley Jr, R. K., Kohler, M. A. ve Paulhus, J. L. H. (1975). Hydrology for engineers.

Lloyd-Hughes, B. ve Saunders, M. A. (2002). A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, *22*(13), 1571–1592. doi:https://doi.org/10.1002/joc.846

Lotsch, A., Friedl, M. A., Anderson, B. T. ve Tucker, C. J. (2005). Response of terrestrial ecosystems to recent Northern Hemispheric drought. *Geophysical Research Letters*, *32*(6). doi:https://doi.org/10.1029/2004GL022043

Lutz, A. F., ter Maat, H. W., Biemans, H., Shrestha, A. B., Wester, P. ve Immerzeel, W. W. (2016). Selecting representative climate models for climate change impact studies: an advanced envelope-based selection approach. *International Journal of Climatology*, *36*(12), 3988–4005. doi:https://doi.org/10.1002/joc.4608

Ma, Q., Li, Y., Liu, F., Feng, H., Biswas, A. ve Zhang, Q. (2023). SPEI and multi-threshold run theory based drought analysis using multi-source products in China. *Journal of Hydrology*, *616*, 128737. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128737

Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend Author (s): Henry B . Mann Published by : The Econometric Society Stable. *Econometrica*, *13*(3), 245–259.

Maraun, D, Wetterhall, F., Ireson, A. M., Chandler, R. E., Kendon, E. J., Widmann, M., … Thiele-Eich, I. (2010). Precipitation downscaling under climate change: Recent

developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of Geophysics*, *48*(3). doi:https://doi.org/10.1029/2009RG000314

Maraun, Douglas. (2013). Bias Correction, Quantile Mapping, and Downscaling: Revisiting the Inflation Issue. *Journal of Climate*, *26*(6), 2137–2143. doi:https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00821.1

Mathbout, S., Lopez-Bustins, J. A., Martin-Vide, J., Bech, J. ve Rodrigo, F. S. (2018). Spatial and temporal analysis of drought variability at several time scales in Syria during 1961–2012. *Atmospheric Research*, *200*, 153–168. doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.09.016

McKee, T. B., Doesken, N. J. ve Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* içinde (C. 17, ss. 179–183). Boston, MA, USA.

Mearns, L. O., Gutowski, W., Jones, R., Leung, R., McGinnis, S., Nunes, A. ve Qian, Y. (2009). A Regional Climate Change Assessment Program for North America. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, *90*(36), 311. doi:https://doi.org/10.1029/2009EO360002

Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J.-F., … van Vuuren, D. P. P. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, *109*(1), 213. doi:10.1007/s10584-011-0156-z

Menendez, C. G., de Castro, M., Soerensson, A. ve Boulanger, J. P. (2010). CLARIS project: towards climate downscaling in South America.

Mirgol, B., Nazari, M., Etedali, H. R. ve Zamanian, K. (2021). Past and future drought trends, duration, and frequency in the semi-arid Urmia Lake Basin under a changing climate. *Meteorological Applications*, *28*(4), e2009. doi:https://doi.org/10.1002/met.2009

Mishra, A. K. ve Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, *391*(1), 202–216. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012

Modarres, R., Sarhadi, A. ve Burn, D. H. (2016). Changes of extreme drought and flood events in Iran. *Global and Planetary Change*, *144*, 67–81. doi:https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.07.008

Müdürlüğü, T. C. S. ve T. B. K. A. G. (2019). *İllerin ve Bölgelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması-2017*. Ankara.

Nash, J. E. ve Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, *10*(3), 282–290. doi:https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6

Nashwan, M. S. ve Shahid, S. (2020). A novel framework for selecting general circulation models based on the spatial patterns of climate. *International Journal of Climatology*, *40*(10), 4422–4443. doi:https://doi.org/10.1002/joc.6465

Nasrollahi, M., Khosravi, H., Moghaddamnia, A., Malekian, A. ve Shahid, S. (2018). Assessment of drought risk index using drought hazard and vulnerability indices. *Arabian Journal of Geosciences*, *11*(20), 606. doi:10.1007/s12517-018-3971-y

Nguyen-Ngoc-Bich, P., Phan-Van, T., Ngo-Duc, T., Vu-Minh, T., Trinh-Tuan, L., Tangang, F. T., … Aldrian, E. (2021). Projected evolution of drought characteristics in Vietnam based on CORDEX-SEA downscaled CMIP5 data. *International Journal of Climatology*, *41*(12), 5733–5751. doi:https://doi.org/10.1002/joc.7150

Nikulin, G., Jones, C., Giorgi, F., Asrar, G., Büchner, M., Cerezo-Mota, R., … Sushama, L. (2012). Precipitation Climatology in an Ensemble of CORDEX-Africa Regional

Climate Simulations. *Journal of Climate*, *25*(18), 6057–6078. doi:10.1175/JCLI-D-11-00375.1

Omer, A., Zhuguo, M., Zheng, Z. ve Saleem, F. (2020). Natural and anthropogenic influences on the recent droughts in Yellow River Basin, China. *Science of The Total Environment*, *704*, 135428. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135428

Orlowsky, B. ve Seneviratne, S. I. (2013). Elusive drought: uncertainty in observed trends and short- and long-term CMIP5 projections. *Hydrology and Earth System Sciences*, *17*(5), 1765–1781. doi:10.5194/hess-17-1765-2013

Osborn, T., Gosling, S. N., Wallace, C. ve Dorling, S. (2015). The water cycle in a changing climate.

Parente, J., Amraoui, M., Menezes, I. ve Pereira, M. G. (2019). Drought in Portugal: Current regime, comparison of indices and impacts on extreme wildfires. *Science of The Total Environment*, *685*, 150–173. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.298

Pedro-Monzonís, M., Solera, A., Ferrer, J., Estrela, T. ve Paredes-Arquiola, J. (2015). A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology*, *527*, 482–493. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003

Poyraz, A. Y. (2018). *Drought Analysis Using CORDEX Simulations Over the Mediterranean Climate Regions of Turkey*. MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY.

Qiu, J., Shen, Z. ve Xie, H. (2023). Drought impacts on hydrology and water quality under climate change. *Science of The Total Environment*, *858*, 159854. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159854

Reichler, T. ve Kim, J. (2008). How well do coupled models simulate today's climate? *Bulletin of the American Meteorological Society*, *89*(3), 303–312.

Reyniers, N., Osborn, T. J., Addor, N. ve Darch, G. (2022). Projected changes in droughts and extreme droughts in Great Britain strongly influenced by the choice of drought index. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, *2022*, 1–36. doi:10.5194/hess-2022-94

Riahi, K., Grübler, A. ve Nakicenovic, N. (2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change*, *74*(7), 887–935. doi:https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.05.026

Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., … Rafaj, P. (2011). RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, *109*(1), 33. doi:10.1007/s10584-011-0149-y

Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, *63*(324), 1379–1389.

Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, *17*(9), 1042–1046. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556

Seneviratne, S. I. (2012). Historical drought trends revisited. *Nature*, *491*(7424), 338–339. doi:10.1038/491338a

Slim, H. (2012). IASC Real-time evaluation of the humanitarian response to the Horn of Africa drought crisisin Somalia, Ethiopia and Kenya - Synthesis Report. *ReliefWeb*, (June), 18.

Sohom, M., R., A., A., B. P. ve P., S. S. (2019). Reservoir Operations under Changing Climate Conditions: Hydropower-Production Perspective. *Journal of Water*

Resources Planning and Management, *145*(5), 4019016. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001061

Spinoni, J., Barbosa, P., Bucchignani, E., Cassano, J., Cavazos, T., Christensen, J. H., … Dosio, A. (2020). Future Global Meteorological Drought Hot Spots: A Study Based on CORDEX Data. *Journal of Climate*, *33*(9), 3635–3661. doi:10.1175/JCLI-D-19-0084.1

Spinoni, J., Barbosa, P., De Jager, A., McCormick, N., Naumann, G., Vogt, J. V, … Mazzeschi, M. (2019). A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *22*, 100593. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100593

Sun, Y., Zhang, X., Zwiers, F. W., Song, L., Wan, H., Hu, T., … Ren, G. (2014). Rapid increase in the risk of extreme summer heat in Eastern China. *Nature Climate Change*, *4*(12), 1082–1085. doi:10.1038/nclimate2410

Teklu, T., Von Braun, J. ve Zaki, E. (1992). Drought and Famine Relationships in Sudan: Policy Implications. *Food and Nutrition Bulletin*, *14*(2), 1–3. doi:10.1177/156482659201400204

Teutschbein, C., Jonsson, E., Todorović, A., Tootoonchi, F., Stenfors, E. ve Grabs, T. (2023). Future drought propagation through the water-energy-food-ecosystem nexus – A Nordic perspective. *Journal of Hydrology*, *617*, 128963. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128963

Teutschbein, C. ve 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*, *456–457*, 12–29. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052

Tomaszkiewicz, M. A. (2021). Future Seasonal Drought Conditions over the CORDEX-MENA/Arab Domain. *Atmosphere*. doi:10.3390/atmos12070856

Torres, R. R. ve Marengo, J. A. (2014). Climate change hotspots over South America: from CMIP3 to CMIP5 multi-model datasets. *Theoretical and Applied Climatology*, *117*(3), 579–587. doi:10.1007/s00704-013-1030-x

Touma, D., Ashfaq, M., Nayak, M. A., Kao, S.-C. ve Diffenbaugh, N. S. (2015). A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century. *Journal of Hydrology*, *526*, 196–207. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.011

Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, *47*(1–2), 123–138. doi:10.3354/cr00953

Türkeş, M. (2010). Climatology and Meteorology, İstanbul. Kriter Publications.(in Turkish).

Türkeş, M. (2020). Climate and drought in Turkey. *Water resources of Turkey* içinde (ss. 85–125). Springer.

Turp, M. T. (2021). *Projections for Changes in Climatology and Extreme Events of the Cordex-Australasia Domaın: A Dynamical Downscaling Approach*. Boğaziçi University.

Van der Linden, P. ve Mitchell, J. F. B. (2009). ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project, Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. *Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. Download from. http://ensembles-eu. metoffice. com/docs/Ensembles_final_report_Nov09. pdf*.

Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water*, *2*(4), 359–392.

doi:https://doi.org/10.1002/wat2.1085
van Vuuren, D. P., den Elzen, M. G. J., Lucas, P. L., Eickhout, B., Strengers, B. J., van Ruijven, B., … van Houdt, R. (2007). Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change*, *81*(2), 119–159. doi:10.1007/s10584-006-9172-9
van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., … Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, *109*(1), 5. doi:10.1007/s10584-011-0148-z
van Vuuren, D. P., Stehfest, E., den Elzen, M. G. J., Kram, T., van Vliet, J., Deetman, S., … van Ruijven, B. (2011). RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. *Climatic Change*, *109*(1), 95. doi:10.1007/s10584-011-0152-3
Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. ve López-Moreno, J. I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, *23*(7), 1696–1718. doi:10.1175/2009JCLI2909.1
Viste, E., Korecha, D. ve Sorteberg, A. (2013). Recent drought and precipitation tendencies in Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, *112*(3), 535–551. doi:10.1007/s00704-012-0746-3
Vogt, J. V ve Somma, F. (2013). *Drought and drought mitigation in Europe* (C. 14). Springer Science & Business Media.
Wehner, M., Easterling, D. R., Lawrimore, J. H., Heim, R. R., Vose, R. S. ve Santer, B. D. (2011). Projections of Future Drought in the Continental United States and Mexico. *Journal of Hydrometeorology*, *12*(6), 1359–1377. doi:10.1175/2011JHM1351.1
Wilhite, D. A. ve Glantz, M. H. (1985). Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, *10*(3), 111–120. doi:10.1080/02508068508686328
Wilhite, D. A., Svoboda, M. D. ve Hayes, M. J. (2007). Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, *21*(5), 763–774. doi:10.1007/s11269-006-9076-5
Willmott, C. J. (1981). ON THE VALIDATION OF MODELS. *Physical Geography*, *2*(2), 184–194. doi:10.1080/02723646.1981.10642213
Willmott, C. J. (1984). On the Evaluation of Model Performance in Physical Geography BT - Spatial Statistics and Models. G. L. Gaile ve C. J. Willmott (Ed.), (ss. 443–460). Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-017-3048-8_23
Wise, M., Calvin, K., Thomson, A., Clarke, L., Bond-Lamberty, B., Sands, R., … Edmonds, J. (2009). Implications of Limiting CO2 Concentrations for Land Use and Energy. *Science*, *324*(5931), 1183–1186. doi:10.1126/science.1168475
WMO. (2016). *West Australia*. *World Meteorological Organization* (C. 1). doi:10.1136/bmj.1.2366.1068-b
WRI. (2022). World Resource Institute. https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040 adresinden erişildi.
Wu, Z., Mao, Y., Li, X., Lu, G., Lin, Q. ve Xu, H. (2016). Exploring spatiotemporal relationships among meteorological, agricultural, and hydrological droughts in Southwest China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *30*(3), 1033–1044. doi:10.1007/s00477-015-1080-y
Yagob, D., Rasoul, M., Deepak, J., Zare, A. H. ve Ali, M. (2014). Effect of Short-Term

and Long-Term Persistence on Identification of Temporal Trends. *Journal of Hydrologic Engineering*, *19*(3), 617–625. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000819

Yahya, B. M. ve Seker, D. Z. (2018). The Impact of Dust and Sandstorms in Increasing Drought Areas in Nineveh Province, North-western Iraq. *Journal of Asian and African Studies*, *54*(3), 346–359. doi:10.1177/0021909618812913

Yang, Y., Zhang, S., Roderick, M. L., McVicar, T. R., Yang, D., Liu, W. ve Li, X. (2020). Comparing Palmer Drought Severity Index drought assessments using the traditional offline approach with direct climate model outputs. *Hydrology and Earth System Sciences*, *24*(6), 2921–2930. doi:10.5194/hess-24-2921-2020

Yao, J. ve Chen, Y. (2015). Trend analysis of temperature and precipitation in the Syr Darya Basin in Central Asia. *Theoretical and Applied Climatology*, *120*(3), 521–531.

Yao, N., Li, L., Feng, P., Feng, H., Li Liu, D., Liu, Y., … Li, Y. (2020). Projections of drought characteristics in China based on a standardized precipitation and evapotranspiration index and multiple GCMs. *Science of The Total Environment*, *704*, 135245. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135245

Yeşilköy, S. ve Şaylan, L. (2022). Spatial and temporal drought projections of northwestern Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, *149*(1), 1–14. doi:10.1007/s00704-022-04029-0

Yimer, S. M., Bouanani, A., Kumar, N., Tischbein, B. ve Borgemeister, C. (2022). Assessment of Climate Models Performance and Associated Uncertainties in Rainfall Projection from CORDEX over the Eastern Nile Basin, Ethiopia. *Climate*, *10*(7), 95.

Yılmaz, M., Alp, H., Tosunoğlu, F., Aşıkoğlu, Ö. L. ve Eriş, E. (2022). Impact of climate change on meteorological and hydrological droughts for Upper Coruh Basin, Turkey. *Natural Hazards*, *112*(2), 1039–1063. doi:10.1007/s11069-022-05217-x

Zhai, J., Mondal, S. K., Fischer, T., Wang, Y., Su, B., Huang, J., … Uddin, M. J. (2020). Future drought characteristics through a multi-model ensemble from CMIP6 over South Asia. *Atmospheric Research*, *246*, 105111. doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105111

Zhang, G., Gan, T. Y. ve Su, X. (2022). Twenty-first century drought analysis across China under climate change. *Climate Dynamics*, *59*(5), 1665–1685. doi:10.1007/s00382-021-06064-5

Zhao, C., Brissette, F., Chen, J. ve Martel, J.-L. (2020). Frequency change of future extreme summer meteorological and hydrological droughts over North America. *Journal of Hydrology*, *584*, 124316. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124316

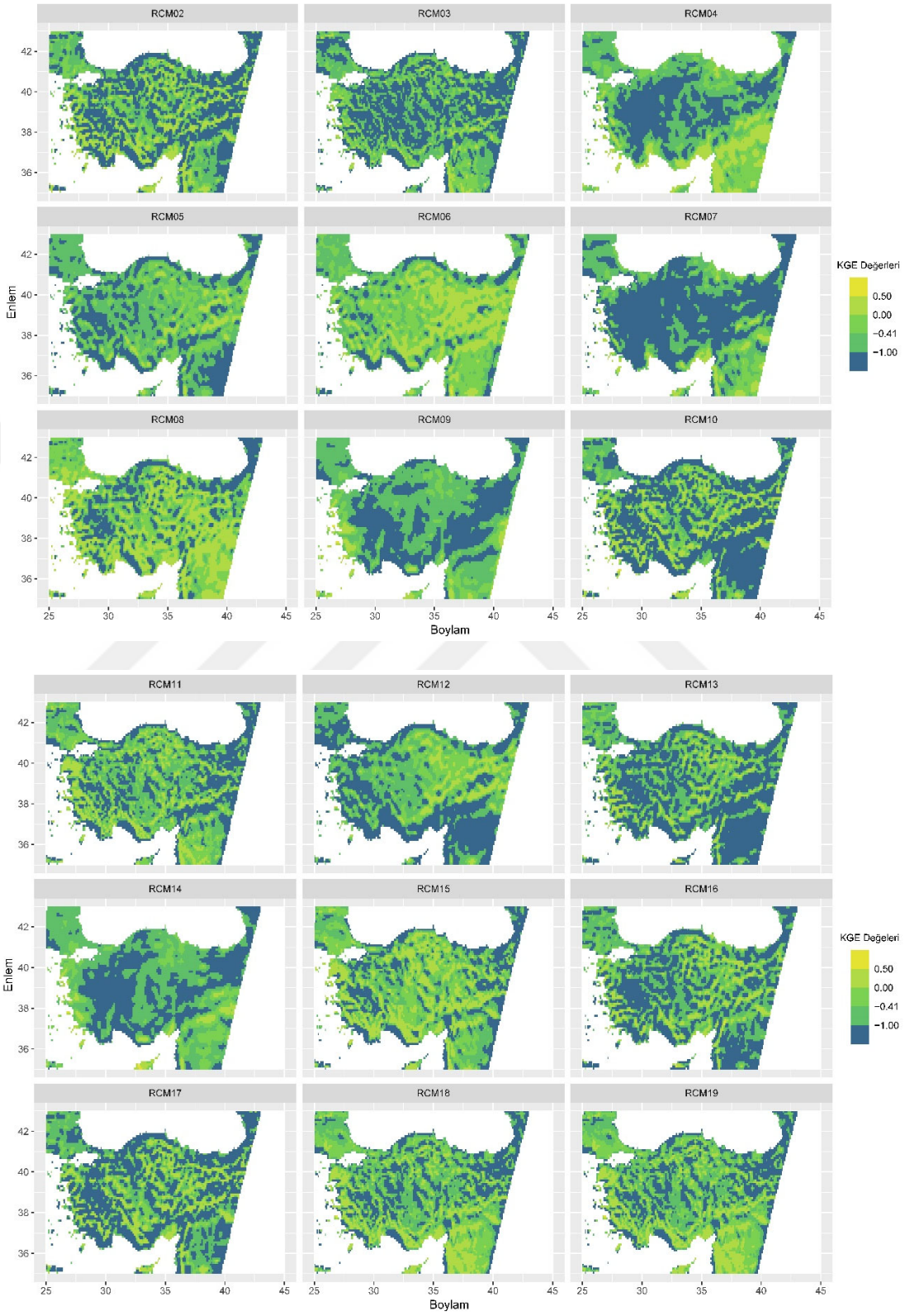
Zhao, R., Wang, H., Chen, J., Fu, G., Zhan, C. ve Yang, H. (2021). Quantitative analysis of nonlinear climate change impact on drought based on the standardized precipitation and evapotranspiration index. *Ecological Indicators*, *121*, 107107. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107107

Zittis, G. (2018). Observed rainfall trends and precipitation uncertainty in the vicinity of the Mediterranean, Middle East and North Africa. *Theoretical and Applied Climatology*, *134*(3), 1207–1230. doi:10.1007/s00704-017-2333-0

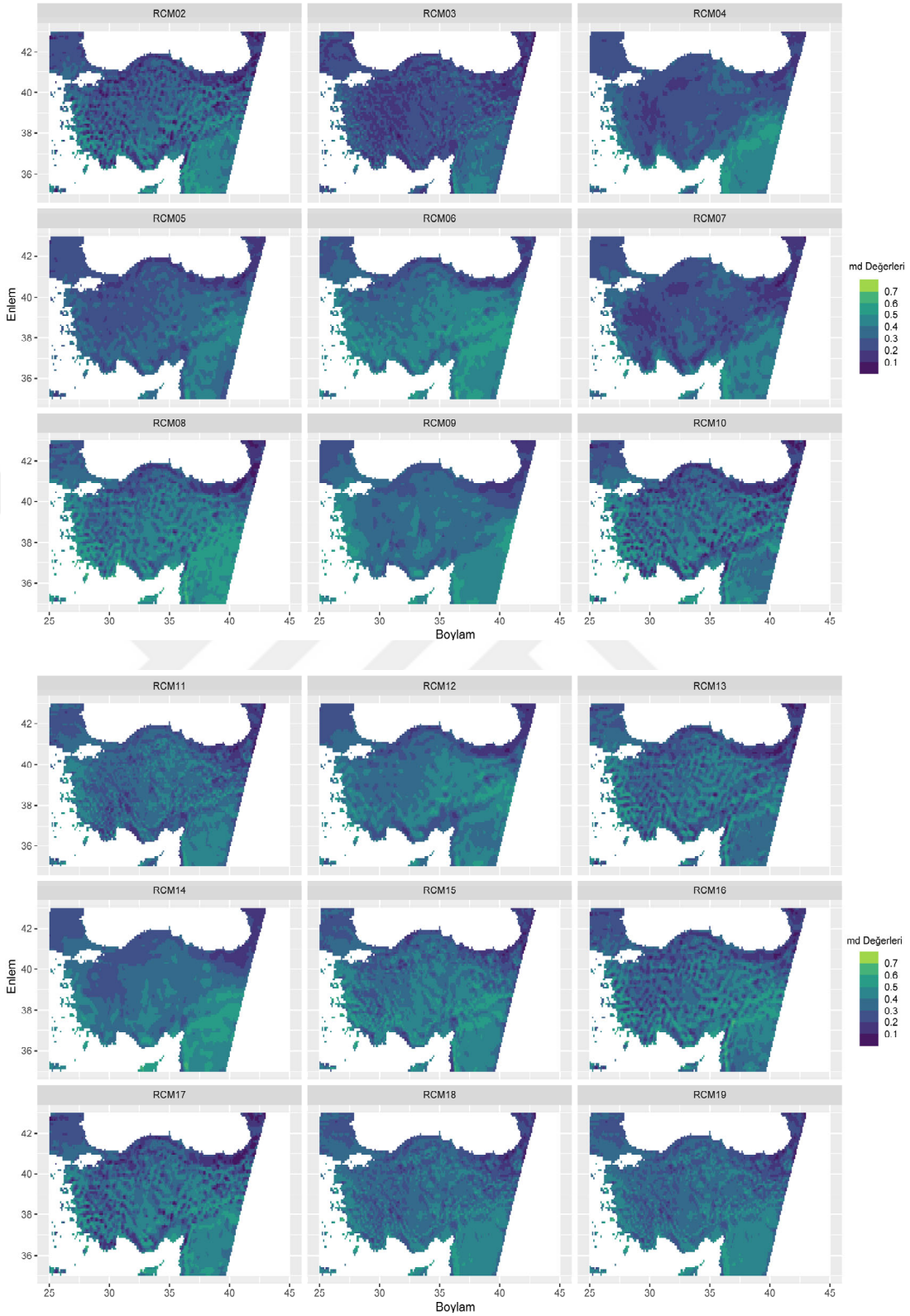
EKLER

EK 1 Model Performans Sonuçları Haritaları

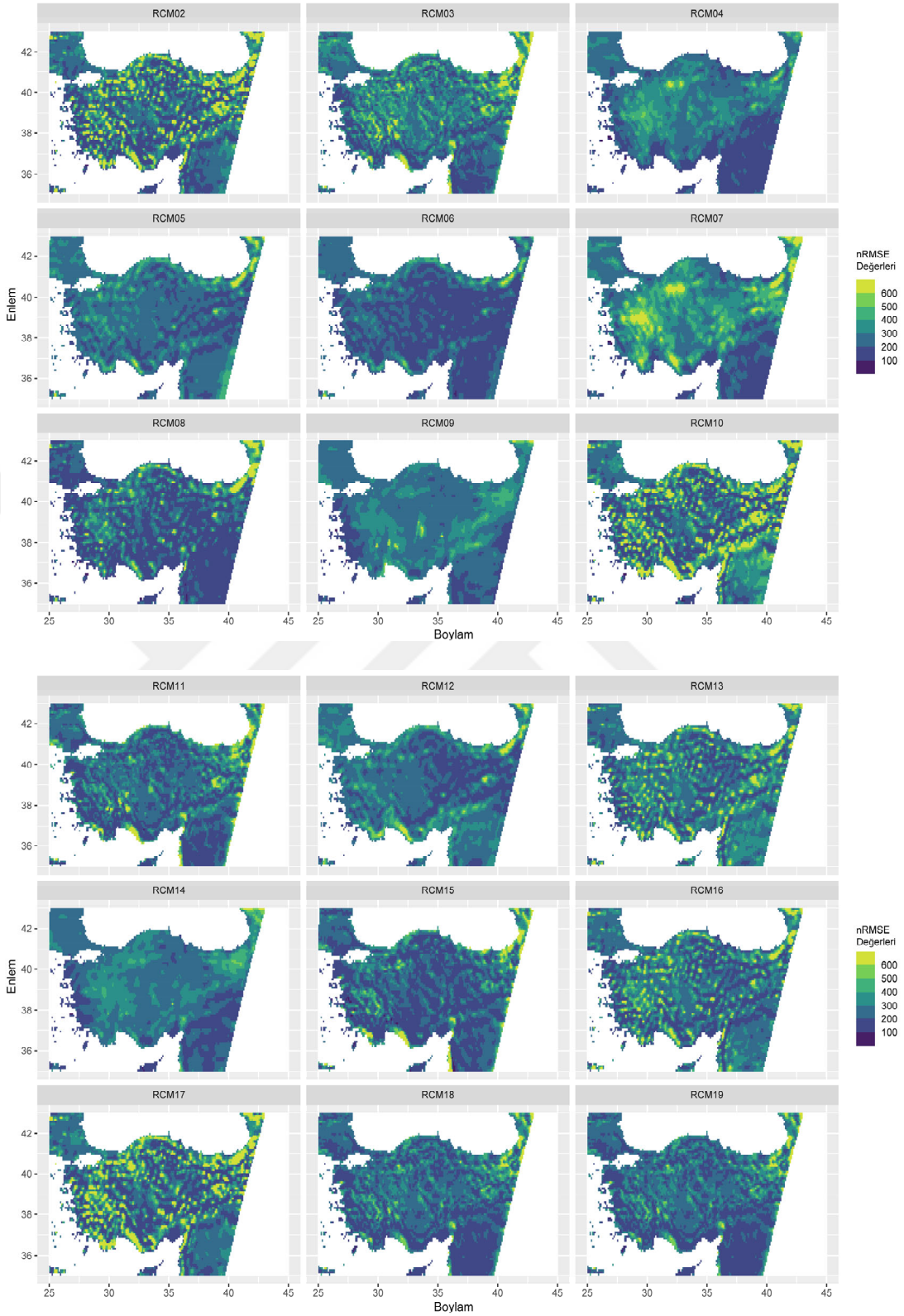
EK 1 Model Performans Sonuçlarına Ait Haritalar



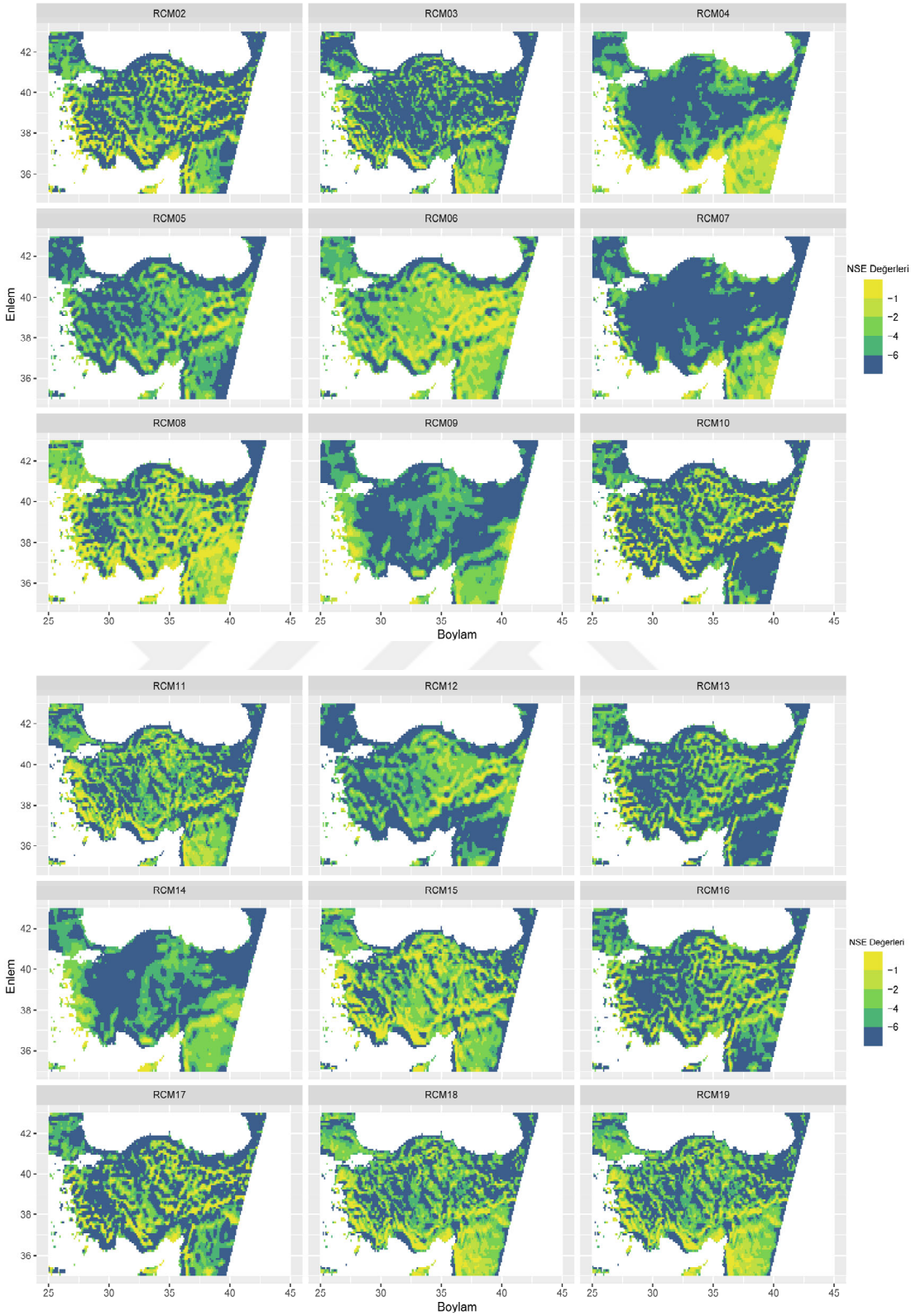
Sayısal ağlı KGE sonuçlarına ait haritalar



Sayısal ağlı "md" sonuçlarına ait haritalar



Sayısal ağlı nRMSE sonuçlarına ait haritalar



Sayısal ağlı NSE sonuçlarına ait haritalar