

TÜRKİYE VE BÜYÜK ÖLÇEKLİ DOĞU AKDENİZ KARADENİZİ'NİN GÜNCEL VE
GELECEK İKLİM PROJEKSİYONLARININ ANALİZİ
KABA VE YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLERDE DENİZ BÖLGESİ

TESLİM EDİLEN BİR TEZ
FEN BİLİMLERİ VE UYGULAMALI BİLİMLER LİSANSÜSTÜ OKULU
İLE İLGİLİ
ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

İLE
SONER ÇAĞATAY BAĞÇACI

GEREKLİLİKLERİN KISMEN YERİNE GETİRİLMESİ
İÇİN
FELSEFE DOKTORU DERECEŚİ
İÇİNDE
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

MART 2023

Tezin onayı:

**TÜRKİYE VE BÜYÜK ÖLÇEKLİ DOĞU AKDENİZ'İN GÜNCEL VE GELECEK
İKLİM PROJEKSİYONLARININ ANALİZİ
KARADENİZ BÖLGESİ KABA VE YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLERDE**

tarafından gönderildi**SONER ÇAĞATAY BAĞÇACI**derecesi için gerekliliklerin
kısmen yerine getirilmesinde**Felsefe DoktoruBenn İnşaat Mühendisliği, Orta
Doğu Teknik Üniversitesi**ile,

Prof.Dr.Halil Kalıpçılar
Dekan, Lisansüstü Okul**Doğa ve Uygulamalı Bilimler**

Prof.Dr.Erdem Canbay
Bölüm Başkanı,**İnşaat mühendisliği**

Prof.Dr.İsmail Yücel
Denetçi,**İnşaat Mühendisliği, ODTÜ**

İnceleme Komisyonu Üyeleri:

Doç. Prof. Dr. Mustafa Tuğrul Yılmaz
İnşaat Mühendisliği, ODTÜ

Prof. Dr. İsmail Yücel
İnşaat Mühendisliği, ODTÜ

Doç. Prof. Dr. Koray Kamil Yılmaz
Jeoloji Mühendisliği, ODTÜ

Prof.Dr.Ömer Lütfi Şen
İklim ve Deniz Bilimleri, İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof.Dr.Nermin Şarlak
İnşaat Mühendisliği, Konya Teknik Üniversitesi

Tarih: 03.03.2023

Bu belgedeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kurallar ve davranışın gerektirdiği şekilde, bu çalışmaya özgün olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak alıntıladığımı ve referans verdiğimi beyan ederim.

Adı Soyadı : Soner Çağatay Bağçacı

İmza :

SOYUT

TÜRKİYE VE BÜYÜK ÖLÇEKLİ DOĞU AKDENİZ'İN GÜNCEL VE GELECEK İKLİM PROJEKSİYONLARININ ANALİZİ KARADENİZ BÖLGESİ KABA VE YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLERDE

Bağcı, Soner Çağatay
Felsefe Doktoru, İnşaat Mühendisliği
Danışman : Prof. Dr. İsmail Yücel

Mart 2023, 116 sayfa

Bu tez, esas olarak Türkiye ve Doğu Akdeniz Karadeniz (EMBS) bölgesi üzerindeki iklim değişikliğine, son teknoloji küresel iklim modelleri (GCM'ler) ve yeniden analizler kullanan üç ayaklı çalışmalarla odaklanmaktadır. İlk çalışma, son Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Aşama 6 (CMIP6) GCM'leri tarafından orta ve yüksek emisyon senaryoları altında Türkiye'nin gelecekteki projeksiyonlarını ortaya koymaktadır. İkinci çalışma, 2020 için Türkiye üzerinde Hava Araştırma ve Tahmin (WRF) modelinin 60 modellik bir fizik kombinasyonu ile hassasiyet testleri yürütmektedir. Son çalışma, yüksek emisyon aralığında CMIP6 GCM topluluğunu EMBS üzerinde yüksek bir çözünürlüğe (4 km) dinamik olarak düşürmek için Sahte Küresel Isınma (PGW) yaklaşımını kullanmaktadır. Ana bulgular, kış yağışının Türkiye'nin güneybatısında azalması ve Türkiye'nin kuzeydoğusunda artması beklendiğini göstermektedir; bunların hepsi her iki senaryoda da istatistiksel olarak anlamlıdır. Öte yandan, yüksek emisyon senaryosu altında daha sıcak projeksiyonların neden olduğu konvektivite, Türkiye'deki yaz yağışlarındaki azalmayı kısmen telafi etti. Günlük yağış korelasyon değerleri, duyarlılık çalışmasında 0,5 ile 0,65 arasındadır ve bu aralık uzun vadeli simülasyonlarda iyileştirilmiştir. WRF modeli kış ve baharı mükemmel bir şekilde yakaladı

yağış anomalileri ve EMBS üzerindeki tüm mevsimlerde büyük ölçekli düşük seviyeli sirkülasyon anomalileri. Yaz aylarındaki düşük sıcaklık gelişimi ve sonbahardaki izi de WRF tarafından genel olarak iyi bir şekilde yakalandı. Ancak, ana çelişki özellikle Kafkasya ve yakın bölgelerdeki yaz yağış anomalilerinde ortaya çıkıyor ve bu, Hazar Denizi'nin deniz yüzeyi sıcaklık anomalilerini akıl yürüterek ek simülasyonla tartışıldı.

Anahtar Kelimeler: Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Aşama 6, Küresel İklim Modeli, Doğu Akdeniz Karadeniz Bölgesi, Sahte Küresel Isınma, Hava Araştırma ve Tahmin Modeli

ÖZ

TÜRKİYE VE GENİŞ ÖLÇEKTE DOĞU AKDENİZ KARADENİZ BÖLGESİNİN KABA VE YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLERDEKİ MEVCUT VE GELECEK İKLİM PROJEKSİYONLARININ ANALİZİ

Bağcı, Soner Çağatay
Doktora, İnşaat Mühendisliği Tez
Yöneticisi: Prof. Dr. İsmail Yücel

Mart 2023, 116 sayfa

Bu tez temel olarak, son teknoloji iklim küresel modelleri (GCM'ler) ve yeniden analiz verilerini kullanan üç ayaklı dağıtımla Türkiye ve Doğu Akdeniz Karadeniz (EMBS) iklim iklimine odaklanmaktadır. İlk çalışma, son olarak ortaya çıkan Akuple Model Karşılaştırma Projesi Aşama 6 (CMIP6) GCM'lerinin orta ve yüksek emisyon senaryoları altında Türkiye'ye yönelik gelecek projeksiyonlarını gözler önüne sermektedir. İkinci çalışma, Hava Durumu Araştırma ve Tahmin (WRF) modelinin 60 fizik incelemesinin 2020 yılı için Türkiye üzerinde kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Son çalışma, yüksek emisyon senaryosu altında CMIP6 GCM'ler uygulananu EMBS bölgesinde yüksek değişmelere (4 km) dinamik olarak çıkarmak için Sözde Küresel Isınma (PGW) uygulamalarını kullanır. Temel olarak, her iki senaryosu da sürdürülmekte olup, Türkiye'nin güneybatı kesiminde kış yağışlarının dağılımını, kuzeydoğu kesiminde ise artmasını öngördüğünü göstermektedir. Öte yandan, yüksek emisyon senaryosunda daha sıcak projeksiyonların nedeni olduğu konvektivite, Türkiye'deki yaz yağış düşüşlerinin doğrusallığıdır. Duyarlılık yayının günlük yağış dağılım değerleri 0,5 ile 0,65 arasında ve bu aralık uzun döneme ait geçmişe

yönelik simülasyonlarda kullanılır. WRF modeli, EMBS bölgelerinde kış ve yağış yağış anomalilerini ve tüm mevsimlerde büyük değişiklik, düşük seviyeli sirkülasyon anormalliklerini mükemmel bir şekilde yakalamıştır. Yazın termal-alçak gelişimleri ve bunun sonucunda sonbahardaki izler genellikle WRF tarafından iyi bir şekilde yakalanmıştır. Ancak asıl kayıt, özellikle Kafkasya ve yakın verilerki yaz yağışı anormalliklerinde ortaya çıkmakta ve bu durum Hazar Denizi'nin deniz-yüzey sıcaklık anomalileri gerekçelendirilerek ek ısıtma yöntemleri tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akuple Model Karşılaştırma Projesi Aşama 6, Küresel İklim Modeli, Doğu Akdeniz Karadeniz Bölgesi, Sözde Küresel Isınma, Hava Durumu Araştırma ve Tahmin Modeli

Hayatın belirsiz anlamına

TEŞEKKÜRLER

Öncelikle, bana yol gösterdikleri ve kritik anlarda bana güvendikleri için hocam Prof. Dr. İsmail Yücel'e ve tez izleme komitesi üyem Doç. Dr. Mustafa Tuğrul Yılmaz'a içten teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Prof. Dr. İsmail Yücel, büyük bilgi birikimiyle bana iklim modellemesi konusunda sabırla eğitim verdi ve bu sayede bu alandaki literatürü kavrayıp katkıda bulunmamı sağladı. Doç. Dr. Mustafa Tuğrul Yılmaz bana, karmaşık görünen herhangi bir problemin, birazcık ilgilenerek kolayca kodlanabileceğini öğretti.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde doktora yapmam ve iyi eğitilmiş bir akademisyen olmam için beni cesaretlendiren Prof. Dr. Nermin Şarлак'a teşekkür etmek istiyorum. Ayrıca, doktora çalışmalarım boyunca katkılarından dolayı örnek aldığım Prof. Dr. Ömer Lütfi Şen'e de teşekkür etmek istiyorum.

Özellikle EURO-CC projesiyle işbirliği yapan Türkiye Yüksek Performans ve Grid Hesaplama Merkezi'ne (TÜBİTAK ULAKBİM) ve onun referans verdiği Ulusal e-Bilim e-Altyapısı (TRUBA) birimine teşekkür etmek istiyorum. Destekleri, bize sadece ulusal HPC tesisleri sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda bir sorunla karşılaştığımızda bize yardımcı olmaları açısından da paha biçilmezdi. Ayrıca, Dünya İklim Araştırma Programı'na ve CMIP6'yı düzenleyen ve destekleyen eşleştirilmiş modelleme operasyon ekibine de teşekkür etmek istiyorum. Ayrıca, çıktılarını açıkça sağladıkları ve sundukları için dünyadaki iklim modelleme ekiplerine, verileri arşivleyen ve erişimi sürdüren Dünya Sistem Grid Federasyonu'na (ESGF) ve CMIP6 ve ESGF'yi destekleyen çeşitli fon sağlayan kuruluşlara da teşekkür ediyorum. Son olarak, Türkiye genelinde meteorolojik verilere erişimi sağlamamızı mümkün kıldığı için Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve Türkiye dışındaki veriler için Dünya Meteoroloji Örgütü'ne minnettarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ÖZ.....	vii
TEŞEKKÜRLER	x
İÇİNDEKİLER.....	xi
TABLoların LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xx
BÖLÜMLER	
1 GİRİŞ	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Çalışmanın önemi.....	9
1.3 Çalışmanın amaçları ve kapsamı.....	10
1.4 Tezin tanımı	10
2 EDEBİYAT İNCELEMESİ	13
2.1 Türkiye Çevresinde Yapılan Çalışmalar	13
2.2 Dünya çapında yapılan çalışmalar	16
2.2.1 WRF duyarlılık çalışmaları	16
2.2.2 WRF GCM dinamik küçültme çalışmaları.....	20
3 MALZEMELER VE YÖNTEMLER.....	27
3.1 Çalışma alanı	27
3.2 Veri kümeleri	29
3.3 Metodoloji.....	33

3.3.1 CMIP5 ve CMIP6 değerlendirmesi için performans lütleri	33
3.3.2 Bölgesel iklim modeli (RCM): WRF	34
3.3.3 WRF yapılandırılmaları	37
3.3.4 PGW süreci	39
3.3.5 PGW retrospektif simülasyonları ile model doğrulaması	41
4 SONUÇLAR.....	43
4.1 GCM değerlendirmesinin sonuçları ve geleceğe yönelik projeksiyonlar	43
4.1.1 ERA5 sıcaklığının ve yağışının doğrulanması.....	43
4.1.2 CMIP5 ve CMIP6'nın performans değerlendirmesi	45
4.1.3 CMIP5 ve CMIP6'nın topluluk ortalamalarındaki önyargılar.....	47
4.1.4 Geleceğe yönelik projeksiyonlar.....	49
4.1.4.1 Yağış	49
4.1.4.2 Yüzeye yakın sıcaklık	52
4.1.4.3 Yıllık değişikliklerin değerlendirilmesi	54
4.2 WRF fizik parametrelendirmelerinin duyarlılığının sonuçları	60
4.3 PGW tabanlı dinamik küçültmenin sonuçları.....	62
4.3.1 Doğrulama	62
4.3.2 Mevsimsel yağış değişimi	65
4.3.3 "Dinamik" ve "termodinamik" faktörler.....	69
4.3.4 Ek simülasyon	80
5 TARTIŞMA	89
6 SONUÇ	95
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	115

TABLoların LİSTESİ

TABLolar

Tablo 3.1 Çalışmada kullanılan CMIP5 GCM'lerinin topluluk üyeleri, veri kullanılabilirliği ve mekansal çözünürlükleri. Gelecekteki simülasyonlar için onay işaretleri, RCP'lerden en az birini göstermektedir (Bağçacı ve diğerleri, 2021).	30
Tablo 3.2 Çalışmada kullanılan CMIP6 GCM'lerinin topluluk üyeleri, veri kullanılabilirliği ve mekansal çözünürlükleri. Gelecekteki simülasyonlar için onay işaretleri en az bir SSP'yi göstermektedir (Bağçacı ve diğerleri, 2021).	31
Tablo 3.3 PGW tabanlı dinamik küçültme çalışmasında kullanılan CMIP6 GCM'lerinin topluluk üyeleri, varyant etiketi (kullanılan ens.) ve yatay çözünürlükleri	33
Tablo 3.4 RCM'yi zorlamak için PGW bozulmasında (WRF) zorunlu veri alanları.	40
Tablo 4.1 Türkiye için RCP8.5 ve SSP5-8.5'e dayalı en iyi performans gösteren mevcut CMIP6 GCM'lerinin ve CMIP5'teki karşılıklarının yağış simülasyonlarının yıllık ortalamaları ve standart sapmaları. Tabloda, $p=0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı anomaliler kalın karakterlerle ifade edilmiştir (Bağçacı vd., 2021).	58
Tablo 4.2 Türkiye için RCP8.5 ve SSP5-8.5'e dayalı en iyi performans gösteren mevcut CMIP6 GCM'lerinin ve CMIP5'teki karşılıklarının yüzeye yakın sıcaklık simülasyonlarının yıllık ortalamaları ve standart sapmaları. CMIP5 ve CMIP6 GCM'lerindeki tüm yüzeye yakın sıcaklık anomalileri $p=0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır (Bağçacı vd., 2021).	60
Tablo 4.3 CMIP6 GCM'leri genelinde SST kullanılabilirliği. Cnbu "kullanılamadı" anlamına gelir.	81

RAKAMLAR LİSTESİ

RAKAMLAR

- Şekil 3.1. Çalışma alanı (EMBS) yükseklik haritası. İlk iki çalışma, yani GCM'lerin değerlendirilmesi ve gelecekteki projeksiyonları ve WRF duyarlılık testleri, merkezi Türkiye alanına odaklanarak yürütülmüştür. Üçüncü çalışma, yani PGW tabanlı dinamik küçültme, şekilde sunulan tüm alan üzerinde gerçekleştirilmiştir.28
- Şekil 3.2. İlk çalışmanın doğrulama dönemi boyunca veri tutarlılığı/
kullanılabilirliği29
- Şekil 3.3. WRF modellemesinin özet akış şeması36
- Şekil 3.4. WRF fizik parametrelendirme etkileşimleri. Bu şekli doğrudan Skamarock ve ark.'dan (2019) uyarladık.....36
- Şekil 3.5. PGW metodolojisi akış şeması41
- Şekil 4.1. ERA5 yeniden analizi ve istasyon karşılaştırması a) aylık yağış, b) aylık ortalama yağış, c) aylık yüzeye yakın sıcaklık, d) aylık ortalama yüzeye yakın sıcaklık. İlgili istatistikler şekilde verilmiş olup, daha detaylı bilgi Bağçacı ve ark. (2021) orijinal makalesinde bulunabilir.
- Şekil 4.3. Yüzeye yakın sıcaklık için ERA5 ile en iyi dört ve en kötü dört performans gösteren CMIP6 ve CMIP5 GCM'lerinin karşılaştırılması (Bağçacı ve diğerleri, 2021)...47
- Şekil 4.4. a) yüzeye yakın sıcaklıktaki ve b) yağıştaki ortalama sapmalar. CMIP5 birinci satırda ve CMIP6 ikinci satırdadır. Topluluk üyeleri en kaba çözünürlüklü GCM'nin yatay çözünürlüğüne yeniden ızgaralanır ve ardından mevsimsel ortalamalar CMIP5 ve CMIP6'nın tarihsel periyotlarında ayrı ayrı alınır (Bağçacı ve diğerleri, 2021).48
- Şekil 4.5. SSP2-4.5 yağış anomalisi a) yakın b) orta c) uzun vadede. Şekilde, $p=0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı değişimler taranmış rasterlerle ifade edilmiştir (Bağçacı ve ark., 2021).51

Şekil 4.6. SSP5-8.5 yağış anomalisi a) kısa b) orta c) uzun vadede. Şekilde, $p=0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı değişimler taranmış rasterlerle ifade edilmiştir (Bağçacı ve ark., 2021).....	52
Şekil 4.7. SSP2-4.5 yüzeye yakın sıcaklık anomalisi a) kısa b) orta c) uzun vadede. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5'teki tüm yüzeye yakın sıcaklık anomalileri $p=0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır; bu nedenle, netlik için hiçbir tarama çizilmemiştir (Bağçacı ve ark., 2021).	53
Şekil 4.8. SSP5-8.5 yüzeye yakın sıcaklık anomalisi a) kısa b) orta c) uzun vadede. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5'teki tüm yüzeye yakın sıcaklık anomalileri $p=0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır; bu nedenle, netlik için hiçbir tarama çizilmemiştir (Bağçacı ve ark., 2021).	54
Şekil 4.9. Türkiye'de en yüksek emisyon senaryoları altında CMIP5 ve CMIP6'dan elde edilen yağış ve yüzeye yakın sıcaklık anomalilerinin yıllık bazda karşılaştırılması (Bağçacı vd., 2021).	56
Şekil 4.10. Yer gözlemleri ve 60 WRF yapılandırmasının günlük ortalama yağış istatistikleri. İlk kutu istasyon istatistiklerini göstermektedir. Kesikli çizgi istasyonların medyan değerine aittir. Kutuların ortalama değerleri kırmızı noktalarla, medyan değerleri ise kutulardaki siyah çizgilerle gösterilmiştir.	

Şekil 4.12. WRF simülasyonları yağış istatistikleri: a) Aylık yağış korelasyonu (mavi çizgilerle sol eksen) ve RMSE (kırmızı çizgilerle sağ eksen). Kesintisiz çizgi WRF-yer gözlem istatistiklerini, kesikli çizgi WRF-GPCC istatistiklerini, nokta kesikli çizgi WRF-GPCC HOAPS istatistiklerini ve noktalı çizgi WRF-EOBS istatistiklerini gösterir. b) a'daki gibi, ancak WRF ve yer gözlemleri arasındaki günlük yağış istatistikleri için. c) Mekansal

1995-2014 yılları arasında Türkiye alanında WRF ve yer gözlemleri arasındaki günlük yağış korelasyonları. d) c'deki gibi, ancak yağışlı mevsim için (NDJFM).	64
Şekil 4.13. WRF simülasyonlarının yüzeye yakın sıcaklık istatistikleri: Günlük ve aylık korelasyon (mavi çizgilerle sol eksen) ve günlük ve aylık RMSE (kırmızı çizgilerle sağ eksen). Kesintisiz çizgi günlük WRF yer gözlem istatistiklerini, kesikli çizgi aylık WRF-CRU istatistiklerini, nokta kesikli çizgi günlük WRF-EOBS istatistiklerini ve noktalı çizgi aylık WRF-yer gözlem istatistiklerini gösterir.	65
Şekil 4.14. 13 CMIP6 GCM model topluluğundan alınan 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (tarihsel) arasındaki mevsimsel yağış değişimi (mm cinsinden). $p \leq 0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı değişimler çizilmiştir.	66
Şekil 4.15. EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilen mm cinsinden 1995-2014 arasındaki mevsimsel yağış değişimi ve buna karşılık gelen sözde gelecek dönem.	67
Şekil 4.16. 13 CMIP6 GCM model topluluğundan alınan 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (geçmiş) arasındaki PGW zorlamasının büyük ölçekli düşük seviyeli (850 hPa) sirkülasyonu (rüzgarlar vektörler olarak) ve SLP (gölgelendirmeler) değişim sinyali. Rüzgar vektörleri m/sn ve deniz seviyesi basıncı pascal birimlerindedir. Referans vektörü sol üstte sunulmuştur.	69
Şekil 4.17. 1995-2014 arasındaki düşük seviye (850 hPa) sirkülasyon (rüzgarlar vektör olarak) ve SLP (gölgelendirmeler) değişimi ve EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için karşılık gelen sözde gelecek dönem. Rüzgar vektörleri m/sn birimlerindedir ve deniz seviyesi basıncı pascal birimlerindedir. Referans vektörü sol üstte sunulmuştur.	70
Şekil 4.18. Genişletilmiş EMBS alanı için 13 CMIP6 GCM model topluluğundan alınan 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (geçmiş) arasındaki PGW zorlamasının düşük seviyeli (850 hPa) sirkülasyonu (rüzgarlar vektörler olarak) ve SLP (gölgelendirmeler) değişim sinyali. Rüzgar vektörleri m/sn cinsindendir	

ve deniz seviyesi basıncı pascal birimindedir. Referans vektörü sol üstte sunulmuştur.	71
Şekil 4.19. EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için 1995-2014 ve karşılık gelen sözde gelecek dönem arasındaki yüzey yakınındaki (rüzgarlar için 10 metre ve özgül nem için 2 metre) rüzgar deseni (vektörler) ve özgül nem (gölgelemeler). Rüzgar vektörleri m/s ve özgül nem g/kg birimlerindedir. Referans vektörü sol üstte sunulmuştur.	73
Şekil 4.20. EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için g/kg biriminde 1995-2014 yılları arasındaki düşük seviyeli (850 hPa) özgül nem değişimi ve buna karşılık gelen sözde gelecek dönem.....	73
Şekil 4.21. 1995-2014 arasındaki dikey basınç hızı (omega) değişimi ve her mevsim için hPa/saat biriminde karşılık gelen sözde gelecek dönem, EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilmiştir. Omega değişimleri 200 hPa (üstte), 500 hPa (ortada) ve 850 hPa (altta) basınç seviyelerinde sunulmuştur.	74
Şekil 4.22. 1995-2014 arasındaki yüzey sıcaklığı (üstte) ve çığ noktası depresyonu (altta) ve her mevsim için EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilen °C birimindeki karşılık gelen sözde gelecek periyot arasındaki değişim. Çığ noktası depresyonu, yüzey yakını ve 700 hPa basınç seviyesi arasındaki değerlerle ortalama alındı.	74
Şekil 4.23. 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (geçmiş) arasındaki PGW zorlamasının yüzeye yakın sıcaklık değişim sinyali, °C biriminde genişletilmiş EMBS alanı için 13 CMIP6 GCM model topluluğundan alınmıştır.	75
Şekil 4.24. 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (tarihsel) arasındaki dikey basınç hızı (omega) değişim sinyali, hPa/saat biriminde genişletilmiş EMBS alanı için 13 CMIP6 GCM model topluluğundan alınmıştır. Lejandın WRF simülasyonlarının onda biri olduğu unutulmamalıdır.	75

Şekil 4.25. 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (tarihsel) arasındaki PGW zorlamasının özgül nem değişim sinyali, genişletilmiş EMBS alanı için 13 CMIP6 GCM model topluluğundan g/kg biriminde alınmıştır. İlk satır yüzeye yakın (2 m'de) değişimleri ve ikinci satır düşük seviyeli (850 hPa'da) değişimleri göstermektedir.....76

Şekil 4.26. Uzun vadeli (2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (tarihsel) dönemleri arasındaki) mevsimsel ortalama ısınma farkları: a) tüm mevcut GCM'lerin deniz yüzeyi sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı arasında, b) üç GCM (CMCC-CM2-SR5, CMCC-ESM2, HadGEM3-GC31-MM) SST ile tüm mevcut GCM topluluğu SST'si (üç GCM SST artışı eksi tüm topluluk SST artışı) arasında. Kıyı bölgeleri, kaba çözünürlükten inceye doğru yapılan ikili doğrusal enterpolasyon işlemi nedeniyle bloklu bir soğutucu görünümü sergiler. Bu, WRF ön işleminin enterpolasyon adımıyla önlenmiştir.82

Şekil 4.27. Kafkasya ve yakın bölgeler için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için 1995-2004 ve karşılık gelen sözde gelecek periyotları arasındaki düşük seviye (850 hPa) sirkülasyon (rüzgarlar vektör olarak) ve SLP (gölgelendirmeler). Rüzgar vektörleri m/sn ve deniz seviyesi basıncı pascal birimlerindedir. Referans vektörü sol üstte sunulmuştur.83

Şekil 4.28. Yüzeye yakın sıcaklık (üstte) ve çiğ noktası depresyonu (altta) 1995-2004 ve Kafkasya ve yakın bölgeler için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için °C biriminde karşılık gelen sözde gelecek dönem arasındaki değişim. Çiğ noktası depresyonu, yüzeye yakın ve 700 hPa basınç seviyesi arasındaki değerlerle ortalama alınır.84

Şekil 4.29. Kafkasya ve yakın bölgeler için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için hPa/saat birimi cinsinden 1995-2004 arasındaki dikey basınç hızı (omega) değişimi ve buna karşılık gelen sözde gelecek dönem. Omega değişimleri 200 hPa (üstte), 500 hPa (ortada) ve 850 hPa (altta) basınç seviyelerinde sunulmaktadır.84

Şekil 4.30. 1995-2004 yılları arasında yüzeye yakın (2 metre; üstte) ve düşük seviye (850 hPa; altta) özgül nem değişimi ve buna karşılık gelen sözde nem.

Kafkasya ve yakın bölgeler için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için g/kg birimi cinsinden gelecek dönem. 85

Şekil 4.31. Kafkasya ve yakın bölgeler için WRF simülasyonlarından elde edilen mm biriminde 1995-2004 yılları arasındaki mevsimsel yağış değişimi ve buna karşılık gelen sözde gelecek dönem. 85

KISALTMALAR LİSTESİ

KISALTMALAR

ACM2	Yerel olmayan yukarı doğru karışım ve yerel aşağı doğru karışım içeren Asimetrik Konvektif Model
AR6	IPCC Değerlendirme Raporu 6
AWOS	Otomatik Hava Durumu Gözlem Sistemleri
CFSR	İklim Tahmin Sistemi Yeniden Analizi
CMIP	Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi
KONF	Yapılandırma
ÇKP	İklim Tahmin Merkezi
CRU	İklim Araştırma Birimi
EA/WR	Doğu Atlantik-Batı Rusya tele bağlantısı
ECMWF	Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi
EKS	Denge iklim duyarlılığı
EMB'ler	Doğu Akdeniz Karadeniz Bölgesi
GÜVERTE	Klima Tanısı, Değerlendirmesi ve Karakterizasyonu
ENSO	El Niño/Güney Salınımı
FNL	Son Küresel Analiz
GÇM	Küresel iklim/dolaşım modeli
GDM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Kız Arkadaşlık Sistemi	Küresel Tahmin Sistemi

sera gazı

Sera gazları

GPCP

Küresel Yağış İklimi Projesi

Küresel Konumlama Sistemi

Küresel konumlandırma sistemi

KGE

Kling-Gupta verimliliği

Düşük maliyetli

Lamber konformal konik

MAE

Ortalama mutlak hata

Doktor

Değiştirilmiş anlaşma endeksi

M.E.M.

Çok modelli topluluk

MME

Çoklu model topluluğu ortalaması

MODİSLER

Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi

MORRISON2

Morrison'ın çift anı

Milletvekili

Çoklu Sensör Yağış Tahminleri

BAY

Kapsamlı Derecelendirme Metriği

Benimjim

Mellor-Yamada-Janjic

Ulusal Ajans

Kuzey Atlantik Salınımı

NCAR

Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi

NRMSE

Normalize edilmiş kök ortalama kare hatası

NÇP

Sayısal hava durumu tahmini

Problem tabanlı öğrenme

Gezegensel sınır tabakası

PGW

Sahte Küresel Isınma

RCM

Bölgesel İklim Modeli

RCP

Temsili Konsantrasyon Yolları

RMSE	Kök ortalama kare hatası
RRTMG	Hızlı Radyasyon Transfer Modeli
SenaryoMIP	Senaryo Model Karşılaştırma Projesi
Güney Doğru	Kesmenin standart hatası
Güney Doğru	Eğimin standart hatası
Güney Doğru	Kalan standart hata
Konuşma ve Dil Terapisi	Deniz seviyesindeki basınç
SNA	Yaz Kuzey Atlantik Salınımı
SPAEF	Mekansal Verimlilik
SSP	Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar
SST	Deniz yüzeyi sıcaklığı
BM Çevre Programı	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
U10	10 metrede doğuya doğru rüzgar bileşeni
V10	10 metrede kuzeye doğru rüzgar bileşeni
VTABLO	Değişken tablosu
Biz	Havza Çevre Hidroloji Modeli
WPS	WRF ön işleme sistemi
ÇF	Hava Durumu Araştırması ve Tahmini
WSM6	WRF-Tek-Anlık 6-Sınıf
YÜ	Yonsei Üniversitesi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Giriş

Çift Model Karşılaştırma Projesi yakın zamanda altıncı aşamadır (CMIP6), bu aşama selefi (CMIP5) üzerinde bir dizi yapı sunmaktadır, esas olarak doğal veya antropojenik süreçlerden kaynaklanan radyatif zorlama elemanlarının dağılımı anlamında (Eyring vd., 2016; Stouffer vd., 2017; Wyser vd., 2020). Buna göre, sera gazlarının (GHG) kantifikasyonu, aerosol zorlamasının sunumu (optik özellikler içeren) ve arazi kullanım değişiklikleri, hepsi de modellere zorlamada kullanılan, CMIP6 ile çeşitlilik göstermektedir (Eyring vd., 2016; Wyser vd., 2020). CMIP6 modelleri iki ana gruba ayrılabilir: 1) Model sağlayıcıları için yaygın ve zorunlu olan Klima Tanısı, Değerlendirmesi ve Karakterizasyonu (DECK) ve tarihsel simülasyon deneyleri; 2) DECK ve tarihsel simülasyonlarla koordinasyon halinde CMIP-Onaylı Model Karşılaştırma Projeleri (MIP'ler) (Eyring vd., 2016). Senaryo Model Karşılaştırma Projesi (ScenarioMIP), MIP'ler içindeki en önemli eylemlerden biridir ve en son emisyon ve arazi kullanım senaryoları tarafından sosyal ilerlemenin en son koşulları altında işletilmektedir, yani Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (SSP'ler) (O'Neill vd., 2016). CMIP6 SSP'leri en son emisyon eğilimlerini takip eder ve CMIP5'teki eşdeğerlerini (Temsili Konsantrasyon Yolları, RCP'ler) günceller (O'Neill vd., 2016; Bağçacı vd., 2021).

Öte yandan, bir dizi CMIP6 modeli, dünya iklim sistemi CO₂'yi iki katına çıkararak denge aşamasına ulaştığında dünya çapında ortalama sıcaklık artışı tepkisi olarak tanımlanan daha fazla denge iklim duyarlılığı (ECS) sergilemektedir.² (Stouffer ve diğerleri, 2017; Grose ve diğerleri, 2020). CMIP5 ve CMIP6 GCM'leri eşdeğer radyasyonun altında nominal olarak zorlanmış olsa da

Senaryolarda, CMIP6 bu yüzyılın sonuna kadar CMIP5'ten daha fazla ECS ve daha sıcak projeksiyonlar sunmaktadır (Grose vd., 2020; Wyser vd., 2020). Wyser vd. (2020) nedenini analiz etmiş ve reçeteli GHG'lerin ağırlıklarının ve dağılımlarının EC-Earth3-Veg GCM için daha sıcak projeksiyonda temel faktörler olduğunu belirtmiştir. CMIP6'daki GHG'lerin son koşulları ve aerosol-bulut etkileşimleri ile ilgili olarak, daha dirençli bulut geri bildirimi daha sıcak projeksiyonların ve daha fazla ECS'nin altında yatan faktör olabilir (Eyring vd., 2016; Gettelman vd., 2019; Forster vd., 2020; Grose vd., 2020). Sellar vd. (2020), ozon simülasyonlarını etkileşimli olarak ele almayan GCM'lerde model termodinamiği ile reçeteli ozon arasında tutarsızlık olduğunu belirtmiştir. Bu şekilde ECS tahmininin %10 oranında etkilenebileceğini eklediler. Bölgesel açıdan, RCP'ler ve SSP eşdeğerlerinde eşit miktarda radyatif zorlama mevcut olsa bile, gelecekteki projeksiyonlar aynı olmayacaktır çünkü RCP'ler eski koşullara göre geliştirilmiştir (van Vuuren vd., 2011; O'Neill vd., 2016; Bağçacı vd., 2021).

GHG emisyon senaryolarıyla ilişkili artan radyatif zorlamaya beklenen yüksek tepkisi nedeniyle Akdeniz bölgesi, ana iklim değişikliği sıcak noktalarından biridir (Giorgi, 2006). Ortalama yağışta keskin bir düşüş ve artan sıcaklıklarla birlikte değişkenlikte bir artış (daha uç noktalar gösterme eğilimi), bölgeyi doğal afetlere, yani sellere, çölleşmeye ve orman yangınlarına karşı savunmasız hale getirir. Son çalışmalar, Doğu Akdeniz Karadeniz'in (EMBS; burada, ~ 22-53 arasında tanımlıyoruz)°E ve 33-45 °N) bölgesinin güney ve batı kısımları, sıcak noktanın en ciddi şekilde etkilenen alanları arasındadır (Yılmaz ve Yazıcıgil, 2011; Barcikowska vd., 2018; Tuel ve Eltahir, 2020). Bölge oldukça yoğun nüfusludur ve buradaki insanlar içme suyu, tarım ve sanayi için yerinde su kaynaklarına güvenmektedir. Öte yandan, kuzeydoğu EMBS'de yıllık yağış toplamaları yüksektir ve miktar ve aşırılıklarda beklenen artış, mevcut taşkın risklerini artırabilir (Bağçacı vd., 2021). Doğuda, şu anda hissedilen iklim değişikliği etkilerinin, güneydoğu Türkiye, Suriye ve Irak'ı besleyen iki ana karla beslenen sınır ötesi nehre sahip olan Fırat-Dicle havzasının kar erimesi akış zamanlamalarını değiştirmesi beklenmektedir (Sen vd.,

2011; Yucel vd., 2015). Yukarı akış yayla alanlarında sıcaklıktaki artış ve yağıştaki azalma, kar örtüsü alanında ve kar suyu eşdeğerinde küçülmeye neden olur ve sonuçta daha erken kar erimesine ve yıllık akış toplamalarında azalmaya neden olur (Bozkurt ve Sen, 2013). Suriye'deki gibi iç savaş koşullarında yaşayan su stresi altındaki insanlar için hayati öneme sahiptir (Tuel ve Eltahir, 2020). Tüm bunlar, EMBS'nin mevcut ve gelecekteki iklimini bilimsel olarak çekici hale getirir ve dinamik olarak küçültülmüş ve yüksek çözünürlüklü projeksiyonlarını içeren en son küresel iklim modellerine (GCM'ler) odaklanan en son teknoloji araçlarla araştırılması gerekir. İlkbahar ve sonbahar mevsimleri EMBS boyunca kış ve yaz arasında geçişlidir, yani sonbahar mevsimi ayları yaz sonunu ve ilkbahar mevsimi kış sonu özelliklerini gösterir (Lionello vd., 2006); bu nedenle, yaz ve kış klimatolojisi aşağıda ana hatlarıyla belirtilecektir.

EMBS üzerindeki yaz (JJA) iklimi esas olarak düşük seviyede tutarlı kuzeyden gelen akış, yani Etesians ve orta ve üst troposferik çökme rüzgarlarının adiabatik ısınması tarafından soğuk hava taşınımının dengeleyici etkisi tarafından yönlendirilir (Ziv vd., 2004; Poupkou vd., 2011; Tyrlis ve Lelieveld, 2013; Barcikowska vd., 2019). İlki, Orta Doğu ile Orta ve Güneydoğu Avrupa arasındaki büyük ölçekli deniz seviyesi basınç dipolü ile karakterize edilir (Anagnostopoulou vd., 2014). Ortaya çıkan düşük seviyeli sirkülasyonlar, Ege Denizi üzerinde hunileme etkisiyle kesişir ve orta ve üst troposferik çökme ile güçlenir (Rodwell ve Hoskins, 2001; Barcikowska vd., 2019). İkincisi, Hint yaz muson çöl mekanizmasının bir parçasıdır (Rodwell ve Hoskins, 1996; Barcikowska ve diğerleri, 2019), çoğu Anadolu platosunu da içeren batı EMBS üzerinde güçlü bir sırt ile yağışı bastırır. Bununla birlikte, Kuzeydoğu Anadolu ve Kafkasya dağlık bölgeleri ve Karadeniz kıyıları (kuzeydoğu EMBS'de), orta (500 hPa) troposfer seviyesinde zayıf bir yükselişle çökmenin tampon bölgesinde yer almaktadır (Simpson ve diğerleri, 2015). Tipik Akdeniz ikliminin aksine, bu bölgeler tüm yıl yağışlıdır ve yumuşatılmış mevsimsellik gösterir. Barcikowska ve diğerleri (2019), 300 en sıcak ve

En soğuk olaylar. Yüzey ısınmasının, Simpson ve ark. (2015) tarafından önerilen tampon bölgeyi ortadan kaldıran Kuzeydoğu Anadolu ve Kafkaslar üzerinde orta troposferik çökme gelişimine yol açtığını gösterdiler. Yazarlara göre, yüzey ısınması ayrıca Doğu Akdeniz ve Arap Yarımadası üzerinde derinleşen ısı alçaklarına yol açıyor. Bu arada, Balkanlar ve Karadeniz üzerindeki artan deniz seviyesi basıncı, bu bölgelerdeki bağıl nemi ve yağışı bastırıyor. Ancak, deniz yüzeyi sıcaklığına odaklanmadılar ve yukarıda belirtilen bölgeler üzerinde karmaşık arazi kaynaklı yağış hakkında kapsamlı bir anlayış elde etmeyi engelleyen nispeten düşük çözünürlüklü bir model (yaklaşık 50 km yatay çözünürlüğe sahip GFDL CM2.5) kullandılar. Yazarlar ayrıca, yüzey ısınmasının Etesians'ın ve bir telebağlantı olan EMBS üzerindeki yaz Kuzey Atlantik Salınımı'nın (SNAO) dengeleyici etkilerinin üstesinden geldiğinin altını çiziyorlar. Bu nedenle, yukarıda belirtilen termal kökenli "dipol benzeri" formasyona karşı EMBS bölgesinin yerel dolaşım tepkisinin, daha ayrıntılı bir iklim modeliyle daha fazla araştırılması gerekmektedir.

Kışın (DJF) veya yağışlı mevsimde (NDJFM), Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), El Niño/Güney Salınımı (ENSO), Doğu Atlantik-Batı Rusya (EA/WR) telebağlantıları ve Doğu Asya ile Akdeniz çukurları arasındaki uzak bir bağlantı EMBS'nin iklim rejimini etkiler (Kadioğlu vd., 1999; Kutiel ve Benaroch, 2002; Xoplaki, 2002; Alpert vd., 2006; Trigo vd., 2006; Düzenli vd., 2018; Sen vd., 2019; Tuel ve Eltahir, 2020). NAO, Akdeniz kış iklimi için en çok çalışılmış ve en iyi belgelenmiş olanıdır. İzlanda'nın alçak ve Azor Adaları'nın yüksekleri arasındaki atmosfer kütlelerindeki büyük ölçekli tahterevalli, NAO, EMBS üzerindeki hakim rüzgar desenlerinin yönünü belirler. Artan (azalan) İzlanda basıncı, bölgenin batı ve güney kısımlarını yükselen (alçalan) sıcak (soğuk) hava ile nemlendiren (kurutan) güneybatı (kuzeydoğu) rüzgarlarına yol açar (Eshel ve Farrell, 2000; Xoplaki ve diğerleri, 2004; Türkeş ve Erat, 2006). Değişen bir iklimde, orta enlem fırtına yolunun beklenen kuzeye kayması ve NAO'nun pozitif fazıyla ilişkili yoğunlaşması, Akdeniz üzerindeki anormal sırtı destekler ve batı ve güney EMBS'yi kurutur

Kuzeydoğu rüzgarları (Ulbrich vd., 2006; Giorgi ve Lionello, 2008; Barcikowska vd., 2018; Tuel ve Eltahir, 2020; Bağçacı vd., 2021). Bu nedenle, Kuzey Atlantik sinoptik sistemlerinin yeni koşullarının, Akdeniz'deki en siklon aktif üç denizden birine, yani Ege Denizi'ne ev sahipliği yapan bölge üzerinde siklogenezi, dolayısıyla yağışı baskılaması bekleniyor (Trigo vd., 2002; Lionello vd., 2006; Tuel ve Eltahir, 2020). Bu tür koşullar yağışı azaltmıyor, aksine en siklon aktif denizlerden bir diğeri olan Karadeniz'e ev sahipliği yapan kuzey ve kuzeydoğu EMBS üzerindeki mevcut yoğun yağışları daha da artırıyor gibi görünüyor. (Trigo vd., 2002; Lionello vd., 2006; Şen vd., 2015; Barcikowska vd., 2018). Sık sık görülen siklonlar, batıya doğru konumlanmış üst bir çukurdan gelen girdap taşınımıyla ilişkili olarak burada tetiklenmektedir (Mastrantonas vd., 2021). Hakim rüzgar desenleri, bölgenin dik orografyasına doğru yamaç yükselmesini desteklemektedir (Önol, 2012). Ancak, Tuel ve Eltahir (2020), yüksek emisyon senaryosunda beklenen kara-deniz sıcaklık kontrastındaki bir azalmanın bir antisiklon üretebileceğini ve bölge üzerindeki yağışı baskılayabileceğini göstermiştir. Bölgesel etkilerin dışında, siklonlara termodinamik katkı dinamikten daha yüksek olabilir ve yaşam döngüsündeki değişiklikleri ve/veya gizli ısınma yoluyla siklonları canlandırmayı da yansıtabilir. Tartışmalara rağmen, yazarlar bu resmin yeterince benzetilmesi için yüksek çözünürlüklü iklim modelleri kullanılması gerektiği konusunda hemfikirdir. Yukarıda bahsi geçen ve EMBS'nin mevcut ve gelecekteki iklimini araştıran çalışmalarda 27 km'den daha ince yatay çözünürlük kullanılmamıştır.

En son CMIP6 ile birlikte yayınlanan bir dizi GCM bulunmaktadır, bunlardan bazıları CMIP5'teki muadil GCM'lerden daha yüksek yatay çözünürlüklere ve dikey seviye sayısına sahip olarak belirlenmiştir (yani IPSL-CM5A-LR, CMIP5'te 3,8x1,9 yatay çözünürlüğe ve 39 dikey seviyeye sahipken IPSL-CM6A-LR, 2,5x1,3 yatay çözünürlüğe ve 79 dikey katmana sahiptir) (Boucher vd., 2020). Bununla birlikte, CMIP6 GCM'leri hala bulut oluşumunu, toprak nem değişimini ve havza ölçekli hidrolojik döngülerde temel bileşenler olan konveksiyon ve orografi kaynaklı süreçleri simüle etmek için kaba çözünürlüklere (50 km'den daha ince değil ve çoğu 100 km nominal çözünürlüğün altında) sahiptir (Gorguner vd., 2019). Bu nedenle,

GCM'leri dinamik veya istatistiksel gibi uygun yöntemlerle küçültmek gerekir. İstatistiksel küçültme yöntemi, bölgesel gözlemleri GCM çıktılarıyla ilişkilendiren ve bu ilişkiyi gelecekteki iklim projeksiyonları için kullanan transfer fonksiyonuna dayanır (Fujihara vd., 2008; Guo vd., 2018; Gorguner vd., 2019; Garrido vd., 2020). İstatistiksel küçültme yöntemi hesaplama açısından ucuz olsa da, durağan iklim varsayımı ve fiziksel kuralların yokluğu yöntemi zayıflatır (Fujihara vd., 2008; Guo vd., 2018; Gorguner vd., 2019). Öte yandan, ana GCM'lerin benzer bir model fiziksel dinamik yapısında RCM'ler ile dinamik bir küçültme yöntemi geliştirilmiştir ve yöntem orografik yağış gibi küçük ölçekli süreçlerin çözülmesini sağlar (Fujihara vd., 2008; Guo vd., 2018; Garrido vd., 2020). Fiziksel ve dinamik olarak tutarlı bir şekilde yüksek çözünürlüklü iklim verileri elde etmek için durağan olmayan açık bir çözüm sağlar (Fujihara vd., 2008; Gorguner vd., 2019).

Ancak, GCM'lerin dinamik olarak küçültme süreci hesaplama açısından pahalıdır; bu nedenle, GCM'lerin performanslarını değerlendirerek veya tek tek GCM'leri ortadan kaldırmaktan kaçınan diğer örnekleme stratejileri kullanarak çoklu model topluluğu boyutunu azaltmak gerekebilir (McSweeney vd., 2015; Ahmed vd., 2019). Bu, iklim modelleme çalışmalarında zor bir zorluktur, çünkü iklim sisteminin doğal değişkenliği, emisyon senaryosu kapsamı ve CMIP GCM'leri arasındaki model tutarsızlıkları (yani, model fiziği parametrelendirmesi) gibi bir dizi belirsizlik GCM'lere eşlik eder (Overland vd., 2011). McSweeney vd. (2015), kötü performans gösteren GCM'lerin ortadan kaldırılmasının ve yüksek performans gösterenlerin seçilmesinin sorunlu olduğunu, çünkü kötü performans gösteren modellerin gelecekteki projeksiyonlarda başarısız olup olmayacağından emin olunamayacağını savundu (ayrıca bkz. Knutti, 2010; Knutti ve Sedláček, 2013). Öte yandan, Bayes yaklaşımına göre, tarihsel dönemde zayıf performans gösteren bir modelin gelecekteki dönemde başarılı olma şansı daha azdır; ancak, geçmişte yüksek performans gösteren modellerin başarı olasılığı daha yüksektir (Overland vd., 2011). Ancak yazarlar, model davranışının kritik özelliklerinin tanınıp değerlendirilebilmesi durumunda, belirli bölgelerde ve yaklaşımlarda seçim yönteminin daha makul olduğu konusunda hemfikirdirler (Overland vd., 2011; McSweeney vd., 2012).

Belirsizlik açısından GCM sayısını sınırlamaktan kaçınmak için, sözde küresel ısınma yöntemi (PGW) kullanılabilir. PGW son zamanlarda çeşitli dinamik küçültme çalışmalarında kullanılmış ve GCM sayısını hesaplama açısından verimli bir şekilde artırmıştır (Fujihara vd., 2008; Lauer vd., 2013; Dutheil vd., 2020; Hunt vd., 2020; Yu vd., 2020). En basit haliyle, yöntem GCM'lerin gelecekteki ve mevcut iklim verileri arasındaki ortalama farkların aylık ortalamalarını hesaplar ve bunları günümüz zorlama verilerine ekler (bu işleme günümüz zorlama verilerinin bozulması da denir) (Fujihara vd., 2008). Bu nedenle, GCM havuzunu tek tek dinamik küçültmeden daha kolay genişletir ve böylece farklı GCM kaynaklarından iklim değişikliği sinyalleri alarak belirsizlikleri azaltır. Genel olarak, GCM'lerin bireysel olarak dinamik olarak küçültülmesine karşı PGW yaklaşımının iki büyük avantajı ve bir büyük dezavantajı olduğu söylenebilir. Daha önce de belirtildiği gibi, ilk avantaj PGW yaklaşımının hesaplama açısından ucuz olması ve önemli bireysel GCM projeksiyonlarının dikkate alınmasına olanak tanınması, böylece ilgi alanı üzerinde daha kapsamlı iklim tahminleri vererek belirsizliklerin azaltılmasıdır (Fujihara vd., 2008; Lauer vd., 2013; Hunt vd., 2020). İkincisi, PGW yaklaşımının mevcut iklim verilerini kullanılan GCM'lerden gelen iklim değişikliği sinyalleriyle bozmaya ve bu bozulmuş verileri küçültmeye dayanmasıdır; bu nedenle, GCM sınır koşullarındaki önyargı düzeltilmesi gereksizdir (Lauer vd., 2013; Dutheil vd., 2020; Hunt vd., 2020). Dezavantajı, PGW yaklaşımının yerel hava desenleri ve değişkenlikleri (örneğin mezoskal sirkülasyonlar ve yıllık değişkenlik) ile iklim değişikliği arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri dikkate almaması ve sınır koşullarını değiştirmemesidir (Lauer vd., 2013; Yu vd., 2020). Benzer nedenlerden dolayı, Rasmussen vd. (2011) PGW tabanlı çalışmalarını sağlam senaryo tabanlı iklim değişikliği analizinden ziyade "dayatılan" bir ısınma analizi olarak nitelendirmiştir (Yu vd., 2020).

Bölgesel bir iklim modeli (RCM, burada Hava Araştırma ve Tahmin modeli, WRF) ile herhangi bir dinamik küçültme çalışmasına başlamadan önce, modelin güvenilirliğini belirlemek için gözlemlere dayalı olarak optimum model yapılandırması sağlanmalıdır (Argüeso ve diğerleri, 2011; Flaounas ve diğerleri, 2011). Model yapılandırması

Bazı fiziksel parametrelendirme şemalarının kombinasyonel bir şekilde seçilmesini içerir. Fiziksel seçeneklerin ilgi alanına ne kadar duyarlı olduğunu ve hangi fiziksel mekanizmaların diğerlerine hakim olduğunu anlamaya yardımcı olur. Uzun vadeli iklim değişikliği çalışmaları için bir temel sağlayabilir (Flaounas vd., 2011; Meyer ve Jin, 2017; Gorguner ve Kavvas, 2020). Ancak, McSweeney vd.'nin (2015) benzer argümanı burada da kullanılabildiğinden biraz zordur: Bugünün atmosfer fiziği seçeneklerinin gelecekte geçerli olduğundan nasıl emin olabiliriz? Burada yapılacak en iyi şey, modele çeşitli bölgesel iklim koşullarını tanıtmak için simülasyon süresini mümkün olduğunca uzatmaktır (Flaounas vd., 2011; Klein vd., 2015). GCM ölçekli simülasyonların küçültülmesine benzer şekilde, bazı belirsizlikler "kusurlu" zorlama ve referans veri kümelerinden kaynaklanmaktadır (Flaounas ve diğerleri, 2013; Klein ve diğerleri, 2015). Küçültme çözünürlüğü de bazı belirsizliklerin kaynağıdır, özellikle konveksiyon parametrelendirmesinin kullanılıp kullanılmadığı; ancak, özlü tutmak için "Literatür İncelemesi" bölümünde daha fazla bilgi sağlanacaktır.

CMIP6'nın (Annan vd., 2020) yenilikleri göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye alanını merkeze alarak EMBS gibi iklim değişikliği etkilerine en çok maruz kalma olasılığı olan bölgeleri yeniden değerlendirmek önemlidir. Özellikle Türkiye, subtropikal bölgenin Akdeniz makroklimatik bölgesinde yer almaktadır (Patrick, 2017). Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), çölleşmenin Türkiye'yi büyük ölçekte ve yüksek potansiyelle tehdit ettiğini ve etkilerinin orada zaten hissedildiğini ortaya koymuştur (Pinkerton ve Rom, 2014). CMIP6'nın eski versiyonlarından (yani, CMIP3 ve CMIP5) elde edilen gelecekteki iklim projeksiyonları, Türkiye ve EMBS üzerinde daha büyük ölçekte artan sıcak ve kurak koşullarla durumun daha da zorlaşacağını göstermektedir (Ulbrich vd., 2006; Önel ve Semazzi, 2009; Öztürk vd., 2015; Demircan vd., 2017; Barcikowska vd., 2019; Tuel ve Eltahir, 2020; Bağçacı vd., 2021). Bu tezin önemi bir sonraki bölümde daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

1.2 Çalışmanın önemi

Antropojenik iklim değişikliği, sera gazı emisyonları ve arazi kullanımı değişiklikleri gibi insan kaynaklı faaliyetlere karşı homojen olmayan bir doğa tepkisidir. Bu nedenle, doğal iklim değişkenliğinin yanı sıra, bu insan kaynaklı faaliyetler, özellikle Akdeniz gibi sıcak noktalarda, güvenilir projeksiyonlar elde etmek için iyi temsil edilmelidir. İnsan göç hareketleri iklim değişikliğine büyük ölçüde bağımlı hale gelebileceğinden, bu sıcak noktaların sosyoekonomik ve klimatolojik perspektiften (yani su kıtlığı, ekonomik kayıp, aşırı hava koşulları, doğal afetler) insan yaşanabilir bölgeler olarak kalıp kalmayacağını görmek önemlidir. Literatürde Türkiye ve büyük ölçekli EMBS için iklim değişikliği projeksiyonlarını ele alan az sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca, bu çalışmaların çoğu, son emisyon eğilimlerinin ve arazi kullanımı değişikliklerinin en son koşullara göre güncellenmediği eski CMIP sürümünü kullanmaktadır. Bu tez, literatürdeki boşluğu doldurarak hem kaba çözünürlüklü hem de ince çözünürlüklü ölçeklerde en son CMIP6 GCM'lerine odaklanmaktadır.

CMIP6'nın selefi CMIP5'e göre olası iyileştirmeleri, bilgimize göre Türkiye alanı için ilk kez yapılan kapsamlı bir performans karşılaştırma çalışmasında (Bağçacı vd., 2021) araştırılmıştır. Bu çalışma, orta ve yüksek menzilli senaryolar olan SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 altında Türkiye için son GHG emisyon bazlı gelecek projeksiyonlarını içermesiyle de öne çıkmaktadır. Bu tezin ikinci çalışması da, özellikle Türkiye alanı için yeni özelliklere sahiptir. Çok sayıda RCM fiziği seçeneği, ana model olarak en son teknoloji ERA5 yeniden analizinin dinamik olarak küçültülmesi yoluyla ülke üzerinde test edilmiştir. İkinci çalışmanın çıktıları (en iyi performans gösteren zamana ve bölgeye özgü konfigürasyonlar) yalnızca uzun vadeli iklim simülasyonları için değil, aynı zamanda kısa vadeli hava tahminleri için de çok değerlidir. Son çalışma, bugüne kadarki en yüksek çözünürlüklü iklim simülasyonlarının (bildiğimiz kadarıyla) Türkiye'nin merkezlendiği EMBS üzerinde bir RCM ile çalıştırıldığı tezin omurgasını oluşturmaktadır. Bu çalışma ayrıca CMIP6 GCM'nin dinamik küçültülmesi gibi diğer perspektiflerden de ilkleri içermektedir.

Gelecek dönem için ERA5 yeniden analizinin dinamik olarak küçültülmesi (aynı zamanda dünya çapında yapılan ilk çalışmalardan biridir) ve geriye dönük dönem için ERA5 yeniden analizinin dinamik olarak küçültülmesi.

1.3 Çalışmanın amaçları ve kapsamı

Bu tezin temel amaç ve kapsamı aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Büyük boyutlu model havuzlarını kullanarak Türkiye alanı üzerinde CMIP6 GCM'lerinin CMIP5 GCM'lerine göre performans iyileştirmesinin belirlenmesi.
- CMIP6 GCM'lerinin yağış ve yüzeye yakın sıcaklığın zamansal ve mekansal metrikler aracılığıyla simülasyonunda performans sıralamalarının ortaya konulması.
- Türkiye coğrafyasında orta (SSP2-4.5) ve yüksek (SSP5-8.5) emisyon aralıklarında gelecekteki iklimin tahmini ve istatistiksel olarak anlamlı değişimlerin kaba çözünürlükte gösterilmesi.
- Nispeten uzun bir dönem olan 2020 yılı dikkate alınarak optimum model konfigürasyonunun elde edilmesi için ERA5 yeniden analiz zorlayıcı veri seti ile bir WRF duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.
- WRF modeli ile yüksek çözünürlüklü retrospektif iklim veri setinin (6 saatlik sınır güncellemesi ve saatlik yüksek çözünürlüklü, 4 km, çıktı) elde edilmesi.
- Büyük ölçekli EMBS üzerinde topluluk tabanlı yüksek çözünürlüklü gelecek iklim projeksiyonlarının elde edilmesi, PGW bağlamında CMIP6 SSP5-8.5 senaryosuna dayandırılmıştır (dinamik olarak küçültülecek bir GCM topluluğu oluşturulurken ilk çalışmanın performans sıralamaları da dikkate alınmıştır).

1.4 Tezin tanımı

Bu tez üç ayaklı, birbiriyle ilişkili çalışmalardan oluşmaktadır:

İlk çalışma, Türkiye alanı için aylık yüzeye yakın sıcaklık ve yağış simülasyonunda en son CMIP6 GCM'lerinin performansını eski benzerleriyle (CMIP5 GCM'leri) karşılaştırarak incelemektedir. Bu karşılaştırmalı performans analizini yürütmek için büyük bir GCM havuzu kullanılmıştır, yani 36 CMIP5 GCM ve 33 CMIP6 GCM. İkinci olarak, en iyi performans gösteren dört CMIP6 GCM'si bir topluluk oluşturmak üzere seçilmiştir. Orta (SSP2-4.5) ve yüksek (SSP5-8.5) emisyon senaryoları altında Türkiye üzerindeki iklim değişikliği sinyalleri, üç gelecekteki dönem (2030-2050, 2050-2070 ve 2070-2100) ile başlangıç dönemi (1995-2014) arasındaki toplulukların çok yıllık mevsimsel ortalama farkları alınarak değerlendirilmiştir. Değişkenlerin uç eğilimleri de her iki CMIP GCM için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İlk çalışma 2021 yılında Atmosfer Araştırma Dergisi'nde yayımlandı (Bağçacı vd., 2021).

İkinci çalışma, nispeten uzun periyodu göz önünde bulundurarak optimum model fiziği yapılandırmasını elde etmek için ERA5 yeniden analiz zorlama veri kümesiyle bir WRF duyarlılık analizi gerçekleştirir. Mikrofizik, kümülüs ve planet sınır tabakası şemalarının toplam 60 model fiziği, 2020'de Türkiye alanı üzerinde bir kombinasyon halinde kullanıldı. Optimum fizik kombinasyonu daha sonra PGW tabanlı dinamik küçültme çalışmalarında kullanıldı.

Son çalışma, EMBS üzerinde PGW tabanlı WRF dinamik küçültmeyi gerçekleştirir. İlk çalışmaya göre en iyi performans gösterenler de dahil olmak üzere on üç nispeten yüksek çözünürlüklü GCM, SSP5-8.5 emisyon senaryosuna dayalı gelecek dönem için PGW zorlama veri setinde kullanıldı. Geriye dönük WRF simülasyonları, ERA5 yeniden analiz verileriyle zorlandı.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bu bölüm şu alt bölümlerden oluşmaktadır: “Türkiye çevresinde yapılan çalışmalar” ve “Dünya çapında yapılan çalışmalar”. “Dünya çapında yapılan çalışmalar” bölümü, “WRF duyarlılık çalışmaları” ve “WRF GCM küçültme çalışmaları” alt bölümlerine ayrılırken, “Türkiye çevresinde yapılan çalışmalar” da bu tür çalışmaları içermektedir ancak alt bölümlere ayrılmamıştır.

2.1 Türkiye çevresinde yapılan çalışmalar

Fujihara ve diğerleri (2008) Seyhan Havzası üzerindeki hidro-iklim değişikliği etkilerini hidroloji ve rezervuar modelleri ile değerlendirdiler. NCEP/NCAR yeniden analiz verilerini iki CMIP3 GCM'nin SRES A2 senaryo simülasyonlarının bozulmasıyla 8,3 km yatay çözünürlüğe küçültmede PGW yaklaşımını kullandılar. Daha sonra, küçültülmüş verileri hidroloji ve rezervuar modellerine girdi olarak kullandılar ve su mevcudiyetini incelemek için bir su kullanım senaryosu geliştirdiler. Yazarlara göre, su talebi artmazsa havzanın su kaynakları yeterli olacaktır. Ancak, sulama alanı artarsa, bölgede su kıtlığı yaşanmasını bekliyorlar.

Bozkurt ve diğerleri (2012) 1961-1990 yılları arasında Doğu Akdeniz ve Karadeniz bölgeleri için CMIP3 altında üç GCM'yi dinamik olarak küçülttü ve değerlendirdi. Ayrıca bölgesel iklim modeli değerlendirmesinde referans veri seti olarak NCEP/NCAR yeniden analiz verilerini küçülttüler. Yeniden analizi ve GCM'leri dinamik olarak 27 km yatay çözünürlüğe küçültmek için RegCM3 modelini kullandılar ve küçültülmüş GCM'yi CRU ve Türkiye Devlet Meteoroloji Servisi iklim verileriyle değerlendirdiler. Yazarlar, GCM'lerin performans değerlendirmesinin

küçültülmüş çıktılarıyla iklim değişikliği projeksiyonlarının bölgesel bazda güvenilirliğini ve doğruluğunu artıracaktır. Tüm kullanılan GCM'lerin kış yağışlarını ve sıcaklığını simüle etmede önemli ölçüde yetenekli olduğu sonucuna vardılar, ikisi de benzer yaz performansı gösteriyor. Çalışmada kullanılan ECHAM5, CCSM3 ve HadCM3 GCM'lerinin sonuçlarının, bölge üzerindeki gelecekteki iklim değişikliği etki çalışmaları için küçültülmesini önerdiler.

Bozkurt ve Sen (2013), Fırat-Dicle Havzası üzerinde bir hidro-iklim değişikliği etki değerlendirme çalışması yürütmüş, özellikle 2071-2099 ve 1961-1990 arasındaki kış mevsimi değişikliklerine odaklanmışlardır. Önceki çalışmalarındaki aynı GCM'lerin senaryo simülasyonlarını aynı yatay çözünürlüğe küçültmüşlerdir (Bozkurt ve diğerleri, 2012). Havzada istatistiksel olarak anlamlı bir sıcaklık artışı ve kar-su eşdeğerinde bir azalma öngörmüşlerdir. Buna göre, yüzey akışının havzanın kaynak sularında 18 ila 39 gün önce gerçekleştiğini öngörmüşlerdir.

Yücel vd. (2015) Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki on ani sel olayını WRF-Hydro modelini kullanarak değerlendirmiştir. Yağış tahminlerini, veri asimilasyonu olan ve olmayan sayısal hava tahmin modeli (WRF) (Yücel ve Önen, 2014) ve EUMETSAT Çok Sensörlü Yağış Tahminleri'nden (MPE'ler) elde etmişlerdir. WRF-Hydro modelini iki olayla kalibre etmişler ve model performansını kalan olaylarla değerlendirmişlerdir. Fırtına yağış özelliklerini daha iyi temsil etmeleri nedeniyle, akış simülasyonlarının, özellikle veri asimilasyonu yapılmış olanla, WRF model simülasyonlarıyla iyileştirildiğini bulmuşlardır. MPE tabanlı akış simülasyonlarının, yağıştaki kuru eğilimi nedeniyle zayıf performans gösterdiğini eklemişlerdir. Sonuç olarak, kalibre edilmiş WRF-Hydro akış simülasyonlarının, WRF yağış simülasyonlarıyla RMSE'yi yaklaşık %22 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Veri asimile edilmiş veri ile kullanıldığında RMSE'deki azalmanın %37 civarında olduğu görülmüştür.

Gorguner ve diğerleri (2019), dört CMIP5 GCM'yi dinamik olarak küçülterek Gediz Havzası'ndaki su kaynakları üzerindeki gelecekteki iklim değişikliği etkilerini araştırdı.

Hava Durumu Araştırma ve Tahmin modeli (WRF) ve küçültülmüş iklim verilerinin çıktılarını Havza Çevresel Hidrolojisi modeli (WEHY) için girdi olarak kullandılar. Gelecekteki projeksiyonlar için her dört GCM'nin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarını kullandılar. Topluluk yaklaşımının, seçilen GCM'lerin neden tercih edildiğini açıklamasa da, gelecekteki projeksiyonların güvenilirliğini artıracaklarını iddia ettiler. Havzadaki rezervuara öngörülen gelecekteki girişleri etkileyen ana modeller (GCM'ler) arasında büyük bir model içi değişkenlik buldular ve öngörülen çıktıların topluluk ortalamasının bu yüzyıl boyunca azalan bir eğilimle yıllık ortalama girişlerde bir artış gösterdiği sonucuna vardılar.

Gorguner ve Kavvas (2020), çalışmalarını (Gorguner vd., 2019) Gediz Havzası üzerindeki rezervuar-depolama seviyelerindeki ve su taleplerindeki gelecekteki değişiklikleri dinamik su dengesi modeli ile araştırmak için daha da genişlettiler. RCM (WRF-küçültülmüş) ve hidrolojik model (WEHY) simülasyonlarının çıktılarını (Gorguner vd., 2019) dinamik su dengesi modeline girdi olarak kullandılar. Ayrıca, rezervuar çıkış bileşenleri olan ürün buharlaşma transpirasyonunu ve rezervuar buharlaşmasını tahmin etmek için FAO56 Penman-Monteith yöntemini (Allen vd., 1998) kullandılar. Bölgedeki sulama bazlı su taleplerinin, özellikle daha yüksek buharlaşma transpirasyon oranına sahip RCP8.5 senaryosu altında önemli ölçüde artacağını beklediler. Yazarlar, rezervuar-depolama seviyelerinin bu yüzyılın sonuna doğru, özellikle sulama sezonu olarak alınan yaz aylarında sulama gereksinimlerini karşılamayacağı sonucuna vardılar.

Duzenli ve diğerleri (2021), Türkiye'nin Doğu Karadeniz ve Akdeniz bölgeleri üzerinde sekiz farklı aşırı yağış olayını yeniden üretmede WRF model parametrelendirme şemalarının ve zorlama veri kümelerinin bir hassasiyet analizini gerçekleştirdiler. Başlangıç ve yanıl sınır koşulları olarak ERA5 ve Küresel Tahmin Sistemi (GFS) verilerini kullandılar ve bunları iki iç içe geçmiş etki alanı ile 9 km ve 3 km yatay çözünürlüğe düşürdüler. Belirli performans kriterlerine göre, yazarlar alt topluluk üyelerini seçtiler ve modeli sekiz olaydan dördü ile doğruladılar. Sonuç olarak, sonbahardaki yağış simülasyonlarının mikrofizik şemalarına en duyarlı olduğunu belirttiler. Gezegenel sınır tabakasının ve kümülüs

şemalar esas olarak yağış olaylarının zamanlamasını ve konumunu yönetir. Akdeniz bölgesinde küçültülmüş GFS simülasyonlarının küçültülmüş ERA5 simülasyonlarından daha iyi performans gösterdiğini, Doğu Karadeniz bölgesinde ise tam tersinin olduğunu buldular. Yazarlar, ERA5 yeniden analizinin çözünürlüğünün iyileştirilmesinin özellikle engebeli bölgelerde yağışın daha iyi tahminlerini sağladığı sonucuna vardılar.

Yukarıda belirtilen uzun vadeli iklim simülasyonlarına odaklanan çalışmalar, Türkiye alanı için konveksiyona izin veren ölçekten (4 km) daha kaba bir çözünürlükte CMIP6'nın önceki sürümleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha yüksek çözünürlük kullananlar kısa süreler için gerçekleştirilmiştir. Bu tez, yalnızca Türkiye için değil, aynı zamanda EMBS için de uzun vadeli çok yüksek çözünürlüklü iklim simülasyonları sağlar. Bu nedenlerden dolayı, bu tez, yalnızca Türkiye için değil, aynı zamanda EMBS için de en son GCM'leri dinamik olarak küçülten uzun vadeli, çok yüksek çözünürlüklü iklim simülasyonları sağlaması açısından literatürde bir ilktir.

2.2 Dünya çapında yapılan çalışmalar

2.2.1 WRF duyarlılık çalışmaları

Flaounas ve ark. (2011) 2006 yaz Batı Afrika musonunu simüle etmek için WRF modelinin üç konvektif parametrelendirme şemasının ve iki gezegensel sınır tabakası şemasının duyarlılığını analiz etti. Zorlama veri seti olarak 1° mekansal çözünürlüğe sahip son küresel analizi (FNL) kullandılar ve altı saatlik aralıklarla güncellenen 50 km yatay çözünürlüğe düşürdüler. Yer gözlemlerine, radyosondalara, GPS istasyonlarına ve uydu verilerine göre optimum model yapılandırmasını doğruladılar. Yazarlar sıcaklık, yağış ve nem simülasyonlarının gezegensel sınır tabakası şemasına en yüksek duyarlılığa sahip olduğu sonucuna vardılar. Öte yandan, yağışın değişkenliği çoğunlukla konveksiyon parametrelendirme şemasından etkilenmektedir. Özellikle, Kain-Fritsch'in (konveksiyon parametrelendirmesinde) ve Mellor-Yamada-Janjic'in (gezegensel

Batı Afrika musonunun zamansal değişkenliğini daha iyi temsil etmeleri nedeniyle, sınır tabakası parametrelendirmesi (sınır tabakası parametrelendirmesi) şemalarının kombinasyonları.

Pohl ve ark. (2011), 1999 verileriyle Ekvator Doğu Afrikaşı üzerindeki fiziksel şemalar, radyasyon ve kara yüzeyi şemaları ve yanal ve düşey sınır koşulları da dahil olmak üzere WRF model parametrelerinin kapsamlı bir duyarlılık analizini gerçekleştirdiler. Modeli dört sette 58 farklı kombinasyon deneyi için çalıştırdılar ve ERA-Interim ve ERA40 yeniden analiz verilerini her deney için 36 km çözünürlüklü ana etki alanına ve daha sonra 12 km çözünürlüklü yuvalanmış etki alanına düşürdüler. Yazarlar, model yapılandırması değerlendirme sürecinde yer gözlemlerini ve Küresel Yağış İklimi Projesi (GPCP) veri kümelerini kullandılar. Farklı WRF model yapılandırmalarından kaynaklanan belirsizliklerin önyargılardan daha önemli olduğunu buldular. Yağış simülasyonlarının doğruluğunun esas olarak kısa dalga radyasyon şeması tarafından yönetildiği ve bulut mikrofiziği ve gezegensel sınır tabakası şemalarından mevsimsel ölçüde daha az etkilendiği sonucuna vardılar.

Argüeso ve ark. (2011) kümölüs, mikrofizik ve gezegensel sınır şemalarının kombinasyonlarının duyarlılığını Endölüs üzerinde değerlendirdiler. 1990-1999'a ait 10 km yatay çözünürlüklü iklim verilerini elde etmek için altı saatlik sınır koşullarıyla ERA-40 yeniden analiz verilerini kullanarak WRF modelini zorladılar. Yazarlar hem model duyarlılık sonuçlarını değerlendirmek hem de yağış ve sıcaklığı iklimsel olarak bölgeselleştirmek için çok sayıda yer gözlemi kullandılar. WRF tarafından yapılan yağış simülasyonlarının gezegensel sınır tabakasına ve kümölüs şemalarına karşı oldukça hassas olduğu sonucuna vardılar. Buna karşılık, mikrofizik şemasının yağış simülasyonları üzerinde dikkate değer bir etkisi yoktur. Öte yandan, tüm kombinasyonlarla sıcaklığı yansıtmada benzer sonuçlar buldular; ancak, gezegensel sınır tabakası şeması seğiminin minimum değerleri etkilediğini eklediler. Sonuç olarak, WRF ölçek küçültme simülasyonlarının kendi başlarına bölgenin iklim çizimini iyileştirdiğini vurguladılar.

Li ve diğerleri (2014), güneydoğu Amerika Birleşik Devletleri'ni simüle etmede WRF modeli fiziksel parametrelendirme şemalarının ve ölçek küçültme çözünürlüklerinin hassasiyetini araştırdı

yaz yağışı. Bölge üzerinde uzun vadeli iklimi yeniden üretmek için optimizasyon kriterine göre 01 Ağustos 15, 2009'u bir simülasyon dönemi olarak seçtiler. Yazarlar, 0,5° mekansal ve altı saatlik zamansal çözünürlüklere sahip iklim tahmin sistemi yeniden analizi (CFSR) verilerini kullandılar ve konveksiyona izin veren ve konveksiyon parametreli deneyler için sırasıyla 3 km ve 15 km'ye düşürdüler. Karşılaştırma ve değerlendirme süreçlerinde iklim tahmin merkezinin (CPC) ızgaralı gözlemlerini kullandılar. WRF simülasyonlarının kümülüs şeması parametrelendirmesinden (mikrofizik şeması parametrelendirmesi) daha fazla (daha az) etkilendiğini belirttiler. İlginç bir şekilde, konveksiyona izin veren simülasyonların Zhang-McFarlane şemasıyla konveksiyon parametrelendirme simülasyonlarından önemli ölçüde daha iyi performans göstermediğini buldular.

Flaounas ve ark. (2011) ile benzer şekilde, Klein ve ark. (2015) üç WRF model fiziksel şemasının Batı Afrika musonuna karşı duyarlılığını araştırdı, ancak 1999 yağmur mevsimi için. Her şema için topluluk ve alt topluluk yaklaşımlarıyla üç parametrelendirme kullandılar ve modeli altı saatlik zamansal ve 0,75° yatay çözünürlükte ERA-Interim yeniden analiz verileriyle zorladılar. Yazarlar, ERA-Interim verilerinin 24 km yatay çözünürlüğe düşürülmesinin karşılaştırma ve doğrulama süreçlerinde uydu ve gözlem verilerini kullandılar. Sonuç olarak, mikrofiziğin ve gezegensel sınır tabakası şemalarının toplam yağışın yayılmasını esas olarak etkilediğini öne sürdüler. Daha gelişmiş mikrofizik şemasının, artan gizli ısı salınımı nedeniyle daha fazla yağışa neden olduğunu iddia ettiler. Öte yandan, gezegensel sınır tabakası şemasının yağmur bandı konumunu, kümülüs şemasının ise aşırı yağışın konumunu yönettiğini eklediler.

Karki ve diğerleri (2017), ERA-Interim verilerini 25, 5 ve 1 km yatay çözünürlüğe düşürerek, merkezi Himalaya bölgesi üzerinde bir yıllık bir deney (2014 ve 2015 arasında) için konveksiyon parametreli ve konveksiyona izin veren WRF simülasyonlarının performansını analiz etti. İkincisi konveksiyonun gri bölgesine düşmesine rağmen, 1 km ve 5 km çözünürlük için kümülüs parametrelendirme şemasını kapattılar (Molinari ve Dudek, 1992; Klein ve diğerleri, 2015; Karki ve diğerleri, 2017). Yazarlar esas olarak günlük ve mevsimsel yağış modeline odaklandılar

(muson dahil) ve bölgedeki sıcaklık. Yazarlara göre, 1 km çözünürlüklü simülasyonlar muson yağışını tahmin etmede diğerlerinden daha iyi performans gösteriyor, ancak tüm simülasyonlar bölgedeki batı kaynaklı rahatsızlıklardan kaynaklanan yağışı abartıyor. Tüm simülasyonların çoğunlukla sıcaklığı iyi tahmin ettiğini; ancak hepsinin yüksek (düşük) rakımlı bölgelerde soğuk (sıcak) bir eğilimi olduğunu belirttiler. 1 km çözünürlüklü simülasyonların ayrıca mevsimsel ve günlük yağış modellerini ve bunların en yüksek zamanlamalarını yeniden üretmede diğerlerinden daha iyi performans gösterdiğini eklediler.

Posada-Marín ve diğerleri (2019), Kolombiya And Dağları üzerindeki konvektif parametrelili ve konveksiyona izin veren simülasyonların hassasiyetini araştırdı. ERA-Interim verilerini 1998-2012 yılları arasındaki bireysel ENSO fazları için iki iç içe geçmiş etki alanı ile 30 km ve 10 km'ye düşürdüler. Konveksiyona izin veren simülasyonlar için 2009-2010 El Niño olayı için çözünürlüğü 3,3 km'ye kadar artırdılar. Yazarlar, model yapılandırma sürecini değerlendirmek için yer ve izgaralı gözlemler kullandılar; ayrıca, küçültme sürecinde iyileştirmeler olup olmadığını görmek için orijinal ERA-Interim verilerini (küçültülmemiş) kullandılar. Yazarlar, ERA-Interim yeniden analizinin yağışı yeniden üretmediğini ve El-Niño'nun kurak mevsimi boyunca pozitif önyargılara sahip olduğunu belirttiler. Bu yetersizliğin topografyanın zayıf temsilinden kaynaklandığını ve bir dereceye kadar küçültmeyle ortadan kaldırılabileceğini belirttiler. Ayrıca konveksiyon parametrelendirme şemasının seçilmesinde düşük hassasiyet olduğunu ve konveksiyona izin veren simülasyonların yağışın mekansal temsilini iyileştirdiğini belirttiler.

Kouadio ve diğerleri (2020), 2014 Batı Afrika musonu boyunca WRF model parametrelendirme şemalarının hassasiyet analizini yaptı ve esas olarak Gine kıyısı ve çevre bölgelerine odaklandı. Batı Afrika musonuyla ilgili daha önce atıfta bulunulan makalelerden farklı olarak, yazarlar ayrıca konveksiyona izin veren (4 km yatay çözünürlüğe kadar ölçekleme) ve konveksiyon parametrelili simülasyonları test etti ve karşılaştırdı. İki deneylerinde, iç alanların her ikisinin de 4 km yatay çözünürlüğe sahip olduğu ve dış alanların 20 ve 24 km yatay çözünürlüğe sahip olduğu iki iç içe geçmiş alanda ERA-Interim yeniden analiz verilerini kullandılar. Son olarak, WRF'nin ince çözünürlüklü çıktılarını yer

gözlemler, uydu ve yeniden analiz verileri. Konveksiyona izin veren simülasyonların, konvektif parametrelili simülasyonlardan daha çok bölgedeki aşırı yağış olaylarını temsil ettiği sonucuna vardılar. Gezegenel sınır tabakası şemasının, konvektif parametrelili simülasyonlarda mikrofizik şemasından daha fazla yağış dağılımını etkilediğini eklediler; ancak, yalnızca bir mikrofizik şeması test edildi. Öte yandan, her iki şemanın da konveksiyona izin veren simülasyonlar üzerinde daha az etkisi olduğunu belirttiler.

Yukarıda bahsi geçen çalışmalarda, ilerleme sırasında güncellenen ana modeller olarak yeniden analizin eski versiyonları kullanılmıştır. Son teknoloji süper bilgisayarların yardımıyla dinamik küçültme çalışmalarımızda daha yüksek çözünürlükleri hedeflemek için daha iyi bir fırsatımız var. Ayrıca, yazının yazıldığı tarihte Türkiye alanı için uzun vadeli, yüksek çözünürlüklü duyarlılık çalışmaları ile karşılaşmamıştır. Bilgimize göre, bu tezdeki duyarlılık testleri Türkiye için ilk kez çok yüksek çözünürlük ve çok sayıda model fiziği kombinasyonu sunmaktadır.

2.2.2 WRF GCM dinamik küçültme çalışmaları

Lauer ve ark. (2013), 10 CMIP5 GCM tarafından bozulan bireysel olarak küçültülmüş iklim simülasyonlarının ortalaması ile aynı GCM'lerin çoklu model topluluğu tarafından bozulan yalnızca bir küçültülmüş iklim simülasyonu arasındaki belirsizlikleri değerlendirmek için PGW yaklaşımıyla karşılaştırmalı bir çalışma yürüttüler. Çalışma alanları Hawaii bölgesiydi ve Hawaii iklimini simüle etmek için WRF modelinin özel olarak yapılandırılmış bir versiyonu olan Hawaii bölgesel iklim modelini kullandılar. Çözünürlüğü 15 km'ye çıkardılar ve gelecekteki simülasyonlar için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarını kullandılar. Sonuç olarak, yağış değişikliklerini ve 10 m rüzgar hızını simüle etmede daha yüksek model içi değişkenliğe rağmen, ortalama bireysel simülasyonlar ve topluluk simülasyonlarının 2 m sıcaklığa ek olarak bu değişkenleri simüle etmede iyi bir uyum içinde olduğunu belirttiler. Ayrıca 2 m sıcaklığının simülasyonunda RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları arasında yüksek ölçeklenebilirliğin bulunduğunu, ancak yağış ve 10 m rüzgar hızı için bunun söz konusu olmadığını belirtmişlerdir.

Flaounas ve diğerkleri (2013), Akdeniz üzerindeki siklonları ve yüzey rüzgarlarını ERA-Interim yeniden analizi, IPSL-CM5 GCM (CMIP5 altında) ve WRF modelini kullanarak 50 km'lik ölçeklendirilmiş simülasyonları ile değerlendirdi. Yazarlara göre, model çözünürlüğünün iyileştirilmesi, sabit topoğrafik özelliklerin daha iyi temsil edilmesini sağlıyor ve böylece bölgenin topoğrafya kaynaklı siklogenez aktivitelerini temsil etmede önemli bir katma değer sağlıyor. Ancak, IPSL-CM5 ile hafife alınan siklogenez aktivitelerinin, ölçeklendirme simülasyonlarına esas olarak incelenen bölgenin nispeten küçük olması ve ölçeklendirme sürecinde ana modelin "yanlış" büyük ölçekli sirkülasyonlarından etkilenmesi nedeniyle yayıldığını eklediler.

Hong ve Ahn (2015), HadGEM2-AO modelinin (CMIP5 altında) iki senaryo projeksiyonunu WRF ile 12,5 km çözünürlüğe düşürerek kuzeydoğu Asya üzerindeki gelecekteki (2071-2100) yaz başı yağış beklentilerini incelediler. Simülasyonları, aşırı yağışın artacağını ve meridyenal olarak göç eden yağmur bandının Kore yarımadası üzerinde on gün daha erken kendini göstereceğini gösterdi. Yarımada ve çevre bölgelerdeki toplam yağıştaki artışın kaynağını, yağış türlerini iki kategoriye ayırarak araştırdılar: 1) Konvektif ve 2) Konvektif Olmayan. Yazarlara göre, toplam artışta konvektif yağış, konvektif olmayan yağışa baskın geliyor. Bunun nedeni, nemli kutuplara doğru akışın ve nemli statik kararsızlığın artması, buna karşın konvektif olmayan yağışa bağlı durağan cephedeki değişimin önemsiz olmasıdır.

Wang ve Kotamarthi (2015), CMIP5 temsili konsantrasyon yolları (RCP'ler) altında CCSM4'ün iki senaryosuyla Kuzey Amerika'nın gelecekteki yağış projeksiyonlarını aradılar. Herhangi bir iyileştirme olup olmadığını kontrol etmek için WRF'nin ölçek küçültme sürecinde CCSM4'ün önyargı düzeltilmiş ve düzeltilmemiş varyantlarını kullandılar. Yazarlara göre, hangi varyant kullanılırsa kullanılsın, WRF ölçek küçültme simülasyonları genellikle önyargıları azaltır ve yağışın mekansal temsilini yükseltir. Gelecekteki projeksiyonları, güneybatı (doğu) ABD'de yağış yoğunluğunda bir azalma (artış) göstermektedir. Beklenen yaz yağış değişikliklerinin ana model (CCSM4) ve WRF model çıktıları arasında önemli ölçüde farklı olduğu sonucuna vardılar.

Chang ve diğeri (2016), ABD üzerindeki sağanak yağışların boyut, yoğunluk, süre ve sıklık gibi uzaysal-zamansal özelliklerini ve iklim değişikliği nedeniyle yağışta beklenen değişikliğe yanıt olarak ortaya çıkan "telafi mekanizmasını" araştırdılar. CCSM4 tarihsel (1995-2004) ve RCP8.5 tabanlı gelecekteki (2085-2094) simülasyonlarını 12 km yatay çözünürlüğe düşürmek için WRF modelini kullandılar. PGW yaklaşımına benzer ancak daha karmaşık bir yaklaşımla, NCEP Aşama IV analiz verilerini (bu çalışmada gözlem olarak kullanılmıştır) RCP8.5 projeksiyonundan türetilen yağış özelliklerindeki istatistiksel olarak tanımlanmış değişikliklerle birleştiren bir model geliştirdiler. Ayrıca, kümeleme algoritmasına dayalı sağanak yağışları belirlemek ve izlemek için bir yaklaşım geliştirdiler ve birincil "telafi mekanizmasının" fırtına boyutundaki azalma olduğu sonucuna vardılar; bu nedenle, sel etkileri yalnızca yoğunluğa bağlı olanlardan daha küçük olacaktır.

Meyer ve Jin (2017), CCSM4 RCP6.0'ın gelecekteki projeksiyonlarını 1) küçültülmüş ve 2) önyargı düzeltilmiş ve küçültülmüş Kuzey Amerika muson çıktılarıyla 2068-2099 yılları arasında karşılaştırdılar. Her iki çıktıyı da 20 km yatay çözünürlüğe küçültmek için daha önce Meyer ve Jin (2016) tarafından optimum fiziksel parametrelendirme ile kalibre edilen WRF modelini kullandılar. Yazarlara göre, çözünürlüğü artırmak, ekstra yüzey buharlaşması yoluyla daha sıcak bir troposferin bastırılmış konveksiyon ortamının üstesinden gelir. Ayrıca, kara-deniz sıcaklık gradyanını iyileştirerek daha yüksek güçlü güney rüzgarları yoluyla nem taşınmasını artırır. Önyargı düzeltme sonuçlarına gelince, bunun atmosfer termodinamiğinin mevsimselliğini daha doğru bir şekilde temsil ettiği ve bölge üzerinde daha güçlü bir muson sinyali verdiği sonucuna vardılar.

Erler ve Peltier (2017), CESM modelini farklı üç başlatma ile küçülterek WRF modelini kullanarak Batı Kanada'daki iki havza üzerinde bir iklim değişikliği etkisi çalışması yürüttüler. Her başlatma için iki WRF model yapılandırması kullandılar ve bunların topluluklarını oluşturdular. Yatay çözünürlüğü iki iç içe geçmiş alanla 10 km ve 30 km olarak ayarladılar ve gelecekteki projeksiyonlar için RCP8.5 senaryosunu kullandılar. Sonuç olarak, kardan yağmura büyük ölçüde bir geçiş, daha zayıf ilkbahar selinin ve daha kuru yazların hakim olduğunu belirttiler.

Isınma nedeniyle kıyı havzalarında meydana gelen yağışların azaldığını belirten uzmanlar, aynı bölgede sonbahar aylarında meydana gelen seller için akıntı mevsimselliğindeki değişimin risk artırıcı bir faktör olduğunu da sözlerine ekledi.

Zhang ve Colle (2018), dinamik küçültme sürecinin doğu Kuzey Amerika ve batı Atlantik'teki tropikal olmayan siklonlar üzerindeki etkisini araştırdı. İki CMIP5 GCM'yi 1'e küçültmek için WRF modelini kullandılar ve 0.2° Tarihsel (1986-2005) ve gelecekteki (2080-2099) kış projeksiyonlarını yeniden üretmede yatay çözünürlükler. Yazarlar, siklonların oluşum pozisyonunun ve oranının GCM'ye bağlı olduğunu (yani geniş kapsamlı dolaşım ile ilişkili olduğunu) ve bu nedenle küçültme sürecinde neredeyse aynı kaldığını ileri sürdüler. Öte yandan, bir RCM (burada WRF) aracılığıyla model çözünürlüğünü artırmanın siklon yoğunluğundaki önyargıyı azalttığını buldular.

Zhang ve diğerleri (2019), CCSM4'ü tarihsel dönem (1980-2005) ve CCSM4 RCP4.5 ve RCP8.5'i gelecekteki dönem (2010-2100) için küçülterek WRF modelini kullanarak Tibet Platosu üzerindeki nem akısını parçalı olarak analiz ettiler. Küçültme çözünürlüğünü (yatay) 30 km'ye ayarladılar ve referans olarak GLDAS ve ERA-Interim yeniden analiz verilerini kullandılar. Çözünürlüğü iyileştirmenin yağış ve buharlaşmayı mekansal olarak daha iyi temsil ettiğini ve yıllık ortalamanın mevsimsel ortalaması için daha doğru sonuçlar verdiğini buldular. Yazarlar ayrıca dinamik bileşenin, tarihsel ve gelecekteki projeksiyonlarda WRF ile yağış ve buharlaşma arasındaki farkı yönettiğini buldular. Bunun aksine, termodinamik bileşenin ana modelin gelecekteki projeksiyonlarını yönettiğini iddia ettiler ve WRF simülasyonlarının ısınmaya karşı daha az hassas olduğu sonucuna vardılar.

Dutheil ve diğerleri (2020), RCP8.5 senaryosu altında CMIP5 çoklu model topluluğuna PGW yaklaşımını kullanarak Yeni Kaledonya üzerindeki gelecekteki yağış koşullarını (2080-2100) araştırdı. Günümüz iklimini (2000-2016) simüle etmek ve NCEP2 yeniden analizini sırasıyla 21 km ve 4,2 km yatay çözünürlüklere düşürmek için WRF modelini kullandılar. Deniz yüzeyi sıcaklığı (SST) önyargılarından kaçınmak için, mevcut yağışı

Yazarlara göre, simülasyonları bölge üzerinde herhangi bir önemli yağış değişikliğini tahmin etmeyen CMIP5 modellerinin aksine yağışta %18'lik bir azalma öngörüyor. Öte yandan, SST'nin önyargı düzeltmesinin Yeni Kaledonya üzerindeki yağış projeksiyonlarında nitel açılardan bir ayarlamaya yol açmadığını savundular.

Hunt ve diğerleri (2020), konveksiyona izin veren WRF simülasyonları ile Batı Himalayalar üzerindeki belirli 40 olayı ele alarak batıdaki bozulmaların geçmişini, bugününü ve geleceğini araştırdı. PGW yaklaşımını izlediler ve 32 CMIP5 GCM'nin çoklu model topluluğunun RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından türetilen iklim değişikliği sinyalleriyle ERA-Interim yeniden analiz verilerini bozdular. Net yağışın sanayi öncesi ve kontrol deneyleri arasında değişmediğini, ancak yağış formunun kontrol çalışmalarında kardan yağmura değiştiğini gözlemlediler. Net yağışın artacağını ve ortalama donma tabakasının günümüz ve RCP8.5 çalışmaları arasında (rakımda) 660 m daha tırmanacağını eklediler. Sonuç olarak, yazarlar tropikal atmosferin nemlenmesinin, böylece bölgeye nem akışı girişini artırmasının batıdaki bozulmalardaki zayıflamayı bastırabileceğini ve net toplam yağış artışına katkıda bulunabileceğini ileri sürdüler.

Zhao ve ark. (2020) yaz mevsimi için Kaliforniya üzerinde iki aşamalı bir iklim projeksiyon çalışması yürüttüler. İlk aşama, CMIP5 CESM model sapmalarının (temel gerçek olarak NARR yeniden analiz verilerine dayalı) "geliştirilmiş doğrusal sapma düzeltme yöntemi" ile ayarlanmasını içerir. Sonrasında, sapma düzeltmesiyle ve sapma düzeltmesi olmadan CESM verilerini (WRF tarafından) küçülttüler ve sapma düzeltilmiş model çıktılarını doğruladılar. İkinci aşama, gelecek dönem olan 2046-2055 için CESM RCP6.0'ın sapma düzeltilmiş ve küçültülmüş çıktıları ile bir iklim değişikliği etkisi çalışmasını içerir. Yazarlar, CESM modelinin sapma düzeltilmiş ve küçültülmüş çıktılarının çoğunlukla yüzey değişkenlerinin, yani yüzey sıcaklığı, bağıl nem ve dikey değişkenlerin, yani ortalama sıcaklık ve rüzgar hızının sapmalarını azalttığı sonucuna varmışlardır. Geleceğe gelince, ortalama sıcaklığın, su buharı karışım oranının, sıcak hava dalgalarının ve deniz havası penetrasyonunun bölge genelinde artacağını bekliyorlar.

Dünya çapında iklim değışikliği projeksiyonları için atıfta bulunulan çalışmalar emisyon senaryolarının eski versiyonlarını kullanmıştır. Dahası, bu çalışmalar genel olarak yüksek çözünürlük kullanmanın, özellikle topografik olarak karmaşık bölgeler üzerinde, çok önemli olduğunu vurgulamaktadır. PGW yöntemi, nihai dinamik olarak küçültölmüş çıktılarda bir topluluk biçiminde belirsizlik aralıklarını temsil etmek için tercih edilmiştir. Bu tezin üçüncü çalışması, topografik olarak karmaşık bölge EMBS üzerinde km ölçekli çözünürlük elde etmek için en son CMIP6 GCM topluluğu (PGW) ile en son ERA5 yeniden analizini bozan dünya çapındaki ilk çalışmalardan biridir.

BÖLÜM 3

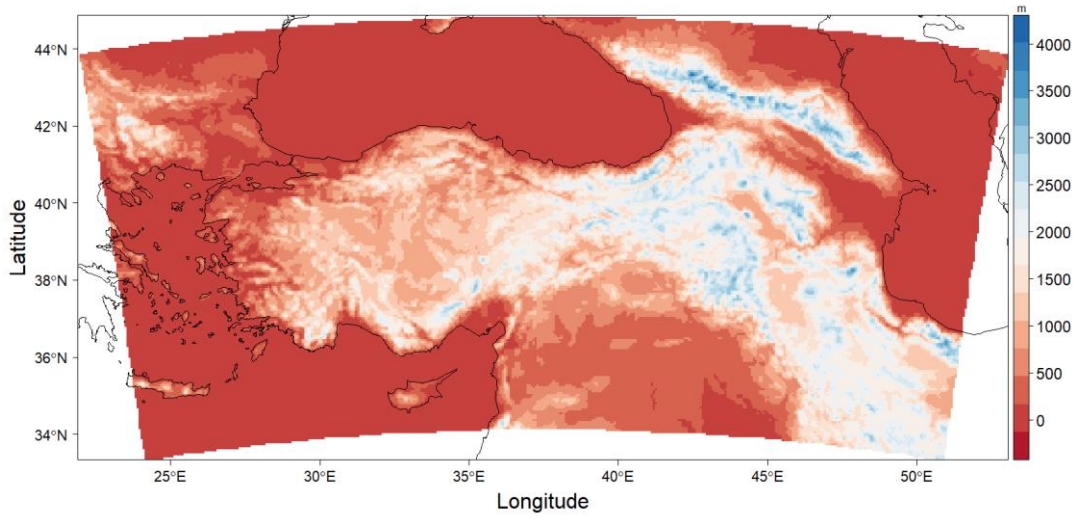
MALZEMELER VE YÖNTEMLER

3.1 Çalışma alanı

Akdeniz, kurak subtropikler ile ılıman orta enlemler arasında iklim tipini yansıtır: sıcaktan sıcağa, kuru yazlar ve ılıman, yağışlı kışlar. Ancak Akdeniz bölgesi, geniş coğrafi özelliklerin varlığı nedeniyle çeşitli iklim özelliklerine sahip geniş bir alanı kaplar, yani yarımadalar, dik orografya, körfezler ve çeşitli büyüklükteki adalar. Örneğin, Marmara, Ege ve Karadeniz'in Akdeniz bölgesinin üyeleri olduğunu varsayalım. Bu durumda, Anadolu Yarımadası ve çevresindeki bölgeler bir iklim geçiş bölgesini temsil eder. Akdeniz ve Ege kıyıları tipik bir Akdeniz iklimi gösterirken, orta kesim yarımadası karasal yarı kurak bir iklim gösterir, yani sıcak ve kuru yazlar ve soğuk ve karlı kışlar. Öte yandan, kuzeydoğuda bulunan Karadeniz kıyıları ve Kafkaslar dört mevsim yağışlıdır. Yarımadanın doğusunda Sibirya yükseklerinin altında subarktik iklim hakimdir ve yüksek dağ sırtları uzun süreli soğuk kışlara ve kısa serin yazlara neden olur. Yukarıda tanımlanan tüm bölgeler Doğu Akdeniz Karadeniz bölgesinde yer almaktadır (Şekil 3.1. EMBS; burada ~ 22-53 arasında tanımlıyoruz°E ve 33-45°N). EMBS'nin merkezinde yer alan ve birinci ve ikinci çalışmanın ilgi alanı olan Türkiye'nin coğrafi ve iklimsel özellikleri aşağıda daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır:

Ege, Akdeniz ve Karadeniz ile çevrili olan Türkiye, iki ana yarımadadan oluşur. İlk yarımada doğu Avrupa topraklarında yer alırken, ikinci ve büyük yarımada batı Asya'da (Anadolu Yarımadası veya Küçük Asya olarak da bilinir) yer alır. Türkiye'nin 783.562 km²'si 36° N- 42° N ve 26° E- 45° E koordinatları arasındaki dönümler. Ilıman orta-

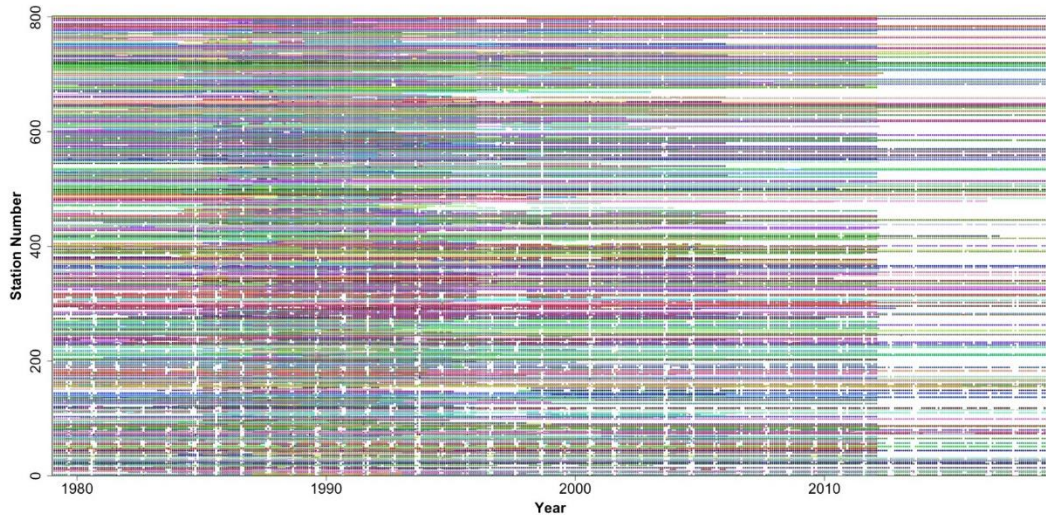
enlem Akdeniz iklim özellikleri, karmaşık topoğrafya ve yüksek sıradağların etkisiyle belirgin şekilde farklı iklim tipleri (yani, karasal ve okyanusal) mevcuttur. Güney ve kuzeydeki sıradağlar deniz etkisinin iç bölgelere geçmesini engeller. İç bölgeleri kısıtlı yağışlı karasal iklim altında bırakır. Yıllık maksimum yağış, yaklaşık 2200 mm ile Doğu Karadeniz Bölgesi'nde ölçülmektedir. Öte yandan, Türkiye'nin en büyük yüzölçümüne sahip ili olan Konya, yılda sadece yaklaşık 320 mm yağış almaktadır. Ülkenin güney kısmı yıl boyunca diğer bölgelere göre daha fazla sıcaklığa sahiptir. Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü (GMGM), en yüksek (en düşük) yıllık ortalama sıcaklığı 21,3 °C ile Hatay-İskenderun (Kars-Sarıkamış) ilçesinde ölçmüştür. °C (-0,2)°C 1962 (1960) yılında Türkiye'nin 1970-2019 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklığı (yağış) 13.2°C (623,7 mm) (GDM, 2019; Bağcı ve diğerleri, 2021).



Şekil 3.1. Çalışma alanı (EMBS) yükseklik haritası. İlk iki çalışma, yani GCM'lerin değerlendirilmesi ve gelecekteki projeksiyonları ve WRF duyarlılık testleri, merkezi Türkiye alanına odaklanarak yürütülmüştür. Üçüncü çalışma, yani PGW tabanlı dinamik küçültme, şekilde sunulan tüm alan üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3.2 Veri kümeleri

İlk çalışmada, karşılaştırmalı performans analizinde kamuya açık olan (<https://esgfnodellnl.gov/projects/cmip5/> ve <https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip6/>) toplam 33 CMIP6 GCM (Eyring vd., 2016) ve 36 CMIP5 GCM (Taylor vd., 2012) kullanılmıştır. Model adları, topluluk numaraları (gerçekleştirmeler, başlatmalar, fizik ve zorlamalar), veri kullanılabilirliği ve yatay çözünürlükler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir. Veri sağlayıcılarının daha fazla bilgisi ve referansları için lütfen (Bağçacı vd., 2021) Ek'ine bakın. CMIP GCM'lerinin performansları, belirli performans ölçütlerine göre ERA5 yeniden analiziyle karşılaştırılarak ortaya çıkarılmıştır. Bunu yapmadan önce, ERA5 yeniden analiz verilerinin geçerliliği Türkiye alanı üzerindeki yer ölçümleriyle gerçekleştirilir. Geçerlilik için toplam 1045 nispeten homojen dağılmış istasyonun aylık yağış ve yüzeye yakın sıcaklık verileri kullanılmıştır (Bağçacı vd., 2021). Şekil 3.2, bu istasyonların veri kullanılabilirliğini/tutarlılığını, en yakın ızgara noktalarına göre ortalama olarak göstermektedir.



Şekil 3.2. İlk çalışmanın doğrulama dönemi boyunca veri tutarlılığı/kullanılabilirliği

Tablo 3.1 Çalışmada kullanılan CMIP5 GCM'lerin topluluk üyeleri, veri kullanılabilirliği ve mekansal çözünürlükleri. Gelecekteki simülasyonlar için onay işaretleri en az bir RCP'yi göstermektedir (Bağçacı ve ark., 2021).

CMIP5 GCM	Ens. kullanılmış	Tarihsel simülasyon.	Gelecek simülasyonu.	Çözünürlük (X°,ve°)
ERİŞİM1.0	r1i1p1	✓	✓	1,9x1,3
ERİŞİM1.3	r1i1p1	✓	✓	1,9x1,3
BCC-CSM1.1	r1i1p1	✓	✓	2,8x2,8
BCC CSM1.1(m)	r1i1p1	✓	✓	2,8x2,8
CanCM4	r1i1p1	✓	✓	2,8x2,8
CanESM2	r1i1p1	✓	✓	2,8x2,8
CESM1(BGC)	r1i1p1	✓	✓	1,3x0,9
CESM1(CAM5)	r1i1p1	✓	✓	1,3x0,9
CESM1(HIZLI KİMYA)	r1i1p1	✓	X	1,3x0,9
CESM1(WACCM)	r1i1p1	✓	✓	2,5x1,9
CNRM-CM5	r1i1p1	✓	✓	1,4x1,4
CNRM-CM5-2	r1i1p1	✓	X	1,4x1,4
GFDL-CM3	r1i1p1	✓	✓	2,5x2,0
GİS-E2-H	r1i1p1	✓	✓	2,5x2,0
GISS-E2-H-CC	r1i1p1	✓	✓	2,5x2,0
GISS-E2-R	r1i1p1	✓	✓	2,5x2,0
GISS-E2-R-CC	r1i1p1	✓	✓	2,5x2,0
CM3'e sahiptir	r1i1p1	✓	✓	3,8x2,5
HadGEM2-AO	r1i1p1	✓	✓	1,9x1,3
GEM2-CC'ye sahiptir	r1i1p1	✓	✓	1,9x1,3
GEM2-ES'ye sahiptir	r1i1p1	✓	✓	1,9x1,3
İNM-CM4	r1i1p1	✓	✓	2,0x1,5
IPSL-CM5A-LR	r1i1p1	✓	✓	3,8x1,9
IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	✓	✓	2,5x1,3
IPSL-CM5B-LR	r1i1p1	✓	✓	3,8x1,9
MIROC4h	r1i1p1	✓	✓	0,6x0,6
MIROC5	r1i1p1	✓	✓	1,4x1,4
MIROC-ESM	r1i1p1	✓	✓	2,8x2,8
MIROC-ESM-KİMYA	r1i1p1	✓	✓	2,8x2,8
MPI-ESM-LR	r1i1p1	✓	✓	1,9x1,9
MPI-ESM-MR	r1i1p1	✓	✓	1,9x1,9
MPI-ESM-P	r1i1p1	✓	X	1,9x1,9
MR-CGCM3	r1i1p1	✓	✓	1,1x1,1
MR-ESM1	r1i1p1	✓	✓	1,1x1,1
NorESM1-M	r1i1p1	✓	✓	2,5x1,9
NorESM1-BEN	r1i1p1	✓	✓	2,5x1,9

Tablo 3.2 Çalışmada kullanılan CMIP6 GCM'lerin topluluk üyeleri, veri kullanılabilirliği ve mekansal çözünürlükleri. Gelecekteki simülasyonlar için onay işaretleri en az bir SSP'yi göstermektedir (Bağçacı ve ark., 2021).

CMIP6 GCM	Ens. kullanılmış	Tarihsel simülasyon.	Gelecek simülasyonu.	Çözünürlük (X°,ve°)
ERİŞİM-CM2	r1i1p1f1	✓	✓	1,9x1,3
ERİŞİM-ESM-1-5	r1i1p1f1	✓	✓	1,9x1,3
BCC-CSM2-MR	r1i1p1f1	✓	✓	1.1x1.1
BCC-ESM-1	r1i1p1f1	✓	✓	2,8x2,8
CAMS-CSM1-0	r1i1p1f1	✓	✓	1.1x1.1
CanESM5	r1i1p1f1	✓	✓	2,8x2,8
CESM2	r1i1p1f1	✓	✓	1,3x0,9
CESM2-WACCM	r1i1p1f1	✓	✓	1,3x0,9
CNRM-CM6-1	r1i1p1f2	✓	✓	1.4x1.4
CNRM-CM6-1-HR	r1i1p1f2	✓	✓	0,5x0,5
CNRM-ESM2-1	r1i1p1f2	✓	✓	1.4x1.4
EC-Dünya3	r1i1p1f1	✓	✓	0,7x0,7
EC-Earth3-Sebze	r1i1p1f1	✓	✓	0,7x0,7
GFDL-ESM4	r1i1p1f1	✓	✓	1,3x1,0
GISS-E2-1-G	r1i1p1f1	✓	✓	2,5x2,0
GEM3-GC31-LL vardı	r1i1p1f3	✓	✓	1,9x1,3
GEM3-GC31-MM'ye sahipti	r1i1p1f3	✓	X	0,8x0,6
İNM-CM4-8	r1i1p1f1	✓	✓	2,0x1,5
İNM-CM5-0	r1i1p1f1	✓	✓	2,0x1,5
IPSL-CM6A-LR	r1i1p1f1	✓	✓	2,5x1,3
MCM-UA-1-0	r1i1p1f1	✓	X	3,8x2,2
MIROC6	r1i1p1f1	✓	✓	1.4x1.4
MIROC-ES2L	r1i1p1f2	✓	✓	2,8x2,8
MPI-ESM-1-2-HAM	r1i1p1f1	✓	✓	1,9x1,9
MPI-ESM1-2-HR	r1i1p1f1	✓	✓	0,9x0,9
MPI-ESM1-2-LR	r1i1p1f1	✓	✓	1,9x1,9
MRI-ESM2-0	r1i1p1f1	✓	✓	1.1x1.1
NESM3	r1i1p1f1	✓	✓	1,9x1,9
NorESM2-LM	r1i1p1f1	✓	✓	2,5x1,9
NorESM2-MM	r1i1p1f1	✓	✓	1,3x0,9
UKESM1-0-LL	r1i1p1f2	✓	✓	1,9x1,3

İkinci çalışma, WRF için bir ana model olarak Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmini Merkezi'nin (ECMWF) en son sürümü olan ERA5 yeniden analizini kullanır. ERA5 yeniden analizi daha yüksek yatay ve dikey çözünürlükler sunar (31 km, ~0,25°; 137 dikey seviye bir hPa'da zirve yaptı) selefi ERA-Interim'den (79 km) daha yüksek ~0,75°; 60 dikey seviye on hPa'da zirve yaptı). Radyatif zorlamalar, yani sera gazları ve aerosoller giderek yayılıyor, CMIP GCM'lerine benzer şekilde ERA5 yeniden analizinde de dikkate alındı (Hersbach vd., 2019). Buna göre, iklim değişikliği (yani Arktik bölgesindeki küresel ısınma etkileri) ERA5 yeniden analiziyle operasyonel dönemi olan 1979'dan günümüze kadar gözlemlenebilir. Daha büyük boyutlu ve daha yüksek kaliteli gözlemlerin (daha fazla uydu ve radar verisi dahil) kullanıldığı atmosferik veri asimilasyonu bir toplulukla gerçekleştirilir. Elbette geleneksel yer ölçümlerini de içeren daha yüksek kaliteli gözlemler, verilerin en son teknik özellikleri, kalibrasyonu ve işlenmesiyle daha tutarlı 'boşluksuz haritalar' sağlar (Hersbach vd., 2019; Bağçacı vd., 2021). Bunlar, özellikle yağış konusunda daha gerçekçi meteorolojik çıktıların elde edilmesini sağlayan ERA-Interim'e göre ERA5 yeniden analizinin bazı iyileştirmeleridir.

ERA5 yeniden analizinden atmosferik dikey seviyede alınan veriler jeopotansiyel yükseklik, hava sıcaklığı, rüzgar bileşenleri (U ve V) ve bağıl nemdir. Bu veriler ayrıca çiğ noktası sıcaklığı, yüzey basıncı, deniz seviyesi basıncı, deniz yüzeyi sıcaklığı, biriken kar derinliğinin su eşdeğeri, fiziksel kar derinliği, kar yoğunluğu ve deniz buzu fraksiyonunun yanı sıra yakın yüzey seviyesinde (jeopotansiyel yükseklik hariç) de alınır. Toprak nemi ve sıcaklığı da dikey yer seviyesinde alınır.

Üçüncü çalışmada, SSP5-8.5 emisyon senaryosu altında 13 CMIP6 GCM (Tablo 3.3) bozulma sürecinde bir toplulukta kullanıldı. Bu 13 tanesi, diğer GCM'ler arasında performanslarına (Bağçacı ve diğerleri, 2021) ve nispeten yüksek çözünürlüğe göre seçildi. Bilinear enterpolasyondaki bilgi kaybını hafifletmek için mümkün olduğunca ERA5 mekansal çözünürlüğünün dört katını aşmayan GCM'leri seçtik.

Geriye dönük dinamik küçültme simülasyonları, ana model olarak ERA5 yeniden analizi kullanılarak gerçekleştirildi.

Tablo 3.3 PGW tabanlı dinamik küçültme çalışmasında kullanılan CMIP6 GCM'lerin topluluk üyeleri, varyant etiketi (kullanılan ens.) ve yatay çözünürlükleri.

CMIP6 GCM	Ens. kullanılmış	Çözünürlük (x)°,ve°)
AWI-CM-1-1-MR	r1i1p1f1	0,94x0,94
BCC-CSM2-MR	r1i1p1f1	1.10x1.10
CMCC-CM2-SR5	r1i1p1f1	1,25x0,94
CMCC-ESM2	r1i1p1f1	1,25x0,94
CNRM-CM6-1-HR	r1i1p1f2	0,50x0,50
EC-Dünya3	r1i1p1f1	0,70x0,70
EC-Earth3-CC	r1i1p1f1	0,70x0,70
EC-Earth3-Sebze	r1i1p1f1	0,70x0,70
FHEDEFLER-f3-L	r1i1p1f1	1,25x1,00
GFDL-ESM4	r1i1p1f1	1.30x1.00
GEM3-GC31-MM'ye sahipti	r1i1p1f3	0,80x0,60
MPI-ESM1-2-HR	r1i1p1f1	0,90x0,90
MRI-ESM2-0	r1i1p1f1	1,13x1,12

3.3 Metodoloji

3.3.1 CMIP5 ve CMIP6 değerlendirmesi için performans ölçütleri

Değiştirilmiş uyum indeksi (md), normalleştirilmiş kök ortalama kare hatası (nRMSE), Kling-Gupta verimliliği (KGE) ve mekansal verimlilik (SPAEF) metrikleri, ilk çalışma bağlamında retrospektif CMIP5 ve CMIP6 GCM simülasyonlarının bireysel model performans sıralamalarını ortaya çıkarmak için kullanıldı. Kapsamlı performans metriği (MR) (Jiang ve diğerleri, 2015), hem yüzeye yakın sıcaklık hem de yağış için GCM önceliklendirmesine dayanarak hesaplandı

veri. Her CMIP5 ve CMIP6'daki en iyi performans gösteren ilk dört GCM, yağış ve yüzeye yakın sıcaklık için ayrı ayrı çoklu model toplulukları (MME'ler) oluşturmak üzere ayırt edilir. Performans metriklerinin daha ayrıntılı açıklaması ve formülleri yazarın yayınlanmış çalışmasında bulunabilir (Bağçacı ve diğerleri, 2021).

3.3.2 Bölgesel iklim modeli (RCM): WRF

Bu tez, bölgesel iklim modeli (RCM) olarak WRF modelini (Skamarock vd., 2008) kullanmaktadır. Operasyonel hava tahminlerinde yaygın olarak kullanılan sayısal bir hava durumu tahmin sistemi (NWP) olmasına rağmen, iklim tahmini de dahil olmak üzere atmosferik araştırma alanlarında da kullanılmaktadır. Beşinci Mezoskal Modelin (MM5, Grell vd., 1994) yeni nesli olan WRF modeli, daha küçük atmosferik ölçeklerde gerekli olan daha yüksek dereceli sayısal işlemler, muhafazakar çözümler ve paralel hesaplama sunar (Powers vd., 2017). Dinamik çözücüdeki (çekirdekler) iyileştirmelerin yanı sıra, WRF modeli ayrıca dünyanın dört bir yanındaki araştırmacılar tarafından katkıda bulunulan çok çeşitli fizik şemalarına sahiptir. Temel olarak, WRF'nin bir simülasyonu çalıştırmak için iki bileşeni vardır: 1) Model alanının ön işlenmesi, giriş verilerinin hazırlanması (veri enterpolasyonu dahil) ve veri türleri arasında geçiş, 2) Başlangıç ve sınır koşullarının oluşturulması ve WRF modelinin çalıştırılması. İlk madde, geogrid, ungrib ve metgrid adımlarına sahip WRF Ön İşleme Sistemi (WPS) şemsiyesi altındadır. İkinci madde, iklim modellemesindeki gerçek ve koşu adımlarından oluşur (koşu da araştırma amaçları için ideal bir durum olabilir). Aşağıdaki maddeler bu adımları (ilk üçü WPS adımlarını, son ikisi ise WRF adımlarını gösterir) daha ayrıntılı olarak açıklar ve Şekil 3.3, WRF modellemesinin özet akış şemasını gösterir.

i) Geogrid: WPS'nin ilk adımında, jeogrid yürütülebilir dosyası, karasal verileri (coğrafi bilgi) model alanına dahil etmek için çalıştırılır. Bu veriler genel olarak orografi, topografya, toprak tipi, arazi kullanımı, albedo (kar dahil), arazi alanı endeksi, alt ızgara ölçekli orografinin varyansı ve bitki örtüsü oranından oluşur. Coğrafi veriler Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresinden alınır

(MODIS). WRF modeli, iç içe geçmiş alanlarla çalışmaya izin verir. WPS'nin harita projeksiyon seçenekleri 1) polar stereografik, 2) Lambert-Konformal, 3) Mercator ve 4) enlem-boylamdır. Burada, orta enlemler için önerildiği için Lambert-Konformal-Konik (LCC) projeksiyon türünü seçtik.

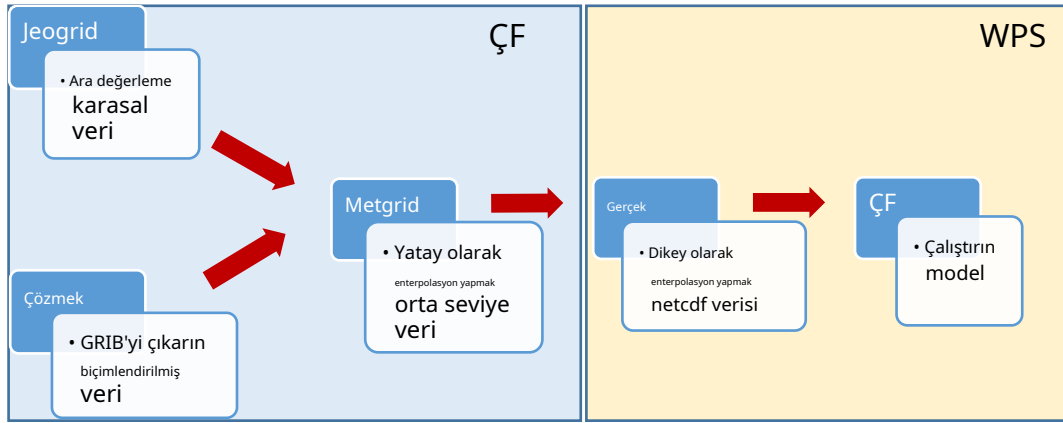
ii) Çözülme:Bu yürütülebilir dosya, tek bir işlemciyle GRIB biçimli dosyalardan meteorolojik alanları okur ve çıkarır ve bunları ara dosya biçimine yazar. GRIB biçimli dosyalar, WRF'ye ana model olarak başka bir RCM veya GCM'den gelir. WRF modeli, bu GRIB biçimli verileri değişken tablosuna (Vtable) göre dönüştürür. Oluşturulan ara dosyalar daha sonra metgrid yürütülebilir dosyaları tarafından okunur.

iii) Metgrid:Bu yürütülebilir dosya, çalışma alanında GRIB formatından çıkarılan ara meteorolojik verileri yatay olarak interpolate eder. İnterpolasyon yöntemi ve maske seçenekleri METGRID.TBL'de yazılmıştır. Metgrid yürütülebilir dosyası verileri çeşitli formatlarda yazar; ancak çıktıları kolayca izlemek için NetCDF seçeneğini seçtik.

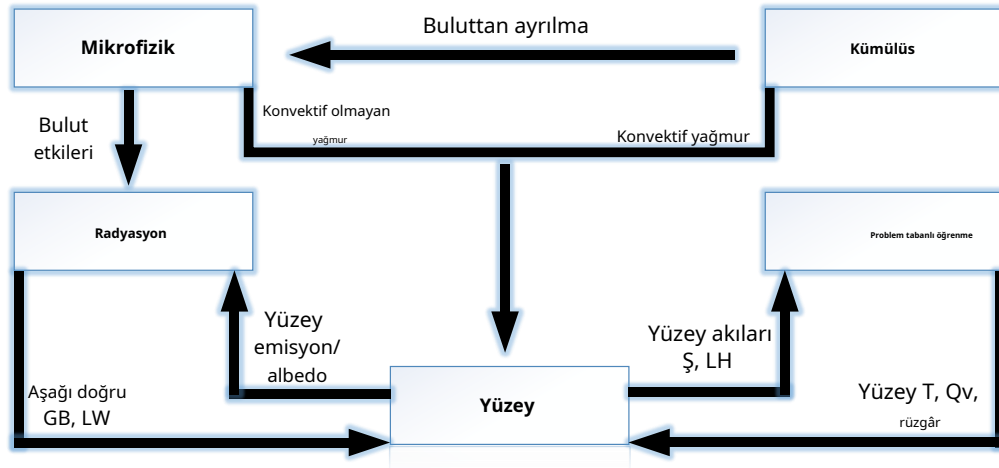
iv) Gerçek:Bu yürütülebilir dosya, WRF çalıştırılmadan hemen önce başlangıç ve sınır koşullarına sahip verilerin son halini oluşturur. Dikey veri enterpolasyonu bu adımda gerçekleştirilir. Deniz yüzeyi sıcaklığı (SST) güncellemesi ve spektral dürtme seçenekleri açıksa, bu adım bu seçeneklerle ilgili dosyaları da hazırlar. Hassasiyet ve PGW tabanlı dinamik küçültmede SST güncelleme seçeneğini açtık, spektral dürtme ise yalnızca son çalışmada açıldı. Bunun nedeni, spektral dürtmenin genellikle Türkiye alanından daha büyük alan boyutları için önerilmesidir.

v) ÇF:Bu yürütülebilir dosya, nihai olarak başlangıç koşullarının dinamik küçültülmesini gerçekleştirir. Başlangıç koşulu küçültüldükten sonra, WRF belirtilen zaman adımlarında verileri güncelleyerek kendi başlangıç koşullarını oluşturur. Fizik seçenekleri, yani kümülüs, mikrofizik, gezegensel sınır tabakası, radyasyon ve yüzey, meteorolojik değişkenlerin yeni durumunu elde etmek için etkileşimli olarak çalıştırılır (Skamarock ve diğerleri, 2019). Şekil 3.4, bulut ve

Yağış süreçleri esas olarak mikrofizik ve kümülüs parametrelendirme şemaları tarafından yönetilir. Daha düşük atmosfer seviyelerinde, PBL ve yüzey fiziği yüzeye yakın atmosfer değişkenlerinin yeni durumunu ele alır. Yağış doğrudan yüzeyi etkiler ve bulutlar doğrudan radyasyonu etkilerken, radyasyon hem yüzeyi etkiler (aşağı doğru kısa dalga ve uzun dalga radyasyonu yoluyla) hem de yüzeyden etkilenir (yüzey emisyonu ve albedo).



Şekil 3.3. WRF modellemesinin özet akış şeması



Şekil 3.4. WRF fizik parametrelendirme etkileşimleri. Bu şekli doğrudan Skamarock ve ark.'ndan (2019) uyarladık.

3.3.3 WRF yapılandırmaları

İkinci çalışma, WRF dinamik küçültme tabanlı duyarlılık testlerinde ana model olarak ERA5 yeniden analiz verilerini kullanır. WRF modeli, benzersiz beş mikrofizik şeması, dört kümülüs şeması ve üç gezegensel sınır tabakası şeması ile bir kombinasyon halinde yapılandırılmıştır. Buna göre, WRF'yi çalıştırmak için toplam 60 farklı birleşik fizik seçeneği kullanılmıştır. Kullanılan mikrofizik şemaları Kessler (Kessler, 1969), Lin ve diğerleri (Lin Purdue) (Lin ve diğerleri, 1983), WRF Tek Moment 6 sınıfı (WSM6) (Lim ve Jade, 2006), New Thompson ve diğerleri (Thompson) (Thompson ve diğerleri, 2008) ve Morrison çift momentidir (Morrison 2-mom) (Morrison ve diğerleri, 2009). Kullanılan kümülüs şemaları Kain-Fritsch (Kain ve Kain, 2004), Betts-Miller-Janjic (Janjic, 1994; Janjić, 2000), Tiedtke (Tiedtke, 1989; Zhang ve diğerleri, 2011)'dir. Kümülüs şeması seçeneği dördüncü seçenek olarak kapatıldı. Kullanılan gezegensel sınır tabakası şemaları Yonsei Üniversitesi (YSU) (Hong ve diğerleri, 2006), Mellor-Yamada-Janjic (MYJ) (Janjic, 1994) ve yerel olmayan yukarı doğru karıştırma ve yerel aşağı doğru karıştırma (ACM2) içeren Asimetrik Konvektif Model'dir (Pleim, 2007a, 2007b).

Hassasiyet çalışması bağlamında, 4 km yatay ızgara aralığına sahip 420 x 222 karşılık gelen ızgara noktasına sahip Türkiye alanı için Weather Research and Forecasting (WRF) modeli Sürüm 4.3 yapılandırıldı. Toplam alan boyutu batı-doğu yönünde 1680 km ve güney-kuzey yönünde 888 km'dir. 50 hPa'da tepelenen 40 dikey seviye vardır. Entegrasyon için zaman adımı 24 saniyedir. Yukarıda belirtilen parametrelendirme şemalarının yanı sıra, Hızlı Radyasyon Transfer Modeli (RRTMG) (Iacono vd., 2008) ve Noah kara yüzeyi modeli (Chen ve Dudhia, 2001) kullanıldı. WRF simülasyonları 2020 yılı için gerçekleştirilirken, simülasyonlar daha sonra atılan model spinup'ları olarak bir yıllık dönemlerden iki ay önce başlatıldı. Model, 6 saatlik $\sim 0,25^\circ$ Hedeflenen 4 km çözünürlüğü elde etmek için ERA5 yeniden analiz verileri. Bu çözünürlük doğrudan dinamik küçültme için uygun bulundu $\sim 0.7^\circ$ Tek yönlü herhangi bir ekstra ara kaba şebekeye ihtiyaç duymadan ERA-Interim verileri

iç içe yapılandırma (Liu ve diğerleri, 2017; Li ve diğerleri, 2019; Ikeda ve diğerleri, 2021). Bu nedenle, ERA5 yeniden analizi ile WRF alanı arasında 4 km'den daha kaba çözünürlüğe sahip herhangi bir ara alan kullanmadık. Deniz yüzeyi sıcaklığının 6 saatlik periyotlarda güncellendiğine dikkat edilmelidir. WRF duyarlılığı yapılandırmalarının doğrulanması ve duyarlılığında çoğunluğu Otomatik Hava Gözlem Sistemleri (AWOS) olan toplam 836 istasyon kullandık.

PGW tabanlı dinamik küçültmede (üçüncü çalışma), RCM olarak WRF modeli Sürüm 4.3 kullanıldı. En son yayınlanan CMIP6 SSP5-8.5'e dayalı GHG konsantrasyonu Sürüm 4.3.1'den elde edildi. WRF modeli, Bulgaristan, doğu Yunanistan, Türkiye, Kıbrıs, kuzey Suriye, kuzey Irak ve kuzey İran, Ermenistan, Gürcistan, Azerbaycan ve Kafkasya yakınlarındaki Rus topraklarını kapsayan alan için yapılandırıldı (Şekil 3.1). Alan ayrıca Ege Denizi, Karadeniz, kuzeydoğu Akdeniz ve Hazar Denizi'nin çoğunu da kapsar. Hatırlatmak gerekirse, bu alana 4 km yatay ızgara aralığına sahip 625 x 300 karşılık gelen ızgara noktasına sahip EMBS adını verdik. Toplam alan büyüklüğü batı-doğu yönünde 2500 km ve güney-kuzey yönünde 1200 km'dir. 50 hPa'da tepelenen 40 dikey seviye vardır. Spektral dürtme, x yönünde 2 ve y yönünde 1 dalga sayısı ile gerçekleştirildi; bunlar sırasıyla 1250 ve 1200 km dalga boylarına karşılık gelir. Nispeten zayıf dürtme katsayıları ($0,0003 \text{ s}^{-1}$), modelin serbestçe gelişmesine baskın bir şekilde müdahale etmemek için kullanıldı. Jeopotansiyel, sıcaklık ve yatay rüzgar bileşenleri gezegensel sınır tabakasının (PBL) üzerine dürtüldü. Entegrasyon için zaman adımı 24 saniyedir. Kullanılan parametrelendirme şemaları, yeni Thompson mikrofizik şeması (Thompson ve diğerleri, 2008), Yonsei Üniversitesi (YSU) gezegensel sınır tabakası şeması (Hong ve diğerleri, 2006), Hızlı Radyasyon Transfer Modeli (RRTMG) (Iacono ve diğerleri, 2008) ve Noah kara yüzeyi modelidir (Chen ve Dudhia, 2001). Burada, 2020 yılında Türkiye alanı üzerinde konveksiyona izin veren simülasyonlardan daha iyi yağış sonuçları verdiği için Tiedtke şemasıyla kümülüs parametrelendirme seçeneğini açtık (Tiedtke, 1989; Zhang vd., 2011).

3.3.4 PGW süreci

IPCC değerlendirme raporu (AR6) temel periyodu, 1995-2014 ve karşılık gelen sözde gelecek periyoduna dayalı olarak iki 20 yıllık WRF simülasyonu gerçekleştirildi. Her iki simülasyon da 20 yıllık periyotlardan bir yıl önce model spinup'ları olarak başlatıldı ve daha sonra bunlar atıldı. İlk deneyde, model 6 saatlik ~0,25 ile zorlandı. Hedeflenen 4 km çözünürlükte retrospektif simülasyonlar elde etmek için ERA5 yeniden analiz verileri.

İkinci deney, SSP5-8.5 emisyon senaryosu altında GCM topluluğundan (13 CMIP6 GCM) türetilen iklim değişikliği sinyaliyle ERA5 yeniden analiz verilerinin bozulmasına dayalıdır ve sözde gelecek dönem simülasyonları elde edilir.

Aşağıdaki formül, PGW zorlamasının genel resmini basitçe açıklayabilir:

$$= 5 \times 1995-2014 + \Delta \quad 6585-h \quad (11)$$

Neresi $\Delta \quad 6585-h$ 30 yıllık CMIP6 MME ortalama aylık farkları:

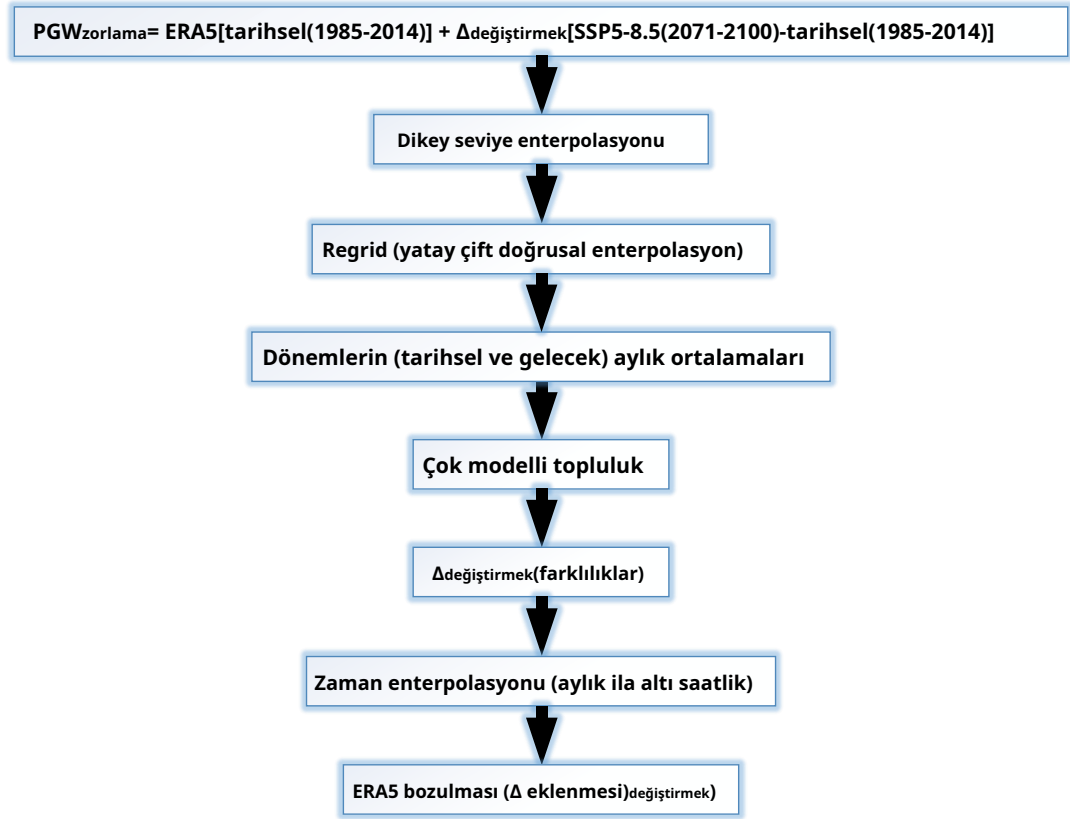
$$\Delta \quad 6585-h = 62071-2100 - 6 \text{ yaşındayım}_{1985-2014} \quad (12)$$

Bozulma, aylık MME ortalama farklarının 6 saatlik periyotlara interpolate edildiği adımdan sonra hem yüzey hem de basınç seviyeleri için yapıldı. WRF modelini zorlamak için PGW bozulmasındaki zorunlu veri alanları Tablo 3.4'te gösterilmiştir. Bozulan yüzey değişkenleri, yüzeye yakın nem ve sıcaklık, 10 m'de doğu ve kuzey rüzgar bileşenleri, deniz seviyesi ve yüzey basınçları, cilt, deniz yüzeyi ve toprak sıcaklıklarıdır. Basınç seviyesinde, bağıl nem, doğu ve kuzey rüzgar bileşenleri, hava sıcaklığı ve GCM'lerin jeopotansiyeli önce dikey olarak ERA5 seviyelerine interpolate edildi ve ardından MME bağlamında bozulma için kullanıldı. Şekil 3.5, ilk adımın ilk iki denklemin birleşimi olduğu PGW metodolojisinin daha ayrıntılı adım adım prosedürünü göstermektedir. Başlangıçta, GCM'lerin dikey ve yatay çözünürlüğünü

sırasıyla ERA5'in. Daha sonra, GCM'lerin aylık ortalamaları hem tarihsel (1985-2014) hem de gelecekteki (2071-2100) dönem için hesaplandı ve dönem ortalamaları daha sonra MME'lerin oluşturulmasında kullanıldı. Daha sonra, Δ_change (gelecek ve tarihsel dönem MME'leri arasındaki fark) elde edildi ve 6 saatlik dönemlere (zaman enterpolasyonu) eklendi. Son adımda, PGW zorlama veri setini oluşturmak için hem yüzey hem de basınç seviyeleri için bozulma (zaman enterpolasyonlu Δ_change 'i 6 saatlik ERA5 yeniden analizine ekleyerek) yapıldı. Bozulmuş yüzey değişkenleri, yüzeye yakın nem ve sıcaklık, 10 m'de doğu ve kuzey rüzgar bileşenleri, deniz seviyesi ve yüzey basınçları, cilt, deniz yüzeyi ve toprak sıcaklıklarıdır. Basınç seviyesinde, bu değişkenler bağıl nem, doğu ve kuzey rüzgar bileşenleri, hava sıcaklığı ve jeopotansiyeldir.

Tablo 3.4 RCM'yi (WRF) zorlamak için PGW bozulmasında zorunlu veri alanları.

Yüzey seviyesi	Yüzeye yakın bağıl nem	Basınç seviyesi	Bağıl nem
	Yüzeye yakın sıcaklık		
	U10 (doğu rüzgarı)		Doğu rüzgarı
	V10 (kuzeye doğru esen rüzgar)		
	Deniz seviyesindeki basınç		Kuzey rüzgarı
	Yüzey basıncı		
	Cilt sıcaklığı		Hava sıcaklığı
	Deniz yüzeyi sıcaklığı		
	Toprak sıcaklığı		Jeopotansiyel yükseklik



Şekil 3.5. PGW metodolojisi akış şeması

3.3.5 PGW retrospektif simülasyonları ile model doğrulaması

Yağışları doğrulamak için yer gözlemlerini ve üç gridli veri setini, WRF retrospektif simülasyonunun yüzey altı sıcaklık sonuçlarını doğrulamak için de yer gözlemlerini ve iki gridli veri setini kullandık. Yer gözlemleri, çalışma alanının kara yüzeyinin önemli bir kısmını kapsayan Türkiye alanı için Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (GDM) alındı. Türkiye'de günlük yağış doğrulaması için 273 istasyon veri kaydı ve aylık yağış doğrulaması için 614 istasyon veri kaydı bulunmaktadır. Yüzey altı sıcaklık doğrulaması için bu sayılar sırasıyla 417 ve 1506'dır. Ayrıca, Dünya Meteoroloji Örgütü'nden (WMO) alınan 119 istasyon veri kaydı, Türkiye dışındaki istasyonlar için yüzey altı sıcaklık doğrulamasında kullanıldı. Ayrıca Küresel Yağış İklimi'ni de kullandık

Merkez (Schneider vd., 2022) 0,25 ° çözünürlükte aylık yağış veri seti, HOAPS/GPCC (Schröder vd., 2019) 0,5 ° çözünürlükte küresel günlük yağış veri kaydı, E-OBS (Corney vd., 2018) günlük yağış ve yüzeye yakın sıcaklık ürünü 0,1 ° çözünürlükte ve Doğu Anglia Üniversitesi'ndeki İklim Araştırma Birimi (CRU sürüm 3.22, 1901–2013; Harris vd. (2014)) 0,5 ° çözünürlükte aylık yüzeye yakın sıcaklık ürünü. WRF simülasyonları doğrulama amacıyla her bir ızgaralı ürünün doğal çözünürlüğüne göre yeniden ızgaralandı. Izgaralı gözlem veri setleri, 45 ° E'de ızgaralarla sonlanan E-OBS hariç tüm EMBS alanını kapsar. Bununla birlikte, alanın çoğunda gözlem sağlar. Ülkeler arasında 24 saatlik zaman dilimindeki yağış ölçümleri (gece yarısı ile gece yarısı veya sabah ile sabah arasında ölçüm) büyük ölçüde değişebileceğinden (ECMWF, 2020), doğrulama için ızgaralı günlük yağışın aylık ortalamasını aldık.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR

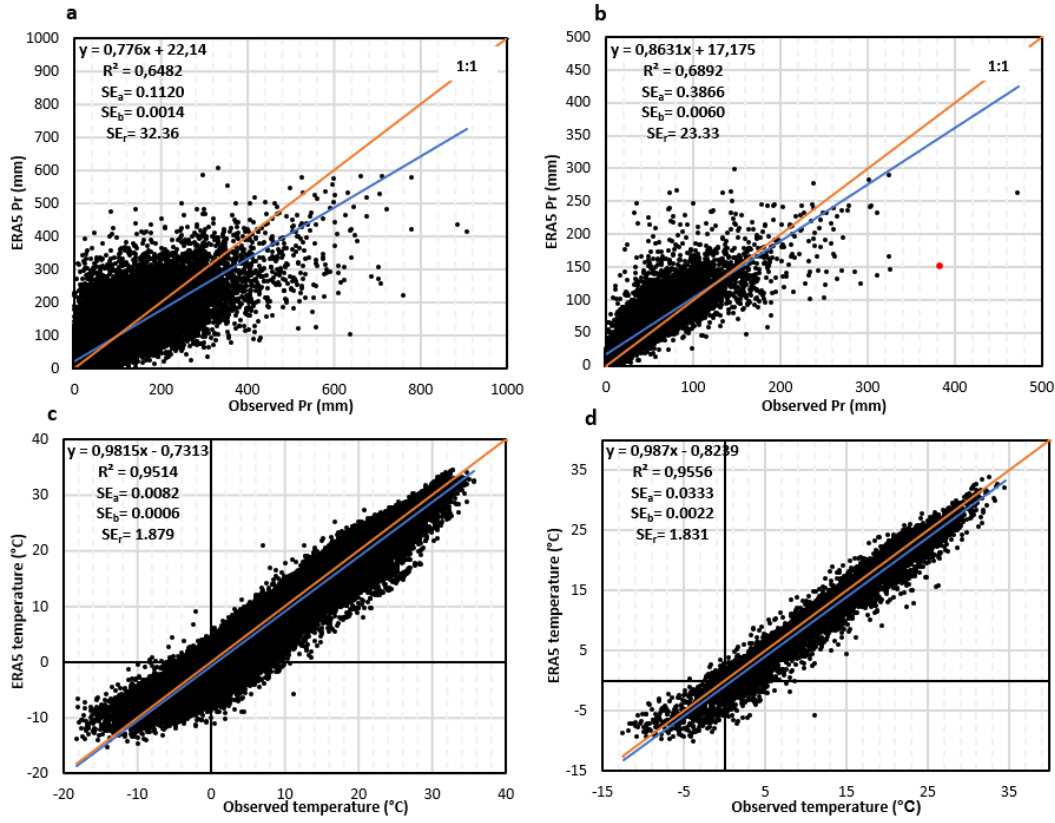
4.1 GCM değerlendirmesinin sonuçları ve geleceğe yönelik projeksiyonlar

4.1.1 ERA5 sıcaklık ve yağışın doğrulanması

Şekil 4.1, 1979 ve 2019 yılları arasında yağış ve yüzeye yakın sıcaklığın aylık ve aylık ortalama istatistiklerini göstermektedir. Yer gözlemlerinin ve bu gözleme en yakın ERA5 yeniden analizinin ay bazında karşılaştırılmasına göre, yağışın korelasyon değeri 0,81'dir (Şekil 4.1 a). ERA5 yeniden analizinin ve yer gözlemlerinin standart sapmaları sırasıyla 54,6 mm ve 56,6 mm'dir. ERA5 yeniden analizi tarafından tam olarak yakalanmayan yer gözlemleri için uç noktaların daha olası olduğunu ve daha tutarlı verilere sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, özellikle ERA5'in bunları olduğundan düşük tahmin ettiği 600 mm'den yüksek yağış değerlerinde kendini göstermektedir. Doğrusal regresyon çizgisi denklemi daha yayılmış görünüm ve artık standart hata (SE_R) aylık ortalama istatistiklerine göre 32,36 mm değeriyle daha yüksektir.

ERA5 yeniden analizi, üstün korelasyon (0,83) ve daha az SE açısından aylık ortalama yağışta daha iyi performans gösteriyor (23,33 mm) (Şekil 4.1 b). ERA5 yeniden analizi ve yer gözlemleri için standart sapmalar sırasıyla 41,8 mm ve 40,2 mm'dir. Aylık ortalama durumunda, ERA5 yeniden analizinin standart sapması yer gözlemlerine daha yakındır, hatta biraz daha yüksektir. Bu, uç noktaların daha düşük değerlerle telafi edildiğini gösterir. Öte yandan, istasyonların veri tutarlılığının doğrulama süresi boyunca (Şekil 3.2) vurgulanması gerekir. Örneğin, Şekil 4.1 b'deki kırmızı nokta, yalnızca 1984 ve 1986 yılları arasındaki verilerle gözlemlere katkıda bulunan bir istasyona aittir. Bu istasyon, orografik yağışın hakim olduğu Toros dağlarında yer almaktadır.

Bu yağış türü daha fazla gözlem ve sık yer gözlem ağlarıyla doğrulanmalıdır. Ancak bunlar eksiktir ve bu da istasyon ile ERA5 yeniden analizi arasındaki karşılaştırma sürecinde hatayı (yağış istatistikleri açısından) artırır.



Şekil 4.1. ERA5 yeniden analizi ve istasyon karşılaştırması a) aylık yağış, b) aylık ortalama yağış, c) aylık yüzeye yakın sıcaklık, d) aylık ortalama yüzeye yakın sıcaklık. İlgili istatistikler şekilde verilmiştir ve daha ayrıntılı bilgiler Bağcı ve ark.'nın (2021) orijinal makalesinde bulunabilir.

Aylık (aydan aya) ve aylık ortalama yüzeye yakın sıcaklık korelasyonları 0,98 iken, SEr değerleri sırasıyla ERA5 yeniden analizi ve yer gözlemleri arasında 1,88 °C ve 1,83 °C'dir (Şekil 4.1c ve Şekil 4.1d). Aşağıdaki bölümlerden birinde uzaysal-zamansal olarak odaklanmış bir önyargı deseni gösterir. Buna ek olarak, standart sapmalar yağıştan daha birbirine yakındır (farklar 0,1 °C'nin altındadır) ve yüzeye yakın uçların

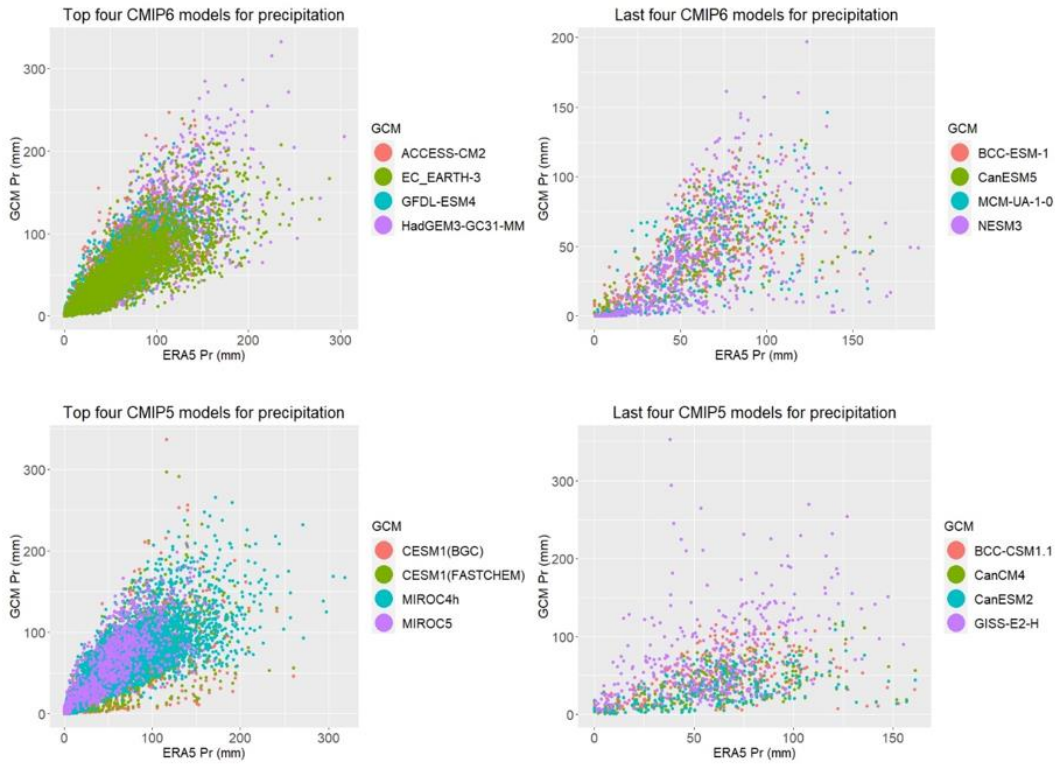
sıcaklıklar ERA5 tarafından oldukça makul bir şekilde yakalanmıştır. Genel olarak, ERA5 yeniden analizi her iki değişken için de makul derecede tatmin edici bir başarı göstermektedir. Bundan böyle, ERA5 yeniden analizi CMIP5 ve CMIP6 GCM'lerinin performans değerlendirmesinde temel veri olarak kullanılacaktır (Bağçacı ve diğerleri, 2021).

4.1.2 CMIP5 ve CMIP6'nın performans değerlendirmesi

Zamansal ve uzaysal-zamansal metrikler, yani md, nRMSE, SPAEF ve KGE ile ilgili olarak, Türkiye alanı üzerinde ERA5 yeniden analizine dayalı olarak CMIP5 ve CMIP6 GCM'lerinin performanslarını değerlendirdik. Sonuçlar, farklı iklim modelleme gruplarının GCM'lerinin nihai MR sıralamalarına göre CMIP5 ve CMIP6'ya hakim olduğunu göstermektedir. Örneğin, MIROC4h, MIROC5, CESM1 (FASTCHEM), CESM1 (BGC) CMIP5'teki yağış simülasyonlarında daha iyi performans gösterirken, HadGEM-GC31-MM, GFDL-ESM4, ACCESS-CM2 ve EC-Earth3 CMIP6'da en iyi performans gösteren GCM'lerdir. Yüzeye yakın sıcaklıkların simülasyonunda en iyi performans gösteren GCM'ler sırasıyla CMIP5 ve CMIP6'da CESM1 (CAM5), MIROC4h, IPSL-CM5A-MR, MRI-ESM1 ve MPI-ESM1-2-HR, CNRM-ESM2-1, NorESM2-MM, MRI-ESM2-0'dır. Bunlar, farklı iklim gruplarının baskınlığının yanı sıra CMIP6'daki en iyi performans gösteren modellerin CMIP5'tekilere göre performansında da bir artış olduğundan, CMIP'lerin güncellenmiş sürümleriyle GCM'lerin yeniden değerlendirilmesinin önemini göstermektedir. Bu performans artışı yağış simülasyonları için belirgindir, ancak yüzeye yakın sıcaklık simülasyonları için belirgin değildir. Tam performans sıralamaları Bağçacı ve ark.'nın (2021) orijinal makalesinde bulunabilir. Yukarıda belirtilen en iyi performans gösteren dört modelle, yüzeye yakın sıcaklık ve yağış topluluklarını ayrı ayrı oluşturduk; Ancak SSP2-4.5 senaryosu için eksik veriler nedeniyle HadGEM-GC31-MM yerine CNRM-CM6-1-HR modelini kullandık.

CMIP6 GCM'leri yağış simülasyonunda CMIP5 GCM'lerine göre daha az model içi değişkenlik gösterir. Şekil 4.2, bu gerçeği topluluk üyelerinin yağış simülasyonlarında ve CMIP5 ve CMIP6'daki en kötü performans gösteren GCM'lerde doğrular.

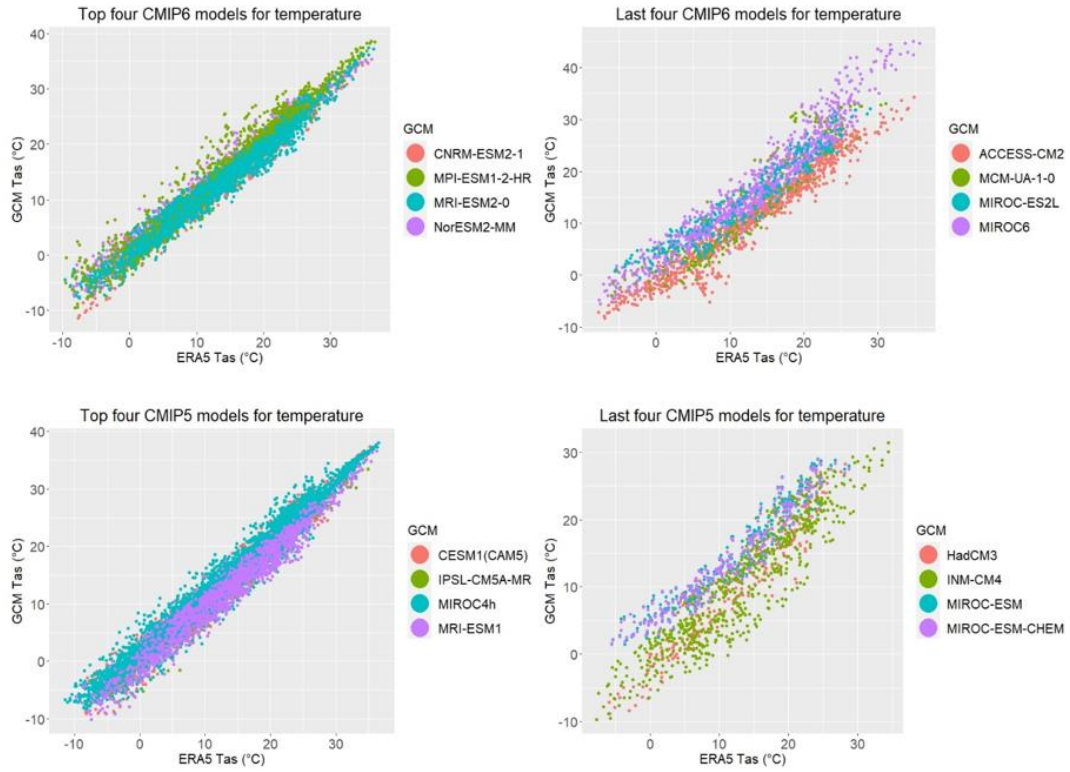
daha tutarlı simülasyonlar, CMIP6'nın ayrıca 2 mm'lik ortalama mutlak hatada (MAE) iyileşme gösterdiğini göstermektedir (CMIP6 için ~ 16 mm ve CMIP5 için ~ 18 mm). Ancak, R'de önemli bir gelişme var; CMIP6 için 0,68 ve CMIP5 için 0,59 olmak üzere yaklaşık yüzde onluk değere sahiptir. Yağış uç noktalarının hafife alınması ve aşırı tahmin edilmesi, CMIP5 ile karşılaştırıldığında CMIP6 GCM'leri ile büyük ölçüde azaltılmıştır ve bu durum istatistiksel değerlere zaten yansımıştır.



Şekil 4.2. Yağış için en iyi dört ve en kötü dört performans gösteren CMIP6 ve CMIP5 GCM'lerinin ERA5 ile karşılaştırılması (Bağçacı ve ark., 2021).

Şekil 4.3, Şekil 4.2'dekiyle aynı şeyi ancak yüzeye yakın sıcaklık için göstermektedir. Yüzeye yakın sıcaklığı simüle etmedeki belirsizlikler yağıştan çok daha az olduğundan ve daha doğru bir şekilde simüle edilebildiğinden, CMIP6 GCM'lerinde CMIP5'e kıyasla performans iyileştirmesi önemli değildir. Aynı R² değerler 0,96 değerinde mevcutken, CMIP6 ile iyileştirme yalnızca 0,1'dir °MAE'de C (~ 1.4°C CMIP6 ve ~ 1.5 için °C CMIP5 için). Hata değeri boşluğu en kötü performans gösteren GCM'lerde benzerdir; ancak, R² istatistikleri CMIP6 lehine yüzde altı daha iyidir

(CMIP6 için 0,87 ve CMIP5 için 0,81). Ayrıca, en kötü performans gösteren CMIP5 GCM'leri CMIP6'dan daha dağınık bir görünüme sahiptir ve bu da CMIP6 GCM simülasyonlarının yağış simülasyonlarına benzer şekilde daha az model içi değişkenlikle daha fazla tutarlılık gösterdiğini doğrulamaktadır.

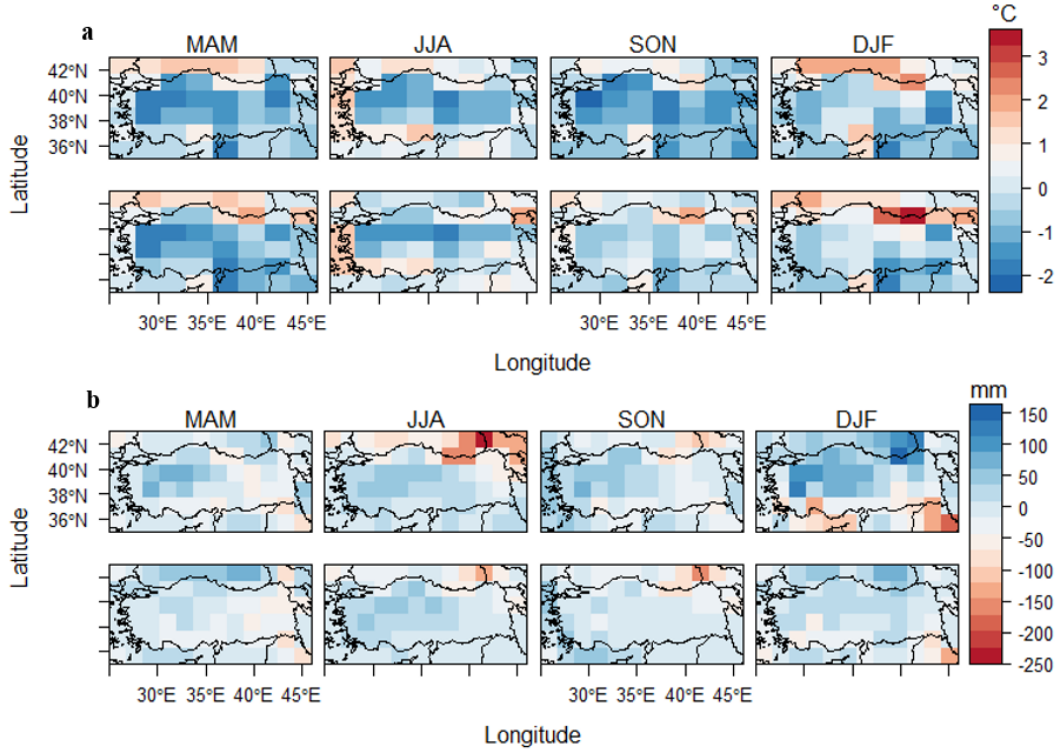


Şekil 4.3. Yüzeye yakın sıcaklık için ERA5 ile en iyi dört ve en kötü dört performans gösteren CMIP6 ve CMIP5 GCM'lerinin karşılaştırılması (Bağçacı ve ark., 2021).

4.1.3 CMIP5 ve CMIP6'nın topluluk ortalamalarındaki önyargılar

Türkiye topraklarında, çoğunlukla tüm mevsimlerde soğuk bir eğilim varken, kış ve ilkbahar mevsimlerinde Karadeniz üzerinde ve yaz mevsimlerinde Ege Denizi üzerinde, her ikisi de CMIP5 ve CMIP6 MME ile sıcak bir eğilim vardır (Şekil 4.4). 2 °C'ye kadar soğuk eğilimi, CMIP6 ile sonbahar mevsiminde (yaklaşık 1 °C) büyük ölçüde azalır. °C), kış mevsimindeki azalma hala belirgindir, ancak sonbaharda o kadar fazla değildir. Doğu Karadeniz bölgesinde CMIP6 ile önemli bir kış sıcaklığı sapması vardır

Türkiye'nin (yaklaşık 3.2°C), kara-deniz sıcaklık kontrastını azaltır. Topluluklarda aynı GCM'ler kullanılsaydı, bu sonuç bölgedeki orografik yağışı etkileyebilirdi. Yağışa gelince, her iki CMIP ile Türkiye'nin çoğunda ıslak bir önyargı hakimdir. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesinde ve kışın Akdeniz kıyılarında ve ülkenin güneydoğu bölgelerinde kuru bir önyargı mevcuttur ve burada büyüklüğü yaz ve kış aylarında CMIP5 MME ile güçlüdür. Islak önyargı kışın önemli ölçüde azalır (50 mm'ye kadar) ve diğer mevsimlerde de büyük bir azalma görülür, ancak kışın o kadar fazla değildir. Bu sonuçlar CMIP6'nın zamansal ve mekânsal bir şekilde performans iyileştirmesini doğrulamaktadır.



Şekil 4.4. a) yüzeye yakın sıcaklıktaki ve b) yağıştaki ortalama sapmalar. CMIP5 birinci satırda ve CMIP6 ikinci satırdadır. Topluluk üyeleri en kaba çözünürlüklü GCM'nin yatay çözünürlüğüne yeniden ızgaralanır ve ardından CMIP5 ve CMIP6'nın tarihsel periyotlarında mevsimsel ortalamalar ayrı ayrı alınır (Bağçacı ve diğerleri, 2021).

4.1.4 Gelecek projeksiyonları

Yakın yüzey sıcaklığı ve yağışta olası gelecekteki değişiklikleri ortaya koymak için, IPCC değerlendirme raporuna (AR6) göre 1995-2014 dönemini (GCM'lerin ortalamaları bu tarihsel dönemde hesaplanmıştır) temel olarak kullandık ve CMIP6'nın SSP2-4.5 ve SSP5-8.5'i ile yakın (2030-2050), orta (2050-2070) ve uzun vadeli (2070-2100) olmak üzere üç gelecekteki dönemi kullandık. Mevsimsel ortalama değişiklik projeksiyonları, yukarıda belirtilen performanslarına göre seçilen dört model topluluğu ile yakın yüzey sıcaklığı ve yağış için ayrı ayrı elde edilmiştir. Aşağıda, gelecekteki projeksiyonlar ile tarihsel simülasyonlar arasındaki bu değişikliklerin sonuçları verilmektedir.

4.1.4.1 Yağış

Kışın beklenen mevsimsel yağış değişimleri, uzun vadede Türkiye alanı üzerinde SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 arasında birbirine oldukça benzemektedir (Şekil 4.5c ve Şekil 4.6c). Güneydeki azalma ve kuzeydeki artış, her ikisi de $p=0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Ayrıca, azalma gösteren güneybatı Türkiye ve artış gösteren kuzeybatı Türkiye hariç, yakın vadede istatistiksel olarak anlamlı hiçbir değişim yoktur (Şekil 4.5a ve Şekil 4.6a). Güney bölgeleri SSP2-4.5 ile kısmen anlamlı bir azalma gösterirken, bu azalma orta vadede SSP5-8.5 ile daha yaygın ve daha güçlüdür (Şekil 4.5b ve Şekil 4.6b). Kuzey ülkesi SSP2-4.5 ile istatistiksel olarak anlamlı bir yağış artışı gösterirken, aynı vadede SSP5-8.5 ile anlamlı bir değişim yoktur. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin genellikle SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 ile tüm terimlerde istatistiksel olarak anlamlı bir kış yağışı azalması göstermediği, bunun Önol ve Semazzi'nin (2009) aksine olduğu belirtilmelidir. Dahası, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'ndeki kış yağışı artışı anlamlı olacaktır ancak SSP2-4.5 ve SSP5-8.5'e göre uzun vadede %10'u geçmeyecektir, burada Önol ve Semazzi (2009) bu artışı bulmuştur

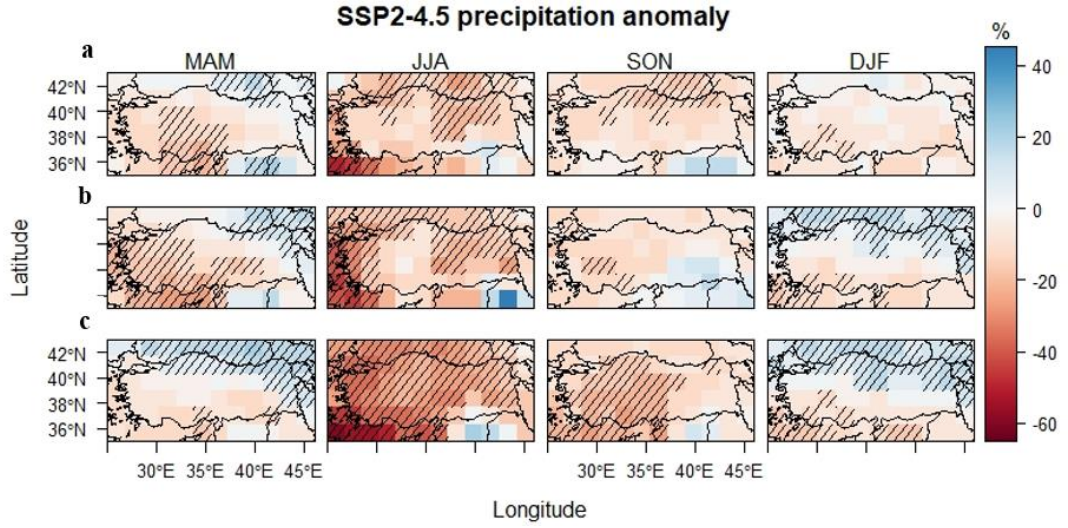
Aynı dönemde, CMIP'nin önceki versiyonu olan CMIP3'e göre yüksek emisyon senaryosu kullanılarak %10-%50.

Yaz yağışlarındaki azalma SSP2-4.5 ile istatistiksel olarak anlamlıdır ve ülke çapındadır, ancak Türkiye'nin merkez ve güney kesimlerindeki azalma uzun vadede SSP5-8.5 ile anlamlı değildir. Bunun en olası nedeni, SSP5-8.5 ile yapılan daha sıcak projeksiyonların Türkiye'nin merkez ve güney bölgelerindeki konvektif yağış olaylarını artırmasıdır. Orta vadede, istatistiksel olarak anlamlı azalma batı ve kuzeydeki iki senaryo arasında benzer bir desene sahipken, kuzeydoğudaki azalma SSP2-4.5 ile daha çok güneye doğru yayılmaktadır. İstatistiksel olarak anlamlı azalma, SSP2-4.5 ile aynı güneyde yayılan alanlar hariç, yakın vadede her iki senaryoda da kuzeyle sınırlıdır. Projeksiyonlarımızın, Demircan ve diğerlerine benzer şekilde, orta vadede SSP2-4.5 ile doğu Türkiye'de istatistiksel olarak anlamlı bir yağış azalması gösterdiğine dikkat edilmelidir. (2017), RCP4.5 altında üç GCM'nin dinamik olarak küçültülmüş simülasyonu ile aynı dönemde aynı bölgede %30'luk bir yaz yağış düşüşü buldu.

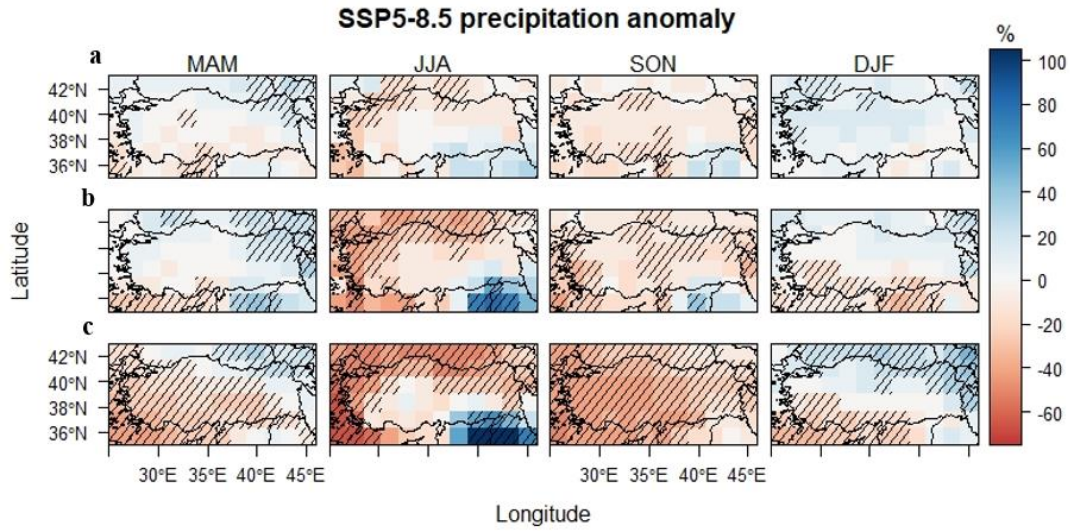
Uzun vadeli ilkbahar yağış değişimleri, istatistiksel açıdan SSP2-4.5 (istatistiksel olarak anlamlı azalma yok) ve SSP5-8.5 (istatistiksel olarak anlamlı azalma) arasında tamamen farklıdır. Ancak, iki senaryo kuzeydoğu alanında önemli bir yağış artışı konusunda hemfikirdir. Öte yandan, SSP5-8.5'te, kuzeydoğu Türkiye'deki artış dışında neredeyse hiçbir değişiklik yoktur, oysa orta vadede SSP2-4.5 ile ülke genelinde istatistiksel olarak anlamlı bir yağış azalma deseni baskındır. Yakın vadede benzer bir desen mevcuttur, burada azalan desen baskınlığı SSP2-4.5 ile küçülmektedir.

Sonbahar mevsiminin ülke çapında ve uzun vadede SSP2-4.5 (doğu hariç) ve SSP5-8.5 ile istatistiksel olarak anlamlı yağış azalması yaşamayı bekleniyor. Ancak, SSP2-4.5 ile düşüş ülke genelinde batı ve güneyde bulunan bölgelerin bazı kısımları hariç anlamlı değilken, düşüş

SSP5-8.5 ile batı, merkez, kuzey-orta ve kuzeydoğu Türkiye'de istatistiksel olarak önemlidir. Yakın vadede, SSP5-8.5 ile güney-orta ve kuzey-orta Türkiye'de ve SSP5-8.5 ile kuzey-orta ve kuzeydoğu Türkiye'de önemli azalmalar beklenmektedir.



Şekil 4.5. SSP2-4.5 yağış anomalisi a) yakın b) orta c) uzun vadede. Şekilde, $p=0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı değişimler taranmış rasterlerle ifade edilmiştir (Bağçacı vd., 2021).



Şekil 4.6. SSP5-8.5 yağış anomalisi a) kısa b) orta c) uzun vadede. Şekilde, $p=0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı değişimler taranmış rasterlerle ifade edilmiştir (Bağcı vd., 2021).

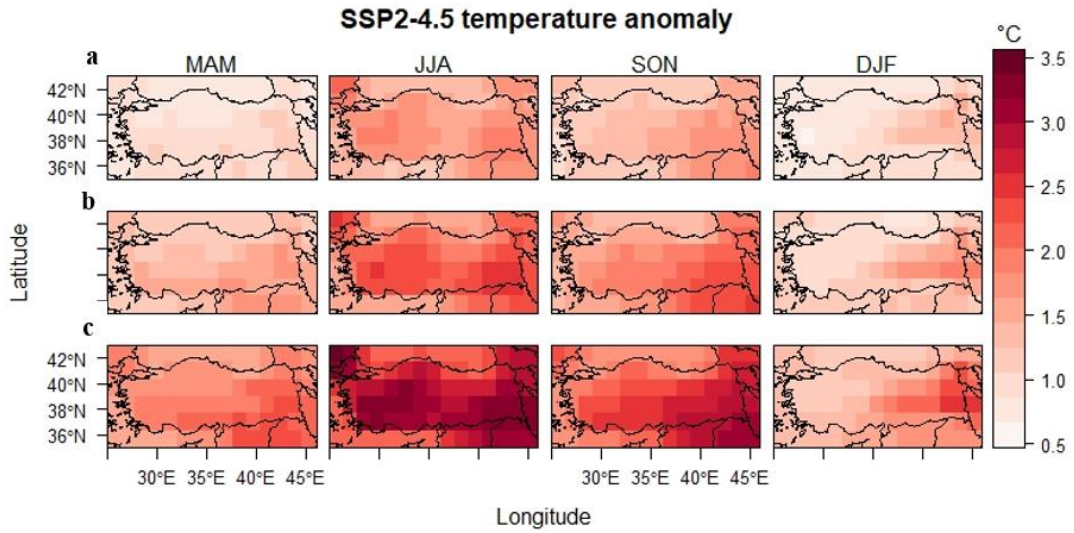
4.1.4.2 Yüzeye yakın sıcaklık

Uzun vadeli yüzeye yakın sıcaklık artışı yaz mevsimlerinde SSP2-4.5 ile 3.5°C civarında ve SSP5-8.5 ile 6.5°C civarında Türkiye alanı üzerinde nispeten homojen bir görünümle zirveye ulaşmaktadır (Şekil 4.7c ve Şekil 4.8c). Ancak, Türkiye'nin batısı en az 0.5°C daha fazla artışla maksimum ısınma göstermektedir ki bu orta vadede de görülebilmektedir (Şekil 4.7b ve Şekil 4.8b). Isınmanın benzer bir desene sahip olması yakın vadede henüz iki senaryo arasında niceliksel olarak çok fazla farklılık göstermemektedir (Şekil 4.7a ve Şekil 4.8a).

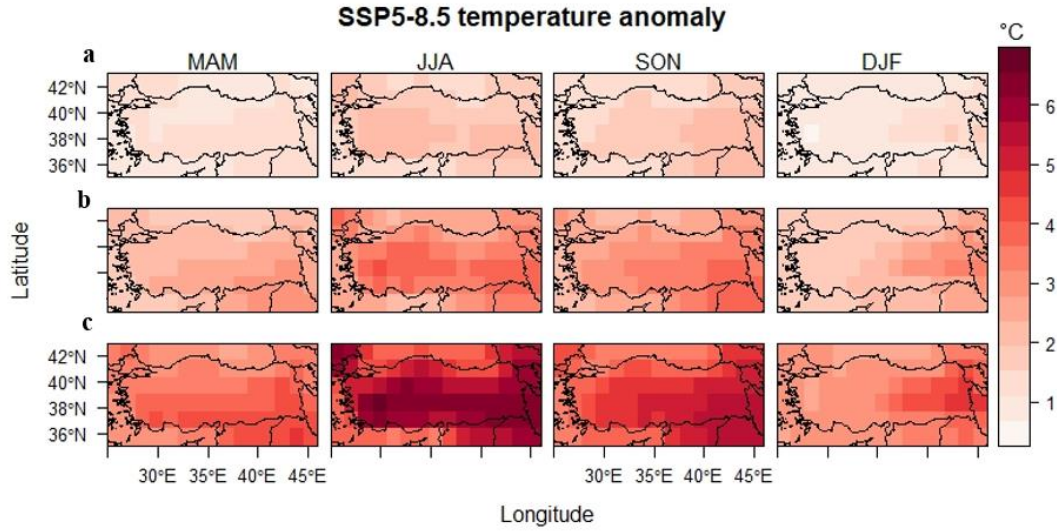
Sonbahar mevsimindeki ısınma, kuzeybatıdan güneydoğuya doğru çapraz bir koridor boyunca artan bir desene sahiptir (sırasıyla SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 ile Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi üzerinde $\sim 3^{\circ}\text{C}$ ve $\sim 5.5^{\circ}\text{C}$ ısınma). Gerçekten de, bu artan desen, yakın ve orta dönemlerde azalan değerlerle de mevcuttur.

İlkbahar mevsimi sonbahara benzemektedir ve bu durum güneydoğu bölgelerinin her iki senaryoda da orta ve uzun vadede maksimum mevsimsel ısınmaya maruz kaldığını göstermektedir. Kısa vadeli ısınma daha homojen bir desene sahipken, güney bölgelerinin en az 0,5°Bu dönemde C daha sıcaktır. Türkiye'nin Ege ve Akdeniz bölgelerinde SSP5-8.5 ile ilkbahar ısınmasının 4 °C'ye kadar ulaştığı, bunun da istatistiksel olarak anlamlı yağış azalması (%18'e kadar) da dikkate alındığında o bölgelerin kırılganlık derecesini ortaya koyduğu belirtilmelidir.

Kışın ısınma en çok ülkenin doğusunu etkiler, burada yüzeye yakın sıcaklık artışları uzun vadede SSP2-4.5 (SSP5-8.5) ile 2.5 °C'ye (4.5 °C) kadar ulaşır. Bu değerler ilkbahardaki ısınma değerlerine yakındır. Bunlar, bölge bugünün ikliminin büyük bir kısmı kar örtüsü altında olduğundan Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki su havzaları için önemli göstergelerdir. Yakın ve orta vadeli dönemler azalan ısınma değerleriyle ortak bir tabloyu paylaşır; ancak karı eritmek için yeterli olabilir.



Şekil 4.7. SSP2-4.5 yüzeye yakın sıcaklık anomalisi a) kısa b) orta c) uzun vadede. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5'teki tüm yüzeye yakın sıcaklık anomalileri $p=0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır; bu nedenle netlik için herhangi bir tarama yapılmamıştır (Bağçacı ve ark., 2021).



Şekil 4.8. SSP5-8.5 yüzeye yakın sıcaklık anomalisi a) kısa b) orta c) uzun vadede. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5'teki tüm yüzeye yakın sıcaklık anomalileri $p=0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır; bu nedenle netlik için herhangi bir tarama yapılmamıştır (Bağçacı ve ark., 2021).

4.1.4.3 Yıllık değişikliklerin değerlendirilmesi

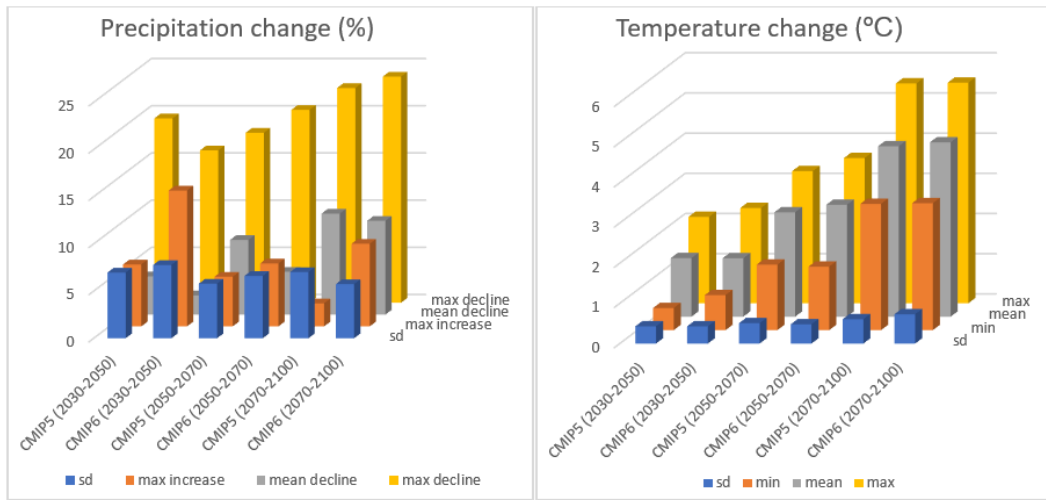
En kötü senaryolarda hem yüzeye yakın sıcaklık hem de yağış için CMIP5 ve CMIP6 MME'lerinin yıllık istatistiklerini karşılaştırmak için sütun grafiklerini kullandık (Şekil 4.9). Isınma için, standart sapmalar (sd) yakın vadede $0,43\text{ }^{\circ}\text{C}$ değeriyle aynı iken, orta vadede fark yalnızca $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ancak, CMIP6 MME'nin $0,73\text{ }^{\circ}\text{C}$ sd değeri ve CMIP5 MME'nin uzun vadede $0,61\text{ }^{\circ}\text{C}$ sd değeri vardır ve bu da CMIP6 MME'nin daha fazla ısınma uçlarına eğilimli olduğunu göstermektedir. Kısa vadeli minimum sıcaklık artışı CMIP5 ve CMIP6 için sırasıyla $0,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $0,87\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir ve maksimum artış $2,15$ ve $2,37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir, ortalama artış ise $1,46\text{ }^{\circ}\text{C}$ değeriyle aynıdır. CMIP6'da ortalama ve maksimum artış orta vadede CMIP5'e kıyasla yaklaşık $0,2$ ve $0,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha fazladır (CMIP6 için $2,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ortalama artış ve $3,61\text{ }^{\circ}\text{C}$ maksimum artış), ancak minimum ısınmada yaklaşık $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik bir değerle fark önemli değildir. Minimum ve maksimum ısınma değerleri yaklaşık $3,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $5,48\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.

CMIP5 ve CMIP6 için sırasıyla °C iken, CMIP6 MME'deki (4,34 °C) ortalama artış CMIP5'e göre 0,1 °C daha fazladır.

Yağışın sd'si CMIP6'da CMIP5'ten yakın ve orta vadede daha yüksektir (CMIP6 MME yağış sd'si yakın ve orta vadede sırasıyla %7,8 ve %6,6'dır ve CMIP5 MME yağış sd'si yakın ve orta vadede %7 ve %5,8'dir). Ancak uzun vadede CMIP6 MME yağış sd'si %5,8'dir ve bu değer CMIP5 için %7'dir. Bu, CMIP6 MME yağış projeksiyonlarının uzun vadede CMIP5'ten daha tutarlı olduğunu göstermektedir. Kısa vadeli ortalama yağış düşüşü CMIP6'da %2 iken, yağıştaki maksimum artış ve maksimum düşüş sırasıyla %14,4 ve %16,1'dir. CMIP5 MME aynı dönemde daha az maksimum artış (%6,6) ancak daha fazla ortalama düşüş (%4,1) ve maksimum düşüş (%19,5) göstermektedir. Orta vadede, maksimum artış ve ortalama düşüş açısından resim değişmiyor, yani CMIP6 sırasıyla %6,7 ve %4,5 değerlerini gösterirken, CMIP5 sırasıyla %5,3 ve %7,9 değerlerini gösteriyor. Ancak, bu vadede CMIP6'da maksimum düşüş CMIP5'e göre ~%2,5 daha fazladır (CMIP6 için %20,4 ve CMIP5 için %18). Uzun vadeli ortalama ve maksimum düşüşler birbirine yakındır (CMIP6 ortalama ve maksimum düşüşler sırasıyla %9,9 ve %24'tür ve CMIP5 ortalama ve maksimum düşüşler sırasıyla %10,7 ve %22,8'dir). Ancak, CMIP6 MME'lerinin maksimum yağış artışı CMIP5'in neredeyse üç buçuk katıdır (CMIP6'nın maksimum artışı %8,8 ve CMIP5'in maksimum artışı %2,4'tür).

Bu sonuçlar, Gettelman ve ark. (2019) ve Monerie ve ark. (2020) tarafından ortaya atılan, yağış anomalilerindeki daha büyük anomalilerin CMIP6 ve CMIP5 GCM'leri arasındaki ECS farkından kaynaklanabileceğini ileri süren hipotezle tutarlıdır. Bulgularımıza benzer şekilde, Almazroui ve ark. (2020), CMIP5 GCM'lerine kıyasla Afrika'da CMIP6'dan 1,0 °C ile 2,5 °C arasında artan bir ısınma karakteristiği bulmuş ve Afrika'nın daha önce düşünülenlerden daha hızlı ısındığını vurgulamıştır. Yıllık ölçeğe bile, aşırı anomaliler CMIP6 MME ile daha belirgindir. Afrika'ya benzer şekilde, Türkiye'de de CMIP6 çıktılarıyla ısınma hızlanması onayı bulunmaktadır. Oldukça güçlü bir

CMIP6'nın en yüksek artış anomalisindeki yağış artışı (%14,4) da bu kısa dönemle örtüşmektedir. CMIP5 ve CMIP6 topluluklarından elde edilen yağış ve yüzeye yakın sıcaklıktaki ortalama yıllık anomaliler belirgin olarak farklı olmasa da, özellikle yağış için bölgesel ve mevsimsel ölçeklerde dikkate değer hale gelmektedir. Ancak, yağış anomalisindeki maksimum değişimler (azalma veya artış) yıllık ölçekte bile CMIP6 için daha dikkat çekicidir (Bağçacı vd., 2021).



Şekil 4.9. Türkiye'de en yüksek emisyon senaryoları altında CMIP5 ve CMIP6'dan elde edilen yağış ve yüzeye yakın sıcaklık anomalilerinin yıllık bazda karşılaştırılması (Bağçacı vd., 2021).

En yüksek emisyon senaryoları altında CMIP5 ve CMIP6'daki ilgili GCM'leri karşılaştırarak yağış ve yüzeye yakın sıcaklık projeksiyonlarının veri kullanılabilirliği izin verdiği ölçüde nasıl değiştiğini anlamak için karşılaştırdık. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 bu ilgili GCM'leri ve istatistiklerini Türkiye alanı üzerinde yakın, orta ve uzun vadede göstermektedir. CMIP5 HadGEM projeksiyonu yakın ve orta vadede yıllık ortalama yağış artışı gösterirken, uzun vadede neredeyse eşit referans dönemi ortalamasıdır. CMIP6 HadGEM projeksiyonuna gelince, yakın vadede yıllık ortalama değişiklik göstermezken orta vadede bir azalma ve uzun vadede istatistiksel olarak anlamlı güçlü bir azalma göstermektedir. sd değerleri

CMIP5 HadGEM kısa vadede artar, orta vadede azalır ve sonunda uzun vadede referans değerine yakın bir duruma ulaşır. CMIP6'ya gelince, bu değer kısa vadede güçlü bir şekilde artarken, orta vadede daha güçlü bir şekilde azalır ve ardından uzun vadede hafifçe azalır. Yıllık ölçekte orantılı yağış düşüşünün CMIP5'teki karşılığına göre CMIP6 HadGEM ile daha sağlam ve hızlanmış olduğunu göstermektedir. Benzer durum CNRM GCM'lerinde de mevcuttur. Özetle, CMIP6 CNRM yakın, orta ve uzun dönemlerde sırasıyla CMIP5'teki karşılığına göre yaklaşık %3, %6 ve %15 daha fazla düşüş göstermektedir. Ancak bu durumda CMIP5 CNRM uzun vadede istatistiksel olarak anlamlı yıllık yağış düşüşü gösterirken, CMIP6 CNRM hem orta hem de uzun vadede istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş göstermektedir. ACCESS GCM'ye gelince, yalnızca CMIP5 ACCESS uzun vadede istatistiksel olarak anlamlı ortalama yağış düşüşü göstermektedir. CMIP6 GCM'leri içinde tüm dönemlerde ne azalma ne de artış eğilimi gösteren yalnızca CMIP6 ACCESS vardır. Bununla birlikte, sd değeri orta ve uzun dönemde güçlü bir şekilde artarak, ortalama değerleri korurken uç noktaların daha olası olduğunu göstermektedir. Öte yandan, her iki CMIP GFDL GCM'si de yıllık ölçekte orta ve uzun dönemlerde istatistiksel olarak anlamlı bir yağış düşüşü göstermektedir. Her iki CMIP GFDL GCM'si de kendi içinde daha tutarlıdır ve yıllık yağışta sürekli bir düşüş öngörmektedir (hızlanmayla; yakın, orta ve uzun dönemlerde CMIP5 GFDL için sırasıyla yaklaşık %5, %9 ve %18 ve CMIP6 GFDL için yaklaşık %6, %13 ve %17) (Bağçacı vd., 2021).

Tablo 4.1 Türkiye için RCP8.5 ve SSP5-8.5'e dayalı en iyi performans gösteren mevcut CMIP6 GCM'lerinin ve CMIP5'teki karşılıklarının yağış simülasyonlarının yıllık ortalamaları ve standart sapmaları. Tabloda, p=0,05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı anomaliler kalın karakterlerle ifade edilmiştir (Bağçacı vd., 2021).

MODEL		HADGEM2-AO HADGEM-GC-31-MM		ERİŞİM-1 ERİŞİM CM-2		GFDL-CM3 GFDL-ESM4		CNRM-CM-5 CNRM-CM6-1-SAAT		ORTALAMA	
Değişken		Yağış (mm)		Yağış (mm)		Yağış (mm)		Yağış (mm)		Yağış (mm)	
Veri seti	Yıllar	Anlam	Sd	Anlam	Sd	Anlam	Sd	Anlam	Sd	Anlam	Sd
Referans	1986-2005	727,5	112.9	860.4	83.9	697,7	71.1	861.6	105.6	786,8	93.4
CMIP5	2030-2050	767.1	119.1	847,3	73.3	662.7	111.9	857.7	106.1	783.7	102.6
	2050-2070	758.0	101.5	844.0	89.6	637,3	93.8	839,4	86,8	769,7	92.9
	2070-2100	723,8	111.2	777.1	88.5	572.7	89.3	873,4	92.7	736,7	95.4
Referans	1995-2014	640.0	90.8	711.2	77.0	856,3	78.2	1032,8	100.1	810.1	86.5
CMIP6	2030-2050	642,4	129.3	710.2	74.8	809.0	106,8	998.0	108.5	789,9	104.8
	2050-2070	610.7	88.8	711.2	111.6	744.9	97.2	949.1	117.0	754.0	103.7
	2070-2100	560,5	82.1	709.0	100.6	713.9	87.0	887,8	114.7	717,8	96.1
Δ (CMIP5 - BAŞYÜRÜ)	2030-2050	39.6	6.3	- 13.1	- 10.5	- 35.1	40.8	- 3.8	0,5	- 3.1	9.3
	2050-2070	30.5	- 11.4	- 16.4	5.7	- 60.4	22.7	- 22.2	- 18,8	- 17.1	- 0,5
	2070-2100	- 3.7	- 1.7	- 83,3	4.6	- 125.0	18.2	11.8	- 13.0	- 50.1	2.1
Δ (CMIP6 - BAŞYÜRÜ)	2030-2050	2.4	38.5	- 1.0	- 2.2	- 47,3	28.6	- 34.9	8.4	- 20.2	18.3
	2050-2070	- 29.3	- 2.0	0.0	34.7	- 111,3	19.0	- 83.7	16.9	- 56.1	17.2
	2070-2100	- 79.6	- 8.7	- 2.2	23.6	- 142,4	8.8	- 145.0	14.7	- 92.3	9.6
Δ (CMIP6 - CMIP5)	2030-2050	- 37.2	32.2	12.1	8.3	- 12.2	- 12.3	- 31.0	7.9	- 17.1	9.06
	2050-2070	- 59,8	9.4	16.5	28.9	- 50.9	- 3.6	- 61.6	35.7	- 39.0	17.61
	2070-2100	- 75,8	- 7.1	81.1	19.0	- 17.4	- 9.4	- 156,8	27.7	- 42.2	7.53

CMIP6 GCM'leri arasında yalnızca CMIP6 MPI, uzun vadede çok olmasa da (0,1 °C) CMIP5'teki karşılığına göre daha soğuk bir projeksiyon verir. Dahası, CMIP6 MPI yakın vadede karşılığına göre 0,4 °C daha soğuktur, bu da CMIP6 GCM'leri arasındaki en yüksek soğukluk farkıdır, orta vadede ise hiçbir ayrım yoktur. CMIP6 MPI'nin aksine, CMIP6 MRI karşılığına göre sürekli olarak daha sıcak projeksiyonlar verir ve Türkiye alanı adına daha yüksek ECS'yi gösterir. Sıcaklıktaki en yüksek fark, CMIP6 CNRM'de,

Uzun vadede yaklaşık 0,7 °C'lik bir sd değerine sahipken, CMIP6 NorESM bu dönemdeki muadilinden yalnızca 0,2 °C daha sıcaktır. CMIP6 MPI hariç, kalan üçü uzun dönemde CMIP5'teki muadillerinden daha yüksek sd değerlerine sahiptir ve bu da aşırı sıcaklıkların meydana gelme olasılığının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, CMIP6 GCM'lerinden anomalilerde daha yüksek bir maksimum artış ve azalışın elde edildiği önceki kısımlarda da belirtilmiştir. Bununla birlikte, literatürde belirtildiği gibi (Gettelman vd., 2019; Monerie vd., 2020), model fiziğindeki iyileştirmelerin, bu yüzyılın sonuna kadar iklim sıcak noktalarından biri olarak kabul edilen Türkiye'de (Bağçacı vd., 2021) yüzeye yakın sıcaklıktaki iklim değişkenliği ve özellikle yağış üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

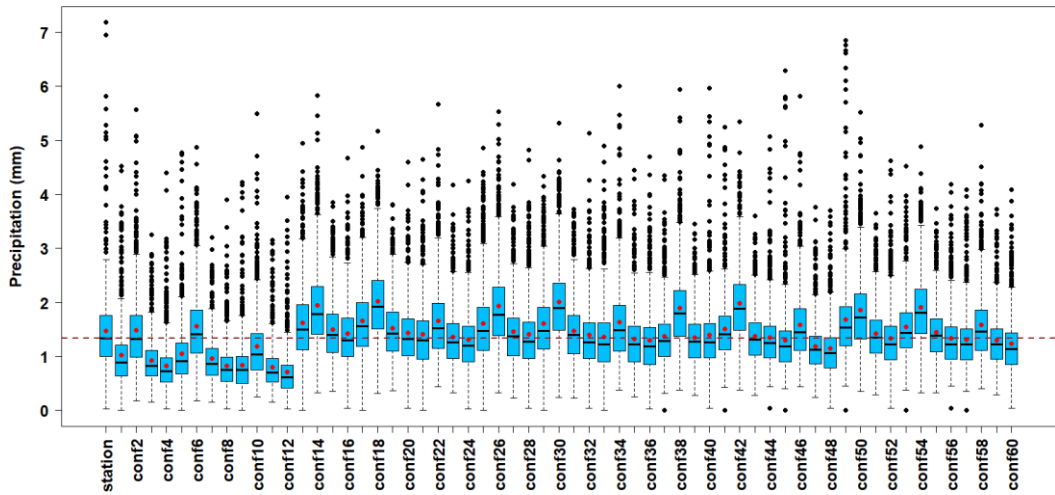
Tablo 4.2 Türkiye için RCP8.5 ve SSP5-8.5'e dayalı en iyi performans gösteren mevcut CMIP6 GCM'lerinin ve CMIP5'teki karşılıklarının yüzeye yakın sıcaklık simülasyonlarının yıllık ortalamaları ve standart sapmaları. CMIP5 ve CMIP6 GCM'lerindeki tüm yüzeye yakın sıcaklık anomalileri $p=0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır (Bağcı vd., 2021).

MODEL		MR ESM1 MR ESM2		MPI-ESM-MR MPI-ESM1-2- İnsan Kaynakları		CNRM-CM5 CNRM- ESM2-1		NOR-ESM1- M NOR- ESM2-MM		ORTALAMA	
Değişken		Sıcaklık (C°)		Sıcaklık (C°)		Sıcaklık (C°)		Sıcaklık (C°)		Sıcaklık (C°)	
Veri seti	Yıllar	Anlam	Sd	Anlam	Sd	Anlam	Sd	Anlam	Sd	Anlam	Sd
Referans	1986-2005	9.7	0,4	12.1	0,7	8.3	0,6	13.2	0,6	10.8	0,6
CMIP5	2030-2050	11.2	0,7	13.4	0,7	9.9	0,5	14.9	0,6	12.3	0,6
	2050-2070	12.0	0,5	14.7	0,8	11.3	0,8	16.1	0,6	13.5	0,7
	2070-2100	13.5	0,7	16.2	0,8	12.7	0,8	17.3	0,5	14.9	0,7
Referans	1995-2014	10.9	0,6	12.0	0,5	10.9	0,4	12.6	0,6	11.6	0,6
CMIP6	2030-2050	12.5	0,6	12.8	0,8	12.7	0,6	14.3	0,5	13.1	0,6
	2050-2070	13.9	0,7	14.6	0,8	13.7	0,7	15.6	0,6	14.4	0,7
	2070-2100	15.1	0,8	15.9	0,8	16.0	1.1	17.2	0,8	16.0	0,9
Δ (CMIP5 - BAŞVURU)	2030-2050	1.5	0,3	1.3	0.0	1.5	- 0,1	1.7	0.0	1.5	0.0
	2050-2070	2.3	0.0	2.6	0,1	2.9	0,3	2.9	0.0	2.7	0,1
	2070-2100	3.8	0,3	4.0	0,1	4.4	0,2	4.1	0.0	4.1	0,1
Δ (CMIP6 - BAŞVURU)	2030-2050	1.6	0.0	0,8	0,3	1.8	0,2	1.7	- 0,1	1.5	0,1
	2050-2070	3.0	0,2	2.6	0,2	2.8	0,2	2.9	0.0	2.8	0,2
	2070-2100	4.1	0,2	3.9	0,3	5.1	0,7	4.5	0,1	4.4	0,3
Δ (CMIP6 - CMIP5)	2030-2050	0,1	- 0,3	- 0,4	0,3	0,2	0,2	0.0	- 0,1	- 0,04	0,04
	2050-2070	0,6	0,1	0.0	0,1	- 0,2	0.0	0.0	- 0,1	0,11	0,04
	2070-2100	0,3	- 0,1	- 0,1	0,2	0,7	0,5	0,4	0,2	0,32	0,20

4.2 WRF fizik parametrelendirmelerinin duyarlılığının sonuçları

Şekil 4.10, yer gözlemlerinin ve 60 WRF yapılandırması simülasyonunun günlük ortalama yağış istatistiklerini gösterir. İstasyonların ortalama ve medyan değerleri sırasıyla 1,47 mm ve 1,33 mm'dir. WRF simülasyonları, 0,71 mm ile 2,03 mm arasında ortalama değerler ve 0,71 mm ile 2,03 mm arasında medyan değerlerle yüksek hassasiyet aralığı gösterir.

Konfigürasyonlar boyunca 0,61 mm ve 1,92 mm. 1 ile 12 arasındaki konfigürasyon numaraları (2 ve 6 hariç) yer gözlemlerinden çok daha az yağış göstermektedir. Öte yandan, Conf14, Conf18, Conf26, Conf30, Conf38, Conf42, Conf50 ve Conf54 istasyonlardan çok daha fazla yağış değeri vermektedir. Daha makul ardışık konfigürasyon aralığı Conf39 ve Conf49 arasındadır. Conf2, Conf20, Conf27, Conf43 ve Conf55 kutu boyutları, ortalama ve medyan değerleri açısından istasyonlara daha iyi uymaktadır. Ancak, bunların hiçbirisi korelasyonlar açısından en iyi performans gösteren beş konfigürasyonda yer almamaktadır. Bunun nedeni korelasyon hesaplamalarındaki aşırı baskınlık olabilir. Burada en iyi performans gösteren yapılandırma, yeni Thompson mikrofizik şemasından (Thompson ve diğerleri, 2008), Yonsei Üniversitesi (YSU) gezegensel sınır tabakası şemasından (Hong ve diğerleri, 2006) ve Tiedtke kümülüs parametrelendirme şemasından (Tiedtke, 1989; Zhang ve diğerleri, 2011) oluşmaktadır.

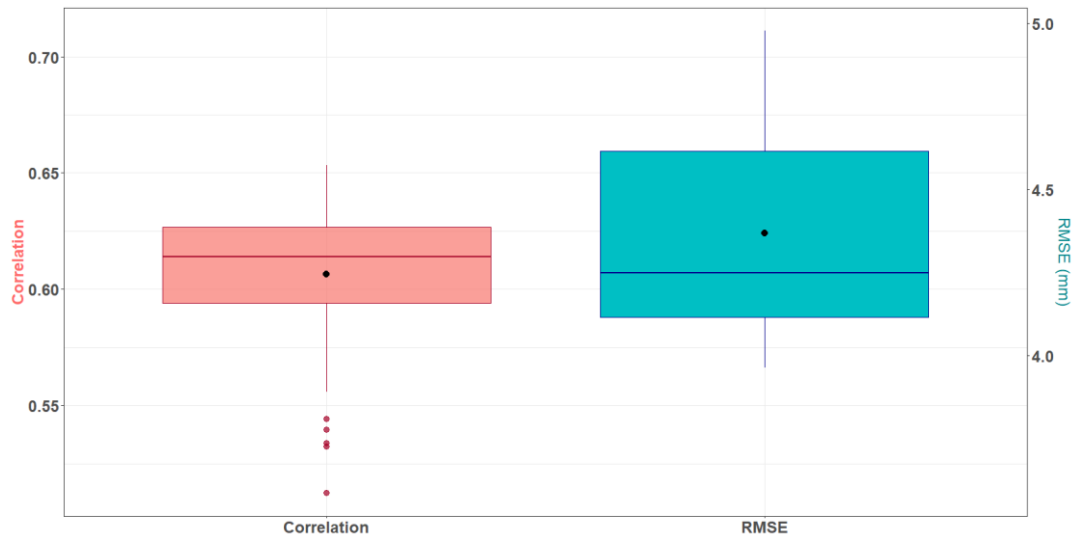


Şekil 4.10. Yer gözlemlerinin ve 60 WRF yapılandırmasının günlük ortalama yağış istatistikleri. İlk kutu istasyon istatistiklerini belirtir. Kesikli çizgi istasyonların medyan değerine aittir. Kutuların ortalama değerleri kırmızı noktalarla, medyan değerleri ise kutulardaki siyah çizgilerle gösterilir.

Şekil 4.11, yapılandırmaların günlük yağış korelasyonunu ve yer gözlemleriyle RMSE istatistiklerini gösterir. Korelasyon değerleri 0,51 ile 0,65 arasındadır. Beş yapılandırma, korelasyon veren alt kuyruk aykırı değerlerini oluşturur

0,55'ten düşük değerler. Ortalama ve medyan değerler birbirine yakın, yaklaşık 0,61. Öte yandan, RMSE değerleri 4 ile 5 mm arasındadır ve ortalama ve medyan değerler sırasıyla 4,37 ve 4,25 mm'dir.

Yukarıda belirtilen en iyi performans gösteren sonuç yapılandırması, bir sonraki bölümdeki uzun vadeli PGW çalışmalarında kullanıldı. 1995-2014 arasındaki retrospektif simülasyonlar, 1999 ve 2014 hariç, korelasyonlar açısından performans iyileştirmesi gösterdi. RMSE'ye gelince, burada yürütülen duyarlılık çalışmalarına benzer bir aralığa sahiptir. Daha fazla bilgi için lütfen bir sonraki bölüme bakın.



Şekil 4.11. WRF simülasyon yapılandırmaları genelindeki yağış istatistikleri. Günlük yağış korelasyonları (açık pembe kutulu sol eksen) ve RMSE'ler (turkuaz kutulu sağ eksen). Siyah noktalar korelasyonların ve RMSE'nin ortalama değerlerini gösterir.

4.3 PGW tabanlı dinamik küçültmenin sonuçları

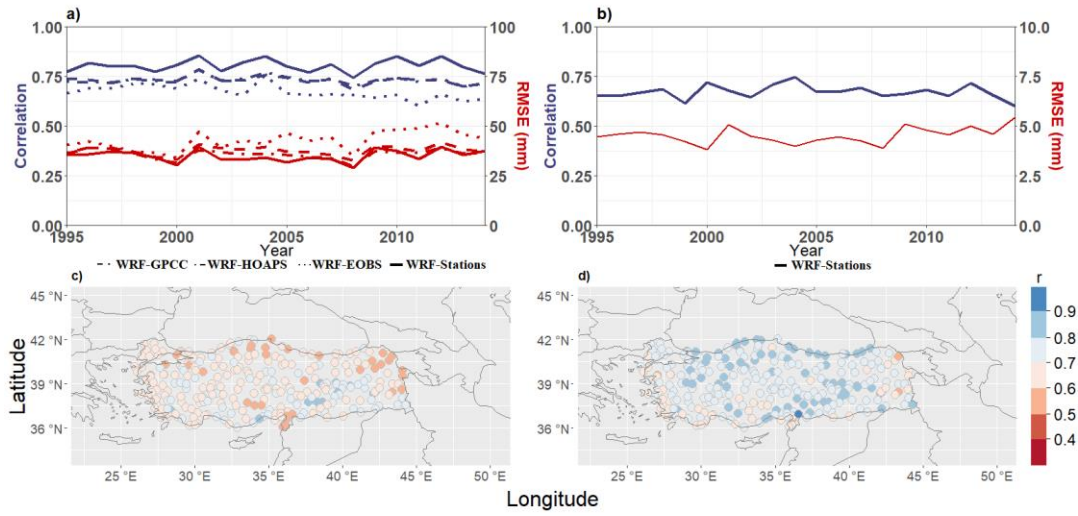
4.3.1 Doğrulama

E-OBS ve WRF simülasyonları arasındaki aylık yağış korelasyonu, ızgaralı veri kümeleri arasındaki en kötü seri olan 0,60 ila 0,76 arasında değişmektedir.

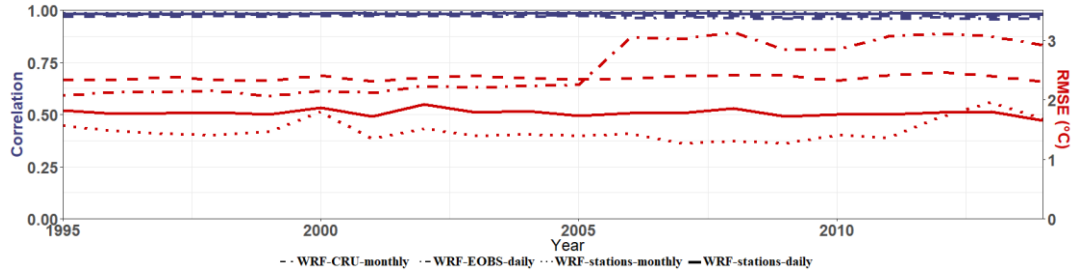
1995-2014 dönemi (Şekil 4.12a). Benzer şekilde, E-OBS'nin aylık RMSE değerleri diğerlerinden daha yüksek olan 34-52 mm aralığındadır. WRF'ye göre, GPCC ve GPCC-HOAPS, korelasyon ve RMSE değerleri açısından birbirleriyle yakın uyum içindedir. GPCC-HOAPS'nin aylık korelasyonu 0,70 ile 0,79 arasında değişmektedir ve GPCC korelasyonu, HOAPS'nin min-maks değerlerinden sadece yüzde bir daha düşüktür. Benzer şekilde, GPCC-HOAPS'nin aylık RMSE değerleri 29,8 ile 39,2 mm aralığındadır ve bu da GPCC'nin değerlerinden 3 mm daha düşüktür. WRF simülasyonları, aylık korelasyon değerleri için Türkiye yer gözlemleriyle en iyi performansı vermektedir. WRF ile istasyonlar arasındaki minimum korelasyon 0,74 iken, maksimum korelasyon 0,86'dır. İstasyonların RMSE değerleri 29,1-39,7 mm arasında değişmekte olup, GPCC ve GPCC-HOAPS değerlerine oldukça benzemektedir.

WRF simülasyonları ile Türkiye yer gözlemleri arasındaki günlük yağış istatistikleri de 1995-2014 dönemi için elde edilmiştir (Şekil 4.12b). Günlük korelasyon değerleri 0,60 ile 0,75 arasında değişmektedir ve RMSE değerleri 3,8 ile 5,4 mm aralığındadır. Yoğun yer ölçüm ağı nedeniyle, burada WRF simülasyonları ile istasyonlar arasındaki mekansal korelasyonu da vurguluyoruz (Şekil 4.12c ve d). Şekil 4.12c, 1995-2014 döneminde istasyonlar ile WRF simülasyonları arasındaki günlük korelasyonların mekansal dağılımlarını göstermektedir. Günlük korelasyonlar 0,5'ten düşük değildir ve güneydoğu Türkiye'de daha yüksek değerler (0,83'e kadar) vermektedir. Korelasyon değerleri en doğu Akdeniz kıyılarında ve kuzeydoğu Türkiye'de 0,5-0,6 arasında, Ege kıyılarında ve kuzeybatı ülkede ise 0,6-0,7 aralığında değişmektedir. Bunların dışında, mekansal korelasyonlar genellikle homojen bir görünüme sahiptir. Islak mevsim (NDJFM) günlük korelasyonları, WRF simülasyonları ve istasyonlar arasında çok yıllık günlük korelasyonlardan daha iyi bir uyum içindedir (Şekil 4.12 d). Günlük korelasyonlar ülkenin çoğunda 0,7-0,9 aralığında iken, Ege kıyıları ve Akdeniz kıyılarının bazı kısımlarında 0,6-0,7 bandında korelasyonlar vardır. Bunların dışında, ıslak mevsim günlük korelasyonlarında tutarlı bir mekansal desen yoktur.

Yüzeye yakın sıcaklık istatistikleri, ızgaralı ve yer gözlemleri ile WRF simülasyonları arasında yağıştakilerden çok daha iyi bir uyum göstermektedir (Şekil 4.13). 20 yıllık günlük yüzeye yakın sıcaklık korelasyonları, WRF-EOBS ve WRF-yer gözlemleri arasında sırasıyla 0,97 ve 0,98'dir. Aynı dönemdeki günlük RMSE değeri, WRF-yer için 1,78 °C ve WRF-EOBS için 2,53 °C'dir. WRF ve CRU arasındaki aylık yüzeye yakın sıcaklık korelasyonu 0,97 iken, WRF ve yer gözlemleri arasında 0,99'dur. RMSE değerleri, WRF-CRU ve WRF-yer gözlemleri arasında sırasıyla 2,37 ve 1,48 °C'dir.



Şekil 4.12. WRF simülasyonları yağış istatistikleri: a) Aylık yağış korelasyonu (mavi çizgilerle sol eksen) ve RMSE (kırmızı çizgilerle sağ eksen). Kesintisiz çizgi WRF-yer gözlem istatistiklerini, kesikli çizgi WRF-GPCC istatistiklerini, nokta kesikli çizgi WRF-GPCC HOAPS istatistiklerini ve noktalı çizgi WRF-EOBS istatistiklerini göstermektedir. b) a'daki gibi, ancak WRF ve yer gözlemleri arasındaki günlük yağış istatistikleri için. c) 1995-2014 yılları arasında Türkiye alanında WRF ve yer gözlemleri arasındaki mekansal günlük yağış korelasyonları. d) c'deki gibi, ancak yağışlı mevsim için (NDJFM).

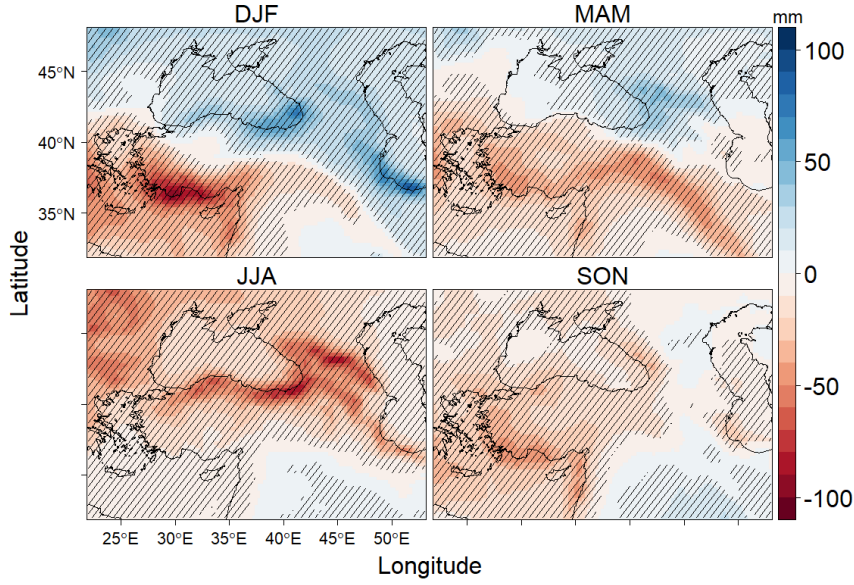


Şekil 4.13. WRF simülasyonlarının yüzeye yakın sıcaklık istatistikleri: Günlük ve aylık korelasyon (mavi çizgilerle sol eksen) ve günlük ve aylık RMSE (kırmızı çizgilerle sağ eksen). Kesintisiz çizgi günlük WRF yer gözlem istatistiklerini, kesikli çizgi aylık WRF-CRU istatistiklerini, nokta kesikli çizgi günlük WRF-EOBS istatistiklerini ve noktalı çizgi aylık WRF-yer gözlem istatistiklerini gösterir.

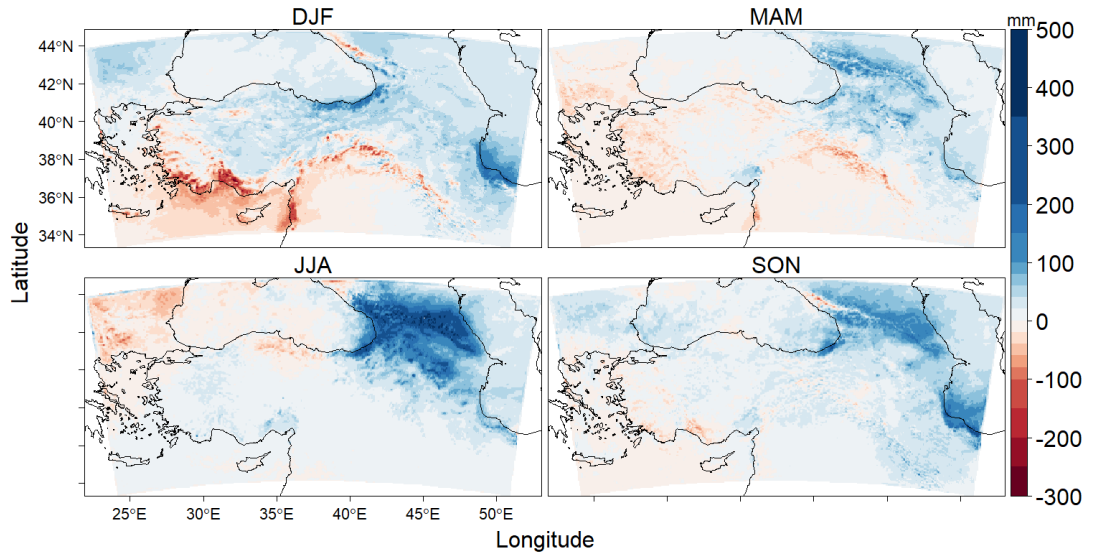
4.3.2 Mevsimsel yağış değişimi

Daha kaba bir çözünürlükte, GCM topluluğu, kışın EMBS'nin Akdeniz ve Ege kıyılarında 100 mm'ye kadar önemli bir yağış azalması gösteriyor; bu tür bir kuruma kuzeyde İç Anadolu Yarımadası'na ve güneyde Kıbrıs, Girit ve Suriye Akdeniz kıyılarına ulaşıyor ve 35-40 mm'ye kadar kademeli bir düşüş gösteriyor (Şekil 4.14). Benzer bir desen Bereketli Hilal'in kuzeyinde ve yaklaşık 15 mm'lik azalan miktarlarda gözlemlenebilir. Öte yandan, aynı topluluk Karadeniz'in güneydoğu kıyılarında ve Hazar Denizi'nin güneybatı kıyılarında 80 mm'ye kadar bir yağış artışı bekliyor. Yağış artışı, Kafkasya ve Kuzeydoğu Anadolu dahil olmak üzere bu bölgeler arasındaki iç alanlarda yaklaşık 25-35 mm'dir. Azalmalar/artışlar %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlıdır. Daha yüksek çözünürlüklü bir simülasyonda, WRF modeli deseni makul bir düzeyde, ancak geliştirilmiş büyüklüklerle yakalar (Şekil 4.15). Burada, WRF modeliyle, yıllık yağışın çoğunu

orografisi, GCM topluluğunun neredeyse iki buçuk katıdır. Bu tür gelişmiş kurutma, yukarıda belirtilen desen benzeri bölgelerde de mevcuttur. Yağış artışı olan bölgeler, Rusya Karadeniz kıyıları hariç, aynı zamanda tutarlıdır. Burada, yağış azalması 100 mm'ye kadardır. Öte yandan, WRF simülasyonları, Türkiye'nin kuzeydoğu Karadeniz kıyılarında, GCM topluluğundan daha gelişmiş büyüklükte, 100 ila 200 mm arasında bir yağış artışı göstermektedir.



Şekil 4.14. 13 CMIP6 GCM model topluluğundan alınan 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (tarihsel) arasındaki mevsimsel yağış değişimi (mm cinsinden). $p \leq 0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı değişimler çizilmiştir.



Şekil 4.15. EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilen mm cinsinden 1995-2014 yılları arasındaki mevsimsel yağış değişimi ve buna karşılık gelen sözde gelecek dönem.

İlkbahar mevsimi yağış deseni, yağış düşüş miktarının çoğunlukla daha az ancak daha yaygın olduğu güney EMBS üzerindeki kış mevsimine benzemektedir. Düşüş, Kıbrıs, Girit ve Türkiye ve Suriye'nin Akdeniz kıyılarında yarı yarıya düşer ve Bereketli Hilal'in kuzey kolu üzerinde GCM topluluğu ile üç katına çıkar. WRF simülasyonları, tüm bu bölgelerdeki düşüşte daha keskin bir düşüş ortaya koyar ve Bereketli Hilal'in en kuzeybatısının küçük bir kısmında 85 mm'ye kadar bir artış gösterir. Kafkasya ve Kuzeydoğu Anadolu üzerinde yağış artışı benzerdir; ancak WRF modeliyle artış, Anadolu'nun dağlık bölgesi boyunca daha güneye nüfuz eder. Kafkasya üzerindeki WRF simülasyonlarında yağış artışı yaklaşık 100 ila 170 mm arasındadır ve bu, GCM topluluğunun dört katıdır. Hazar Denizi'nin güneybatı kıyılarında kesintiye uğramış bir alanda WRF modeliyle artış, GCM topluluğuyla ise azalma şeklinde ters bir işaretin gözlemlendiği, bunun da $p \leq 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirtilmelidir.

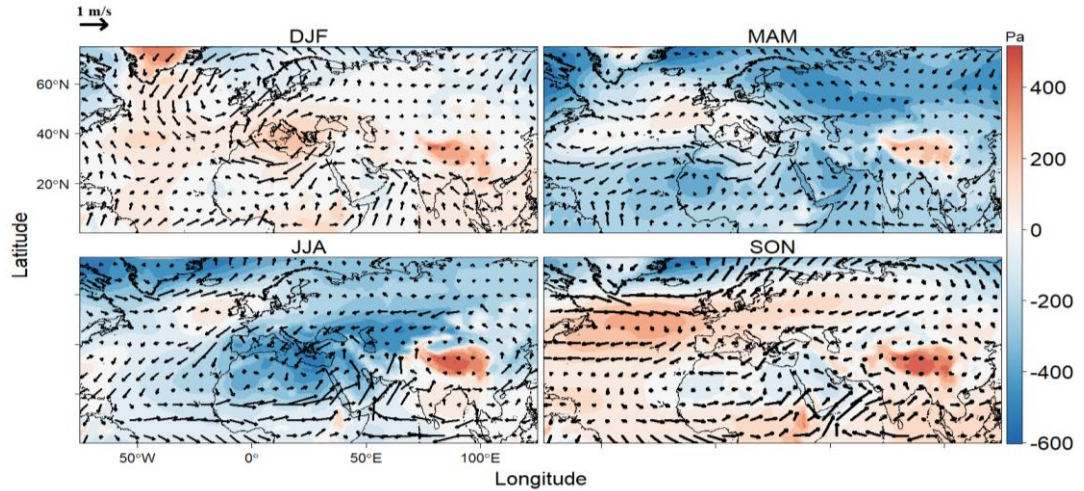
Yazın, tablo daha da farklılaşıyor. Karadeniz'in güneydoğu kıyıları ve Hazar Denizi'nin kuzeybatı kıyıları, Kafkaslar ve

Çevredeki yaylalar, WRF simülasyonları ile yüksek bir yağış artışı yaşarken (çoğunlukla 100mm ile 350 mm arasında ve marjinal noktalar için 500 mm'ye kadar), GCM'ler 90 mm'ye kadar istatistiksel olarak anlamlı yüksek bir düşüş beklemektedir. Diğer mevsimlere göre yazın çok daha az yağış alan EMBS'nin güney kısmı ve Anadolu platosunun çoğu da GCM topluluğu ve WRF simülasyonları arasında farklı işaretler göstermektedir, ancak Kafkasya ve yakın bölgelerde o kadar fazla değildir. GCM topluluğu, $p \leq 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bölgelerde 20 mm'ye kadar bir düşüş gösterirken, WRF simülasyonları bölge boyunca çoğunlukla 20 mm'ye kadar bir artış göstermektedir (marjinal noktalar için bu miktar 100 mm'ye çıkmaktadır). GCM topluluğu ve WRF simülasyonları ile Suriye ve Irak topraklarının çoğunda yağış artışının 2 mm'yi geçmediğine dikkat edilmelidir. Geriye kalan bölgelere bakıldığında, resim daha uyumludur. GCM topluluğu ve WRF modeli, EMBS'nin kuzeybatı kısmı ve en kuzey Anadolu'nun doğusundaki Karadeniz kıyıları üzerindeki marjinal noktalar hariç tutulduğunda belirgin kuruma ve miktarı konusunda hemfikirdir.

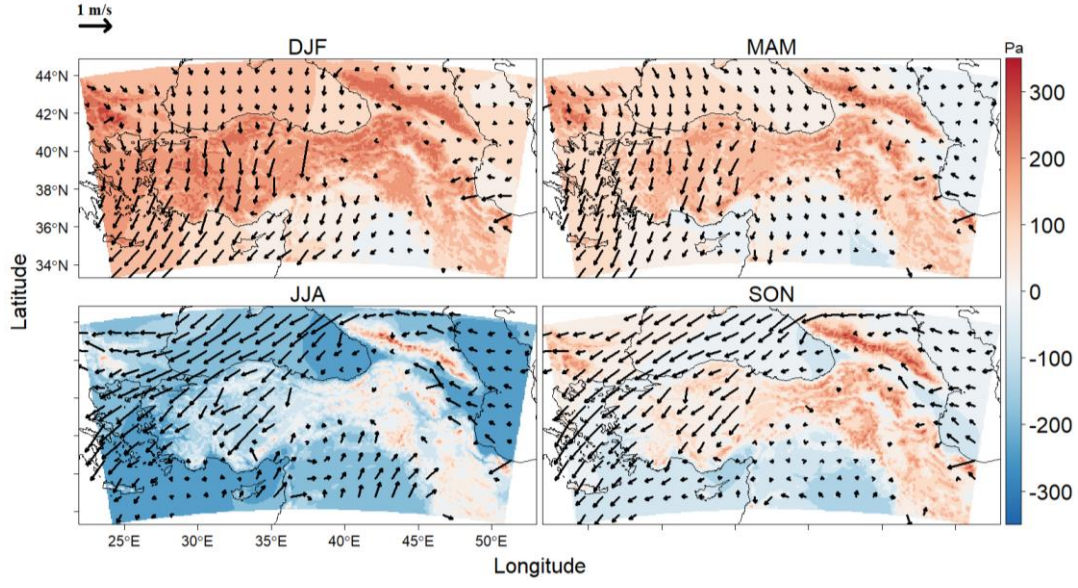
GCM topluluğu, Doğu Kafkasya ve güneyinde $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı yağış değişimleri göstermezken, WRF simülasyonları aynı bölge üzerindeki sonbahar mevsimindeki yağışı artırıyor. Yağış artışı Kafkasya ve yakın bölgelerde 100 mm'yi aşıyor ve WRF simülasyonları ile Türkiye'nin doğu Karadeniz kıyısı ve güneybatı Hazar Denizi kıyılarında 200 mm'yi aşıyor. Artış ayrıca azalan değerlerle güneye ve batıya doğru da nüfuz ediyor. Ancak, yağış düşüşü GCM topluluğu ve WRF modeli arasında Kafkasya'nın kuzeybatı kısmına ve Rus Karadeniz kıyılarına doğru ortak bir tabloyu paylaşıyor. Öte yandan, GCM topluluğu Bulgaristan üzerinde yaklaşık 10 mm'lik istatistiksel olarak anlamlı bir yağış düşüşü gösteriyor. WRF simülasyonları ülke genelinde yaklaşık 10 ila 60 mm arasında bir artış gösteriyor. Güneybatı Anadolu platosu, Türkiye'nin Akdeniz ve Ege kıyıları, Kuzey Yunanistan, Yunan adaları ve Kıbrıs'taki kuruma ve miktarı GCM topluluğu ile WRF modeli arasında büyük ölçüde uyum göstermektedir.

4.3.3 "Dinamik" ve "termodinamik" faktörler

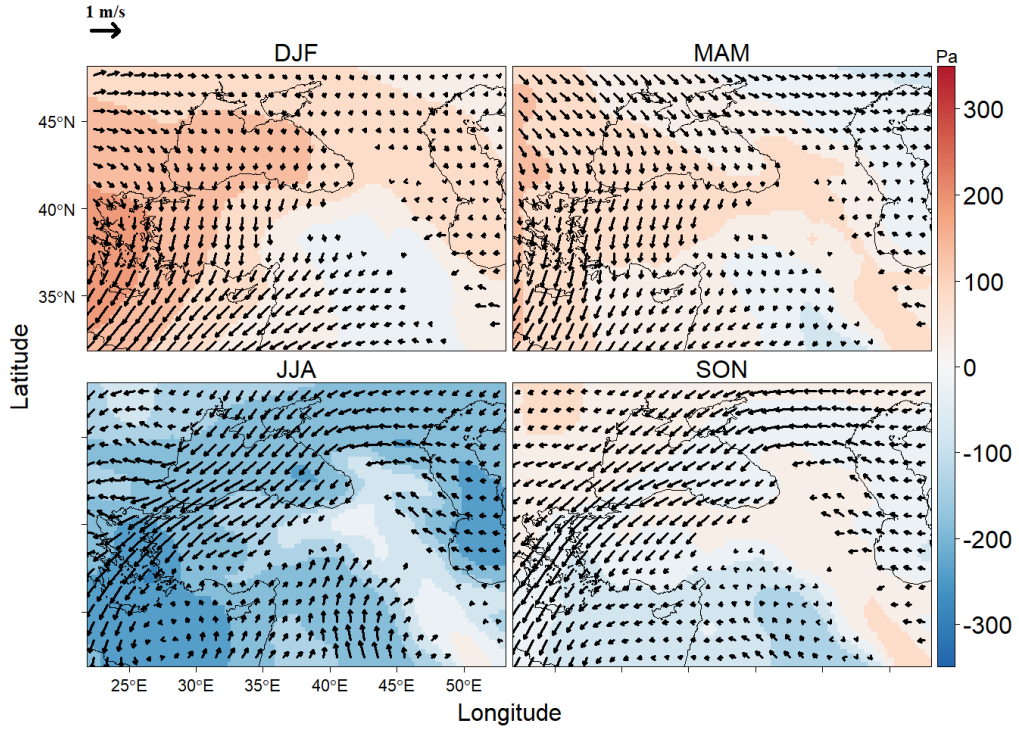
CMIP6 GCM'leri, selefleri gibi, kışın güney İtalya üzerinde "anormal" bir sırt oluşumu gösterir ve tüm Akdeniz üzerinde etkili olur (Şekil 4.16). Kuzeybatıya doğru hareket eder ve ilkbaharda Fransız ve İngiliz kıyılarının yakınında Kuzey Atlantik üzerindeki yüksek basınç sistemine yaklaşır. Yüzey antisiklonu gücünü kaybeder ancak yine de EMBS üzerindeki düşük seviyeli dolaşımı yönetir. Yaz mevsiminde, Bengal Körfezi'nin kuzeyi ile Doğu Akdeniz arasında dipol benzeri SLP desen oluşumu öne çıkar. Bu, EMBS üzerinde siklonik bir düşük seviyeli dolaşım gelişimiyle sonuçlanır. Sonbahar mevsiminde, düşük basınç sistemi Doğu Akdeniz üzerinde büyük ölçüde azalır; ancak güneyde Kuzey Afrika ve Arap Yarımadası üzerinde ve kuzeyde güney EMBS üzerinde hala mevcuttur. Kuzey EMBS üzerindeki dolaşımı etkilediği görünen bir diğer düşük basınç sistemi doğu Hazar Denizi'nde yer almaktadır. Ayrıca yaza kıyasla azalmış bir görünüme sahiptir. Genel olarak, EMBS'nin büyük bölümünde dolaşım düzeni açısından kış mevsimini ilkbahar mevsimi, yaz mevsimini ise sonbahar mevsimi takip eder.



Şekil 4.16. 13 CMIP6 GCM model topluluğundan alınan 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (geçmiş) arasındaki PGW zorlamasının büyük ölçekli düşük seviye (850 hPa) sirkülasyonu (rüzgarlar vektör olarak) ve SLP (gölgelendirmeler) değişim sinyali. Rüzgar vektörleri m/sn ve deniz seviyesi basıncı pascal birimlerindedir. Referans vektörü sol üstte sunulmuştur.



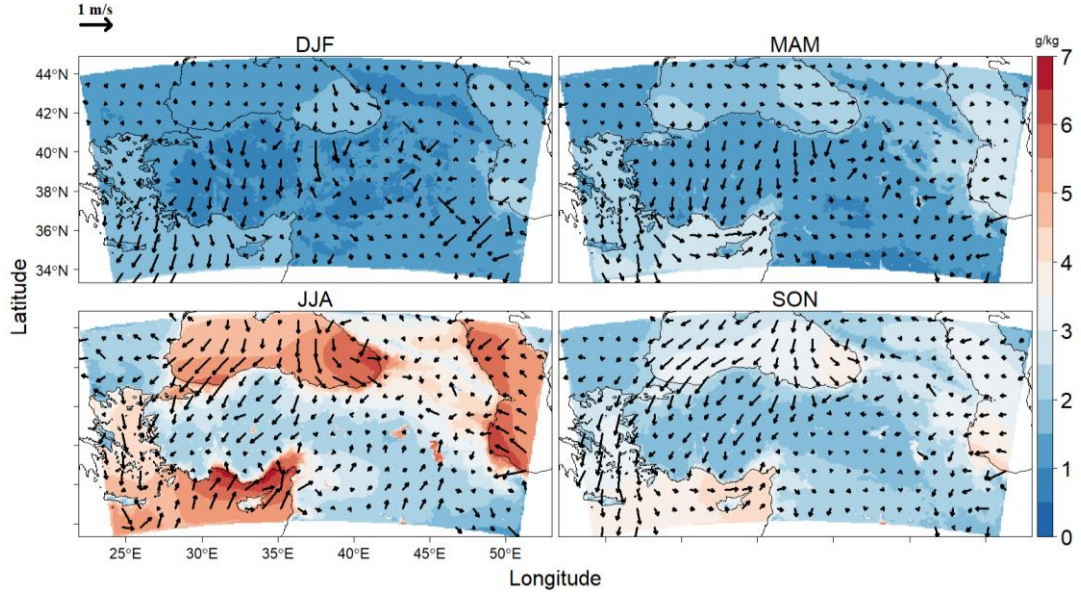
Şekil 4.17. 1995-2014 arasındaki düşük seviye (850 hPa) sirkülasyon (rüzgarlar vektör olarak) ve SLP (gölgelendirmeler) değişimi ve EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için karşılık gelen sözde gelecek dönem. Rüzgar vektörleri m/s birimlerindedir ve deniz seviyesi basıncı pascal birimlerindedir. Referans vektörü sol üstte sunulmuştur.



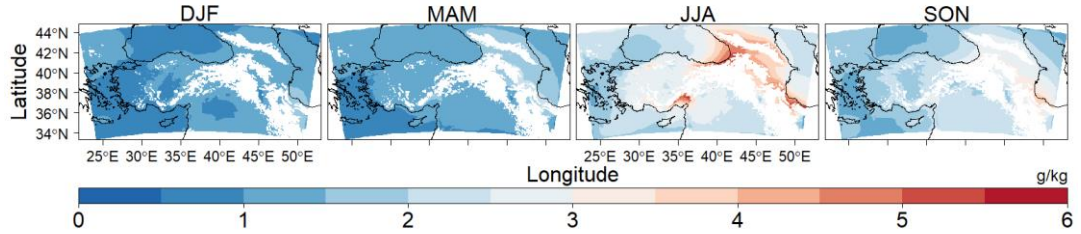
Şekil 4.18. Genişletilmiş EMBS alanı için 13 CMIP6 GCM model topluluğundan alınan 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (tarihsel) arasındaki PGW zorlamasının düşük seviyeli (850 hPa) sirkülasyonu (rüzgarlar vektörler olarak) ve SLP (gölgelendirmeler) değişim sinyali. Rüzgar vektörleri m/sn birimlerindedir ve deniz seviyesi basıncı pascal birimlerindedir. Referans vektörü sol üstte sunulmuştur.

Şekil 4.17, anormal sırtın kışın EMBS bölgesinin çoğunda, en batıdan kuzeybatı Kafkasya ile doğuda Suriye-Irak sınırı arasındaki dikey çizgiye kadar düşük seviyeli antisiklonik sirkülasyonu güçlendirdiğini göstermektedir. Bu, antisiklonik tepkiyi ancak daha az güçlendirilmiş rüzgar desenlerini gösteren GCM topluluk simülasyonlarıyla tutarlıdır (Şekil 4.18). Rüzgar akışı kuzey ve kuzeybatı EMBS'de kuzeybatı ve kuzeydir ve bugünün ikliminde kuru ve soğuk havayı taşıdığı bilinmektedir. Taşınan hava, yakın yüzeyde 1-1,5 g/kg ve alt troposferde yaklaşık 1 g/kg arasında özgül nemde nispeten küçük bir artışla gelecek dönem için biraz daha nemli hale gelir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20). Bu faktörlerin yağışı artırması beklenmektedir

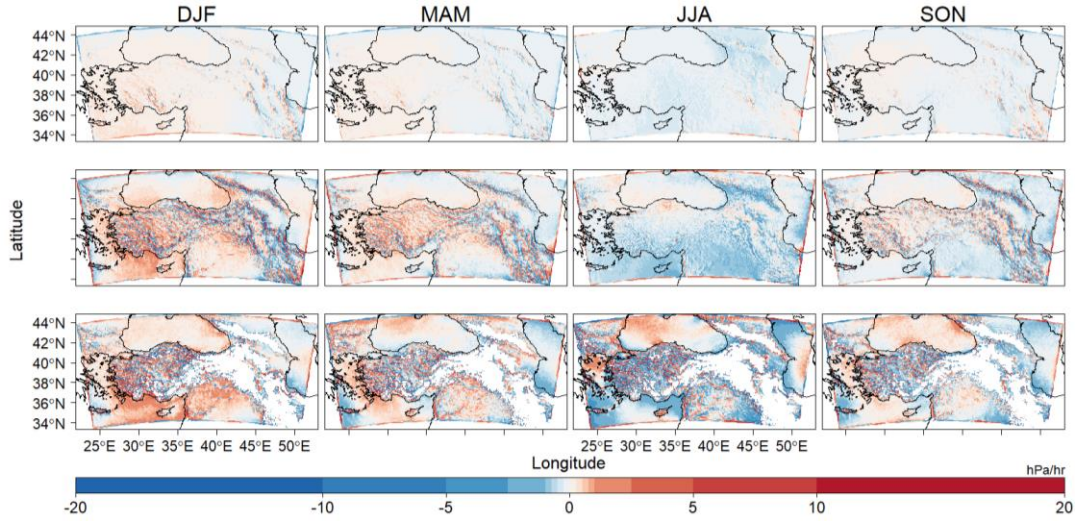
Kuzey Bulgaristan ve Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi, nemli rüzgar desenleri dağ sırasına dik olduğundan orografik iyileştirme ile. Çoğunluk tarafından durum böyledir; ancak, beklenen resim WRF simülasyonlarıyla güneybatı Karadeniz Bölgesi kıyılarının bazı kısımlarında geçerli değildir. Burada, yağış azalması orta troposferik çökmeyle ilişkili görünmektedir (Şekil 4.21). EMBS'nin güneyinde, yağış, troposferin hemen hemen tüm seviyelerindeki çökmeyle tutarlı olarak önemli ölçüde azalır. Azalma, batıdan İç Anadolu Platosu'na ve Akdeniz kıyısına doğru da belirgindir ve bu, GCM topluluk simülasyonlarıyla tutarlıdır (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15). Ancak, plato, toplulukta olduğu gibi yağış değişimi açısından homojen bir şekilde tepki vermez; bu, havanın yükseldiğini/ alçaldığını gösteren dikey basınç hızı için de geçerlidir. WRF simülasyonları, daha güçlenmiş orta seviye troposferik çökme ve yüksek çığ noktası depresyonu sonucu Güneydoğu Anadolu'da yağış azalması ve Suriye ve Kuzey Irak'a doğru uzandığını göstermektedir. Kuzeyli rüzgarların "zorla aşağı" etkisinin, güney EMBS üzerindeki dağ sıralarını geçerek bir kuşak boyunca sınırlı olduğunu göstermektedir. Kuzey EMBS'dekine benzer bir fenomen, Hazar Denizi'nin güneybatı kıyılarındaki yağış artışını açıklayabilir. Burada, rüzgar desenleri doğudan ve dağ sırasına diktir ve nemli hava parselinin artan yukarı doğru hareketine neden olur. Ayrıca, çığ noktası depresyonunun azaldığı Kafkasya'daki nadir bölgelerden biri buradadır (Şekil 4.22). Ayrıca, kuzeybatı kenarı hariç Kafkasya'daki artan yağışı da açıklayabilir. Burada, yağış baskılanmasından sorumlu görünen çığ noktası depresyonu ve orta troposferik çökme artmaktadır. Isınmaya gelince, Doğu Anadolu Platosu 8,8 °C'de maksimuma ulaşır, bu da GCM topluluğundan yaklaşık 2,4 °C daha fazladır (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23). Aynı bölge kışın kar örtüsü alanını büyük ölçüde kaybeder (gösterilmemiştir). Geri kalan bölgelerdeki ısınma 2,2 °C'den az değildir. Kara ısınması Türkiye'nin Akdeniz ve Karadeniz kıyılarında denizden 2 °C'ye kadar daha fazladır.



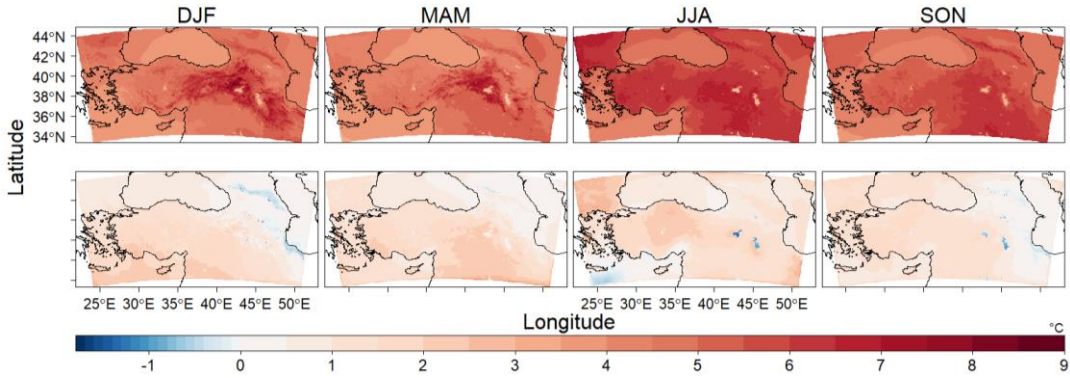
Şekil 4.19. EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için 1995-2014 ve karşılık gelen sözde gelecek dönem arasındaki yüzey yakınındaki (rüzgarlar için 10 metre ve özgül nem için 2 metre) rüzgar deseni (vektörler) ve özgül nem (gölgelemeler). Rüzgar vektörleri m/s ve özgül nem g/kg birimlerindedir. Referans vektörü sol üstte sunulmuştur.



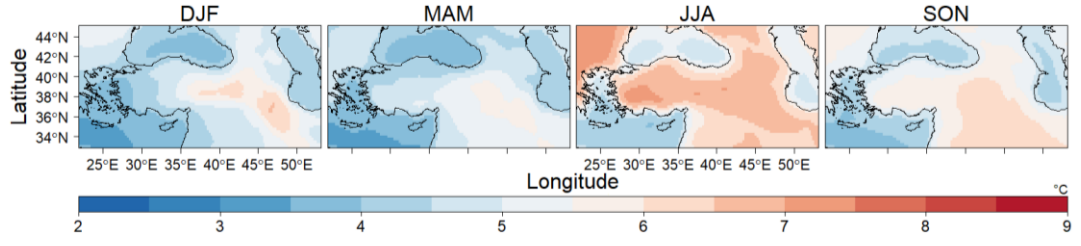
Şekil 4.20. EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için 1995-2014 yılları arasındaki düşük seviye (850 hPa) özgül nem değişimi ve buna karşılık gelen sözde gelecek dönem g/kg biriminde.



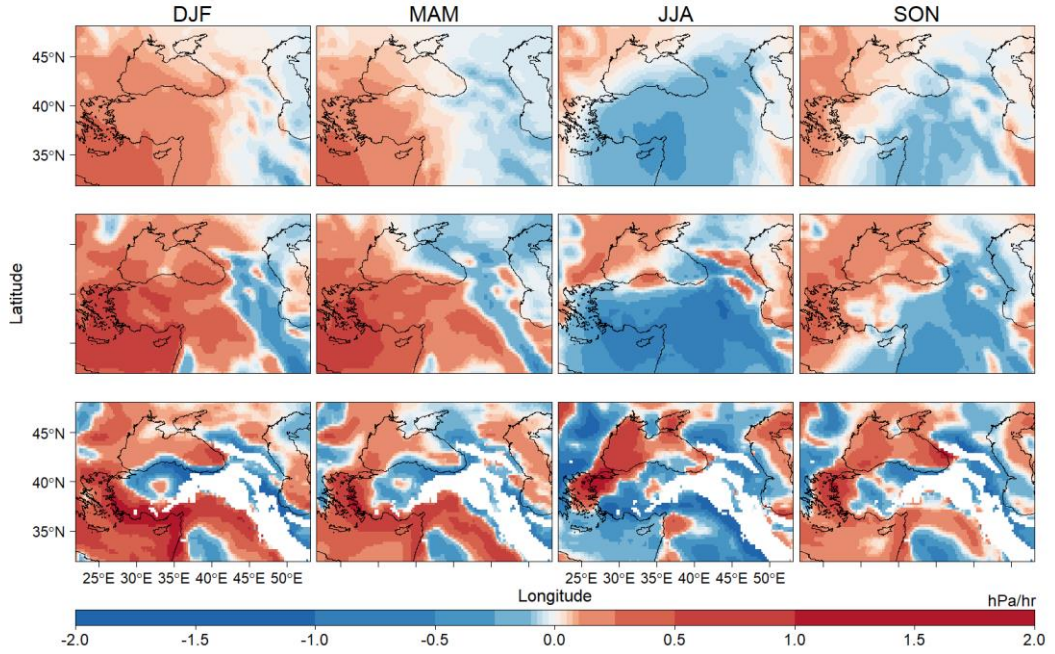
Şekil 4.21. EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için hPa/saat biriminde 1995-2014 arasındaki dikey basınç hızı (omega) değişimi ve karşılık gelen sözde gelecek dönem. Omega değişimleri 200 hPa (üstte), 500 hPa (ortada) ve 850 hPa (altta) basınç seviyelerinde sunulmaktadır.



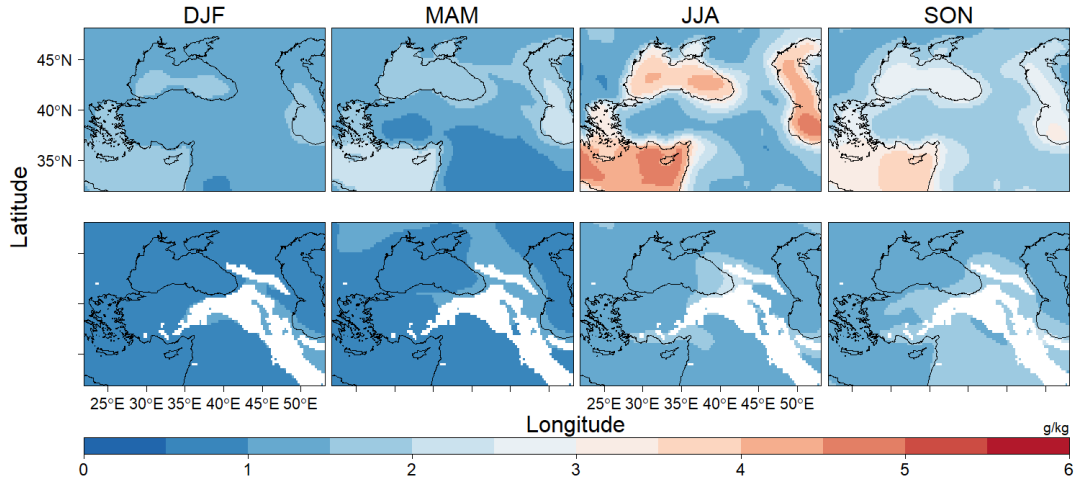
Şekil 4.22. 1995-2014 arasındaki yüzey sıcaklığı (üstte) ve çiğ noktası depresyonu (altta) ve her mevsim için EMBS alanı için WRF simülasyonlarından elde edilen °C birimindeki karşılık gelen sözde gelecek periyot arasındaki değişim. Çiğ noktası depresyonu, yüzey yakını ve 700 hPa basınç seviyesi arasındaki değerlerle ortalama alındı.



Şekil 4.23. 13 CMIP6 GCM model topluluğundan alınan, genişletilmiş EMBS alanı için 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (geçmiş) arasındaki PGW zorlamasının yüzeye yakın sıcaklık değişim sinyali, °C biriminde.



Şekil 4.24. 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (tarihsel) arasındaki dikey basınç hızı (omega) değişim sinyali, genişletilmiş EMBS alanı için hPa/saat biriminde 13 CMIP6 GCM model topluluğundan alınmıştır. Açıklamanın WRF simülasyonlarının onda biri olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 4.25. 2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (tarihsel) arasındaki PGW zorlamasının özgül nem değişim sinyali, genişletilmiş EMBS alanı için 13 CMIP6 GCM model topluluğundan g/kg biriminde alınmıştır. İlk satır yüzeye yakın (2 m'de) değişimleri ve ikinci satır düşük seviyeli (850 hPa'da) değişimleri göstermektedir.

İlkbahar mevsimi, kış mevsimindekine benzer bir düşük seviyeli dolaşım örüntüsü gösterir ancak daha nemli bir atmosfere sahiptir (Şekil 4.17, 4.19, 4.20). Yağış azalması benzer bir örüntüye sahiptir ancak güney ve güneybatı EMBS'de daha az yoğunudur (Şekil 4.15). Mevsimsellik ve bölgesel yağış farklılıklarının EMBS'nin çoğunda tipik olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, azalma miktarı karşılaştırmada yanıltıcı olmamalıdır. Bulgaristan üzerindeki yağış azalması, önemli düşük seviyeli çökme ve artan çığ noktası depresyonuyla ilişkili görünmektedir çünkü kuzey ülkesinde kış yağışını tetikleyen hakim rüzgar örüntüleri yön değiştirmeden güçlenmektedir (Şekil 4.17, 4.21, 4.22). Anormal sırt darbeyi yumuşatsa da, Ege Denizi ile Akdeniz arasındaki çapraz koridorda neredeyse tüm seviye çökmeleriyle kendini göstermektedir (Şekil 4.16, 4.17, 4.21). Çoğunlukla koridora düşen bölgelerdeki yağış azalmasını açıklar. Ancak koridorun dışında (batı tarafı), Girit Adası da yağış azalması yaşar. Ada, yüzey antisiklonun güçlendiği bölgededir ve bu da yağışı baskılayabilir. Ayrıca,

derin troposferde, çığ noktası depresyonu artar ve havayı daha kuru hale getirir. Koridorun doğu tarafında, en doğudaki Akdeniz kıyılarına ve iç Toros dağlarına işaret eden, yukarı doğru hareket eden nemli hava parseli (negatif omega), değişmeyen rüzgar düzenleri altında yağışta artışa neden olur. EMBS'nin kuzeydoğusu oldukça farklı bir resim sergiler. Burada, yağış artışı özellikle Kafkasya üzerinde dramatiktir. Rüzgar düzenleri, deniz seviyesindeki basınç değişimine uygun olarak Hazar Denizi'nin kuzeyinde batıdan, güneyinde doğudan esmektedir. Orta ve üst troposferik negatif dikey basınç hızı, nemli havanın doğu EMBS'de bulunan yüksek rakımlı bölgeler boyunca yükselmesini teşvik eder. Yağışın orografik artışı, rüzgarın dik estiği Hazar Denizi'nin güneybatı kıyısı ve iç kesimlerinde görülür. Kış mevsimine benzer şekilde, yüzeye yakın ısınma, Doğu Anadolu Platosu ve Toros dağlarının yüksek rakımlı bölgelerinde 8 °C ile mevsimsel maksimumunu gösterir; bu, GCM topluluğundan yaklaşık 2,3 °C daha fazladır (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23). Yaz mevsimi, Barcikowska ve ark. (2019) tarafından ileri sürüldüğü gibi, Arap Yarımadası'nın iç kesimlerinde oluşan ısı alçak basıncının EMBS üzerindeki uzak etkisini sergiler. Pers çukurunun yoğunlaşmasının, yükselen hava ve yakınsak akışla karakterize edilen alçak basınca eşlik ettiğini gösterdiler. Ayrıca, bu etkinin EMBS üzerindeki çökmeyi zayıflatma ve Orta Akdeniz üzerindeki çökmeyi artırma eğiliminde olduğunu belirttiler. Deniz seviyesindeki basınç dipol farklarını artırarak güçlenen Etesian rüzgarlarına neden olur. Burada yazarların güçlendirilmiş Pers çukuru ve içine doğru yakınsak akış hakkındaki görüşlerini doğruluyoruz (Şekil 4.16, 4.17, 4.21 ve Şekil 4.24). Ayrıca, yazarların belirttiğinden daha batıda yer almasına rağmen, doğu Akdeniz üzerindeki ısı düşüklüğü oluşumuna eğilimi de doğruluyoruz. Ancak, merkezi Akdeniz üzerindeki sınırda deniz seviyesinde bir basınç artışı gözlemlemedik. Bu, 850 hPa rüzgar desenlerinin Ege Denizi boyunca kuzeyden kuzeydoğuya doğru sapmasıyla sonuçlanır, ancak Etesians, yönünü yüzey seviyesine yakın bir yerde koruyarak güçlenir (Şekil 4.19). Karadeniz üzerinde benzer bir zıt deniz seviyesi basıncı işareti mevcuttur. Burada, düşük seviye rüzgarının Hazar Denizi'nden kuzeye doğru estiği Karadeniz üzerinde negatif SLP değişimi gözlemledik.

deniz, GCM topluluğu ve WRF arasında tutarlıdır (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18). Doğu Akdeniz üzerindeki çökmenin zayıflaması, Anadolu Platosu'nun çoğunu içeren güney EMBS'de kendini gösterir. Yağış bu bölgelerde hafifçe artar. Bahsedilen bölgelerin güçlü mevsimsellik gösterdiğine dikkat edilmelidir; bu nedenle hafif bir artış yüksek bir yüzdeyi oluşturur. Öte yandan, kara-deniz sıcaklığı kontrastı WRF simülasyonlarıyla artar (Şekil 4.22), yani kara denizden daha hızlı ısınır ve bu da güney EMBS'nin kıyı bölgelerindeki yağışı baskılayabilir (Barcikowska ve diğerleri, 2019). Düşük ve orta troposferik çökmeye, kuzeybatı EMBS üzerinde bir yağış azalması eşlik eder. Yakınsak akış, güney Pers çukuru üzerinde önemli bir yağış artışına dönüşmez. Kafkasya'yı merkez alan kuzeydoğu EMBS üzerinde GCM topluluğu ile WRF simülasyonları arasında yaz yağışında büyük bir tutarsızlık mevcuttur. WRF simülasyonu anormal bir yağış artışı gösterirken, GCM topluluğu önemli bir azalma göstermektedir. Aslında, düşük seviye (850 hPa) dolaşım değişimi bölge üzerinde benzer bir resim çizmektedir. Ayrıca, düşük ve üst troposferik (200 hPa) basınç hareketleri benzer bir desene sahiptir (Şekil 4.21 ve Şekil 4.24). Ancak, dikey basınç hızı orta troposferde zıt bir işarete sahiptir. WRF simülasyonu güçlü bir hava yükselişi sergilerken, GCM topluluğu orta troposferde Kafkasya üzerinde bir iniş göstermektedir. Ayrıca, WRF simülasyonları, genişletilmiş bir alana sahip GCM topluluğuna kıyasla yüzeye yakın ve alt troposferde daha özgül bir nem artışı göstermektedir (Şekil 4.19, 4.20 ve Şekil 4.25). Aşağıdaki bölüm, bu tutarsızlığı ek bir analizle incelemektedir. Yüzeye yakın sıcaklık artışı daha homojen bir görünüme sahiptir; burada GCM topluluğu, yaklaşık 7,3 °C ile kuzeybatı EMBS üzerinde ve yaklaşık 7,2 °C ile batı Anadolu üzerinde mevsimsel maksimumlarını göstermektedir (Şekil 4.23). WRF simülasyonları, ısınma miktarı açısından kuzeybatı EMBS için uyumludur ve batı Anadolu için 0,5 °C daha az ısınma beklemektedir. Ancak, Kafkasya'nın yüksek rakımlarında 7,3 °C'yi aşan değerlerle ısınma maksimumları göstermektedir (Şekil 4.22).

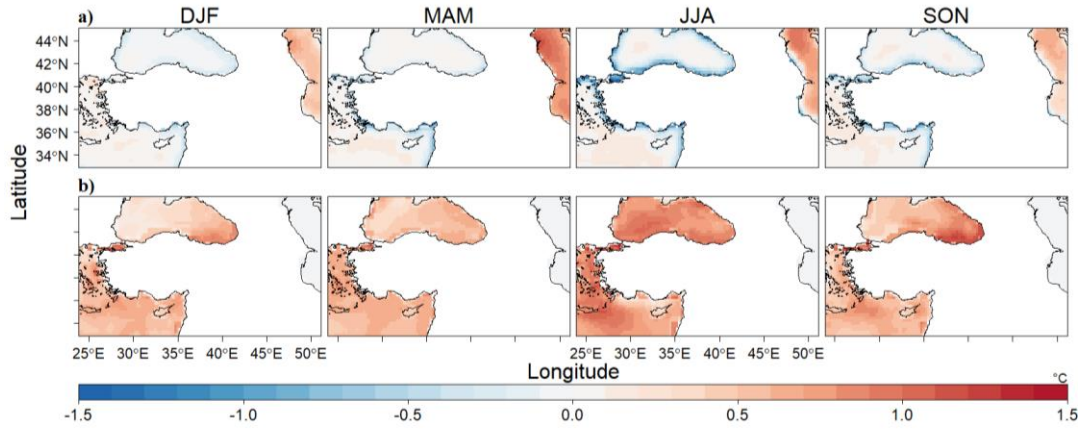
Sonbahar mevsimi, EMBS'nin çoğunda yaz mevsimindekine benzer düşük seviyeli sirkülasyon ve yağış desenleri gösterir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.17). Yağış değişimindeki en belirgin fark kuzeybatı bölgesinde mevcuttur. Burada, çökme hafifçe azalır ve hava yükselmesi orta troposferde hafifçe artar (Şekil 4.21). Rüzgar desenleri de doğudan kuzeydoğuya doğru hafifçe eğilir ve Bulgaristan'daki dağ sırasına daha dik hale gelir. Isı düşük etkisi, Ege Akdeniz kıyıları ve iç Anadolu Yarımadası dahil olmak üzere EMBS'nin batı tarafında azalır veya hatta kaybolur (Şekil 4.17 ve Şekil 4.21). Bölge hafif bir yağış azalması yaşar. Düşük seviyeli çökme ve orta seviyeli hava yükselmesinin mevcut olduğu Suriye ve Irak üzerinde önemli bir düşük seviyeli rüzgar deseni değişimi yoktur. Yağış, doğuda bulunan dağ sırasına kadar bölge üzerinde önemli ölçüde değişmez. Yağış artışının daha az ancak daha yaygın olduğu EMBS'nin doğusunda, çığ noktası depresyonu yaz aylarındakinden daha az artmaktadır (Şekil 4.22). Ayrıca, depresyon Kuzey Kafkasya ve Güney Hazar kıyılarında hafifçe azalmaktadır. Bunlar, yüzeye yakın ve düşük seviyeli özgül nem artışlarının yaz aylarındakinden daha az olması nedeniyle daha batıya doğru yayılan yağış desenlerinden sorumlu görünmektedir. Yaz mevsimiyle karşılaştırıldığında, Kafkasya ve Türkiye'nin doğu Karadeniz kıyılarında daha az yoğun ancak yine de güçlü bir yağış artış sinyali bulunmaktadır. Bu, dolaşım deseni bölge üzerinde neredeyse değişmediğinden, orta ve üst troposferik yükselişin zayıflamasıyla ilişkili görünmektedir. Yüzeye yakın ısınma, GCM topluluğu ile WRF simülasyonu arasında benzer bir desene sahiptir ve güneydoğu EMBS'nin genel olarak 6 ile 6,5 °C arasındaki değerlerle diğer bölgelerden daha sıcak olduğunu göstermektedir. Ancak WRF simülasyonları ayrıca Kafkasya'nın yüksek rakımlarının aynı zamanda marjinal noktalarının 6,5 °C'yi aşan ısınma gösterdiği en çok ısınan yerlerden biri olduğunu da göstermektedir. Burada, gelecekteki iklim özelliklerini daha ayrıntılı olarak inceleyen ek bir analizle Kafkasya ve yakın bölgelerdeki anormal yağış artışına odaklanarak bölümü değiştiriyoruz.

4.3.4 Ek simülasyon

GCM topluluğu üyelerinin SST kullanılabilirliğini, özellikle yaz aylarında Kafkasya ve yakın bölgelerdeki anormal yağış artışının arkasındaki en olası nedeni açıklamak için vurgulamak istiyoruz. Tablo 4.3, Karadeniz, Akdeniz ve Hazar Denizi için bu kullanılabilirliği göstermektedir. Buna göre, SST bozulmasında, Hazar Denizi için yalnızca 13 GCM'den 3'ünün (CMCC-CM2-SR5, CMCC-ESM2 ve HadGEM3-GC31-MM) SST bilgisini kullanabildik (Tablo 4.3). Hazar Denizi'nin aksine, SST veri kümelerinin Karadeniz ve Akdeniz üzerinde 11 GCM için mevcut olduğu unutulmamalıdır (kalan iki GCM, uygun şekilde indirilememeleri ve düzenli bir ızgara sistemi olmaması nedeniyle hiçbir deniz için kullanılamamıştır). SST ve yüzey sıcaklığının uzun vadeli mevsimsel değişimleri eşit olduğunda Hazar Denizi'nde daha fazla ısınma meydana gelir (Şekil 4.26 a). Bunun nedeni büyük olasılıkla Hazar Denizi için kullanılan topluluk boyut farklılıklarıdır (yukarıda belirtildiği gibi, söz konusu veri kullanılabilirliği için Hazar Denizi için SST zorlamasının bozulması için yalnızca üç GCM topluluğu kullanılmıştır). Şekil 4.26 a, Karadeniz ve Akdeniz'de neredeyse eşit SST ve yüzey sıcaklığı vererek bu varsayımı doğrular. Küçük farklar $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındadır ve bu muhtemelen kullanılmamış SST'den kaynaklanmaktadır. Dahası, bu üç GCM (CMCC-CM2-SR5, CMCC-ESM2 ve HadGEM3-GC31-MM) Hazar Denizi'nin yanı sıra Ege, Akdeniz ve Karadeniz'de tam topluluktan sürekli olarak daha sıcak SST projeksiyonları üretir (Şekil 4.26 b). Şekil 4.26 a, sadece yaz ve sonbahar mevsimlerinin değil, aynı zamanda kış ve ilkbahar mevsimlerinin de SST ve cilt sıcaklıkları arasında farklı ısıtma sağladığını göstermektedir. Farklı ısıtmanın yaklaşık maksimum değerleri, kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla $0,75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Tablo 4.3 CMIP6 GCM'leri genelinde SST kullanılabilirliği. Cnbu "kullanılmadı" anlamına gelir.

SST kullanılabilirliği			
CMIP6 GCM'leri	Karadeniz	Akdeniz	Hazar Denizi
AWI-CM-1-1-MR	Cnbu	Cnbu	Cnbu
BCC-CSM2-MR	Evet	Evet	HAYIR
CMCC-CM2-SR5	Evet	Evet	Evet
CMCC-ESM2	Evet	Evet	Evet
CNRM-CM6-1-HR	Evet	Evet	HAYIR
EC-Dünya3	Evet	Evet	HAYIR
EC-Earth3-CC	Evet	Evet	HAYIR
EC-Earth3-Sebze	Evet	Evet	HAYIR
FHEDEFLER-f3-L	Cnbu	Cnbu	Cnbu
GFDL-ESM4	Evet	Evet	HAYIR
GEM3-GC31-MM'ye sahipti	Evet	Evet	Evet
MPI-ESM1-2-HR	Evet	Evet	HAYIR
MRI-ESM2-0	Evet	Evet	HAYIR

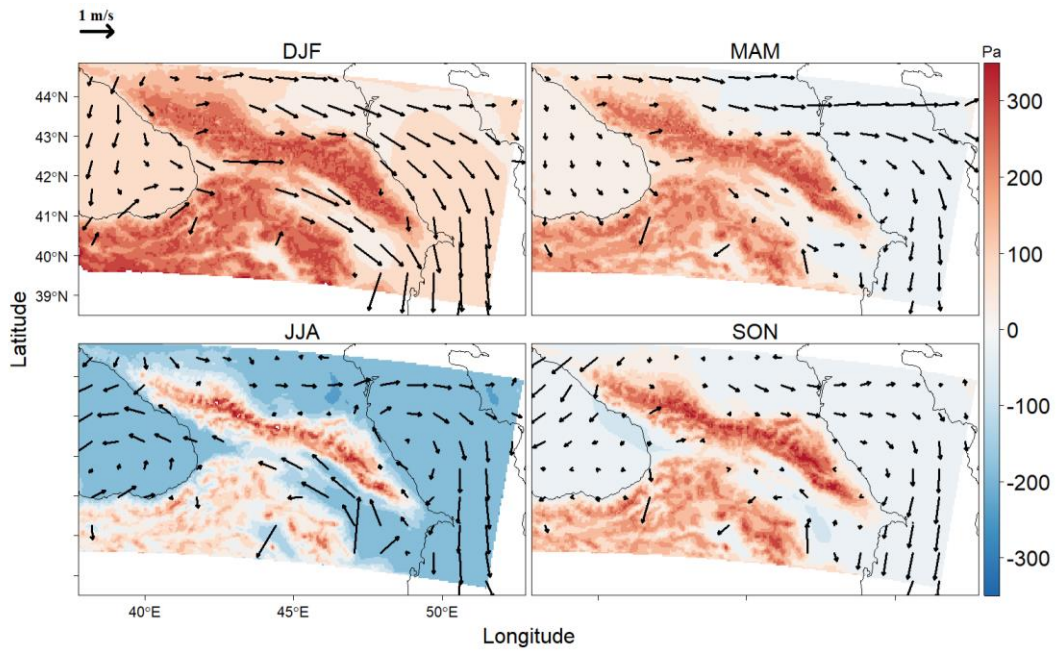


Şekil 4.26. Uzun vadeli (2071-2100 (gelecekteki SSP5-8.5 senaryosu) ve 1985-2014 (tarihsel) dönemleri arasındaki) mevsimsel ortalama ısınma farkları: a) tüm mevcut GCM'lerin deniz yüzeyi sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı arasında, b) üç GCM (CMCC-CM2-SR5, CMCC-ESM2, HadGEM3-GC31-MM) SST ile tüm mevcut GCM topluluğu SST'si arasında (üç GCM SST artışı eksi tüm topluluk SST artışı). Kıyı bölgeleri, kaba çözünürlükten inceye doğru yapılan ikili doğrusal enterpolasyon işlemi nedeniyle bloklu bir soğutucu görünümü sergiler. Bu, WRF ön işleminin enterpolasyon adımıyla önlenmiştir.

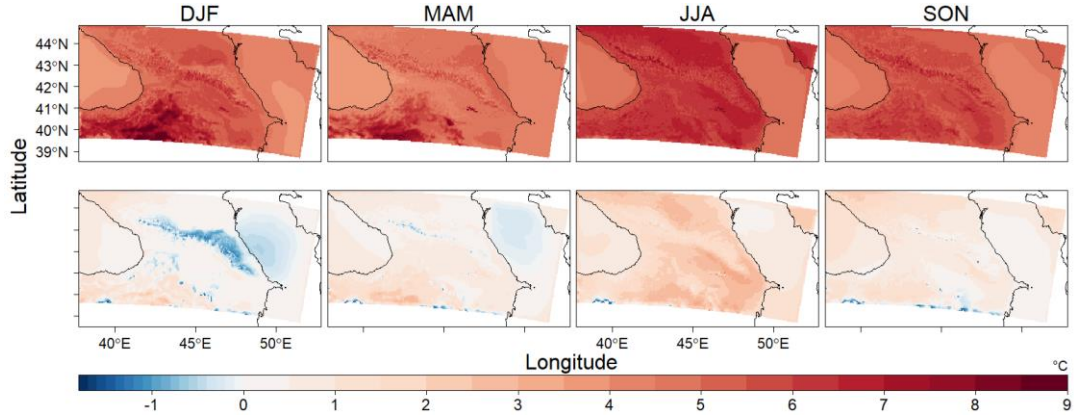
Burada, gelecek dönem için Kafkasya ve yakın bölgeler üzerinde on yıllık simülasyonlar gerçekleştirilerek diferansiyel ısıtmanın etkilerini inceliyoruz. On yıllık simülasyonlar, yağış değişim sinyallerini oldukça makul bir seviyede elde etmek için yeterli görünüyor. Simülasyon, yukarıda belirtilen yaklaşık maksimum değerler kadar soğuyan Hazar Denizi'ne dayanıyor. SST bu simülasyonda hala güncellendi, ancak spektral dürtme kapatıldı. Geriye kalan tüm fizik ve dinamik seçenekler ana simülasyonlardakiyle aynıydı. Simülasyon, sözde 1994-2004 arasında gerçekleştirildi ve ilk yıl bir spin-up olarak atıldı. Referans simülasyonu 1995-2004 arasında aynı tutuldu, ancak ilgi alanı üzerinde kırıldı.

Kış mevsimi, Hazar Denizi ilkbahar ve yaz mevsimlerine göre daha az soğumuş olmasına rağmen, yüzey antisiklonunda ve karadaki yüzeye yakın sıcaklıkta en güçlü doğrusal olmayan tepkimeyi göstermektedir (Şekil 4.27 ve Şekil 4.28).

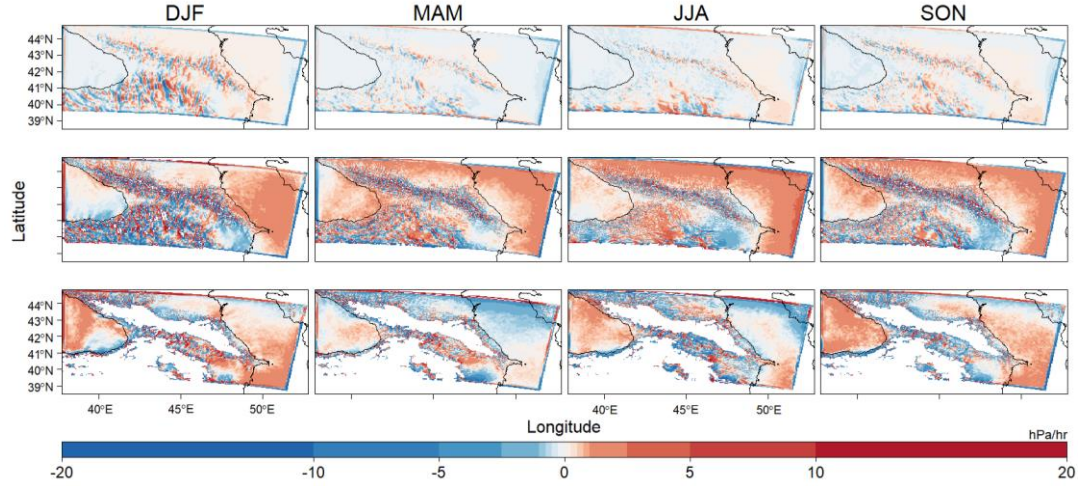
karada yüzey sıcaklığı artışı 2'ye yaklaşıyor°C ve Hazar Denizi'nde 0,45'e kadar bir azalma meydana geliyor°C kara-deniz sıcaklık kontrastının zayıflamasına neden olur. Yüzey antisiklonunu güçlendirir ve buna bağlı olarak düşük seviyeli dolaşımı yeniden şekillendirir (Tuel ve Eltahir, 2020). Dikey basınç hızı, ana simülasyonlardan (Şekil 4.21 ve Şekil 4.29) tüm troposferik seviyelerde her iki yönde daha güçlüdür. Özgül nem azalması, kara üzerindeki alt troposferde yaklaşık 0,6 g/kg iken, yüzeye yakın özgül nem farkları ana simülasyona kıyasla çoğunlukla 0,1 g/kg'ın altındadır (Şekil 4.19, 4.20, 4.30). Ancak, çiğ noktası depresyonu ana simülasyondan daha fazla azalır ve Kafkasya'da ve yakın bölgelerde daha geniş bir alana yayılır (Şekil 4.28). Genel olarak, bu faktörler belirgin iklimsel kuvvetleri sunar; Bununla birlikte, bölgenin kara alanlarının yağış tepkisi ana simülasyona benzemektedir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.31).



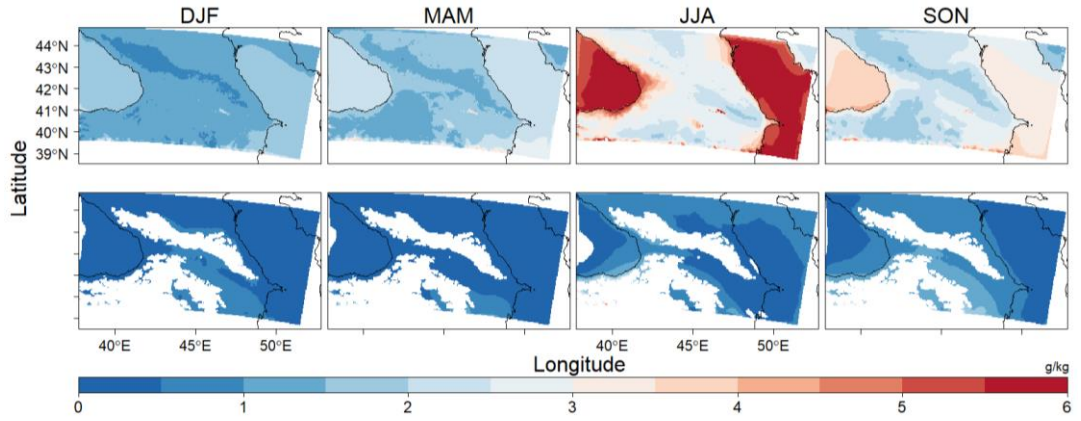
Şekil 4.27. Kafkasya ve yakın bölgeler için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için 1995-2004 ve karşılık gelen sözde gelecek periyotları arasındaki düşük seviye (850 hPa) sirkülasyon (rüzgarlar vektör olarak) ve SLP (gölgelendirmeler). Rüzgar vektörleri m/sn ve deniz seviyesi basıncı pascal birimlerindedir. Referans vektörü sol üstte sunulmuştur.



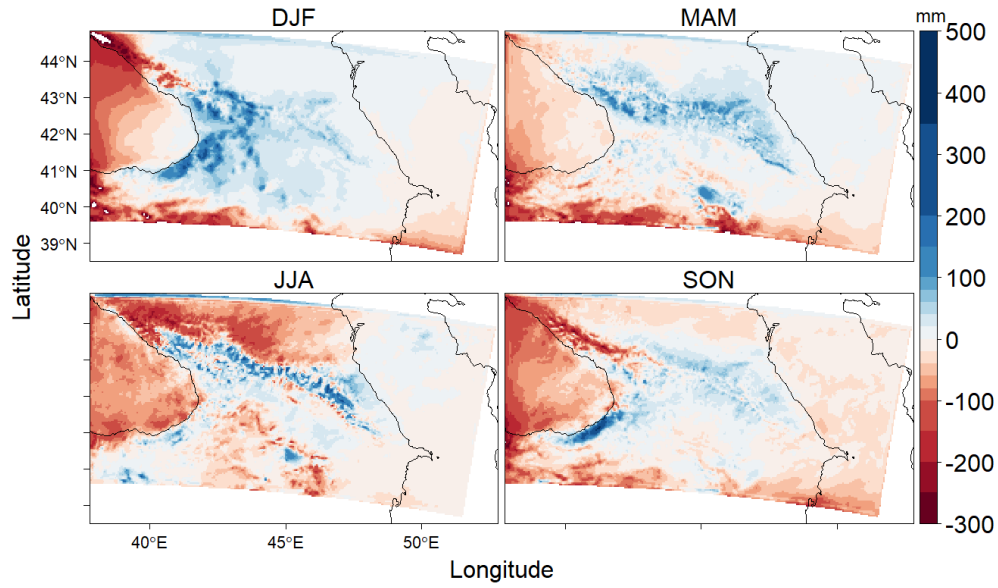
Şekil 4.28. Yüzeeye yakın sıcaklık (üstte) ve çığ noktası depresyonu (altta) 1995-2004 ve Kafkasya ve yakın bölgeler için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için °C biriminde karşılık gelen sözde gelecek dönem arasındaki değişim. Çığ noktası depresyonu, yüzeeye yakın ve 700 hPa basınç seviyesi arasındaki değerlerle ortalama alınır.



Şekil 4.29. Kafkasya ve yakın bölgeler için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için hPa/saat birimi cinsinden 1995-2004 ve karşılık gelen sözde gelecek dönem arasındaki dikey basınç hızı (omega) değişimi. Omega değişimleri 200 hPa (üstte), 500 hPa (ortada) ve 850 hPa (altta) basınç seviyelerinde sunulmaktadır.



Şekil 4.30. Kafkasya ve yakın bölgeler için WRF simülasyonlarından elde edilen her mevsim için 1995-2004 yılları arasındaki yüzeye yakın (2 metre; üstte) ve alçak seviye (850 hPa; altta) özgül nem değişimi ve buna karşılık gelen sözde gelecek dönem g/kg biriminde.



Şekil 4.31. Kafkasya ve yakın bölgeler için WRF simülasyonlarından elde edilen mm biriminde 1995-2004 yılları arasındaki mevsimsel yağış değişimi ve buna karşılık gelen sözde gelecek dönem.

Hazar Denizi'nin 1,1 °C'de soğutulması, ilkbaharda o denizin yüzey sıcaklığının yaklaşık 0,7 °C azalmasına neden olur (Şekil 4.22 ve Şekil 4.28). Ancak, karadaki yüzey sıcaklığı artışı kıştan çok daha zayıftır. Bu nedenle, antisiklonik düşük seviye sirkülasyon tepkisi daha zayıftır (Şekil 4.27). Orta

Troposferik çökme bölgede hakimdir, hava yükselmesi ise alt troposferde daha belirgindir (Şekil 4.29). Dikey basınç hızı üst troposferde her iki yönde de daha güçlüdür. Özgül nem düşüşü kıştan daha güçlüdür ve alt troposferde karada 1,5 g/kg'a kadar ulaşır (Şekil 4.30). Yüzeye yakın özgül nem farkları çoğunlukla 0,2-0,4 g/kg arasındadır. Yağış artışı Kafkasya'nın yayla bölgelerindeki ana simülasyonla benzer bir desen çizer; ancak kalan bölgeler daha zayıf bir artış veya hatta azalan desenler gösterir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.31).

Yaz mevsimi, düşük seviyeli özgül nemi azaltarak ve düşük seviyeli rüzgar alanının yönünü değiştirerek soğuyan Kafkasya'ya karşı çarpıcı bir tepki göstermektedir (Şekil 4.17, 4.20, 4.27, 4.30). Hazar Denizi'nin yaz aylarında 0,95 °C ayrıca o deniz ile Karadeniz arasındaki SLP değişim dengesini de bozmuştur. Hazar Denizi'ndeki SLP artmıştır; ancak doğrusal olmayan bir tepki olarak Karadeniz'deki artış daha fazla olmuştur. Alt troposferdeki özgül nem artışı ana simülasyonun yaklaşık onda birine düşmüştür, ancak yüzeye yakın düşüş o kadar dramatik değildir (Şekil 4.19, 4.20, 4.30). Alçak seviye rüzgar alanı yönünü Kuzey Kafkasya üzerinde 180 derece döndürür ve doğu Hazar Denizi boyunca kuzeye doğru bir desen oluşturur. Bununla birlikte, rüzgar deseni Güney Kafkasya ve Karadeniz boyunca ana simülasyonlara benzemektedir. Bölge üzerinde güçlü orta troposferik çökme şekillenmektedir ve bu, ana simülasyonlarda gözlemlenen hava yükselişine (Şekil 4.21 ve Şekil 4.29) güçlü bir şekilde aykırıdır. Çökme, GCM topluluğunun beklentilerini bile aşmaktadır (Şekil 4.24). Ancak, orta troposferde ve daha yaygın olarak üst troposferde hala hava yükselme bölgeleri bulunmaktadır ve bu Kafkas yüksekliklerindeki yağış artışını açıklayabilir (Şekil 4.31). Ek simülasyonda, bu artış çoğunlukla 200 mm'yi geçmemektedir.

Sonbahar mevsimi yaz mevsimine benzer ancak zayıflayan düşük seviyeli dolaşım ve hafifçe nemlenen alt troposfer ile (Şekil 4.27 ve Şekil 4.30). Güney Kafkasya'da orta troposferde çökme azalır ve bu da yağışın hafifçe artmasına neden olur (Şekil 4.29 ve Şekil 4.31). Yine de artış

ana simülasyonda olduğu gibi güneye doğru yayılır. Kafkasya'nın kuzeybatı ucunda, yağış azalması ana simülasyondakilerden daha belirgindir ve bu da dikey basınç hızı ve farklılaşan rüzgar alanının güçlü bir çelişkisinin etkisini gösterir. Türkiye'nin doğu Karadeniz Bölgesi kıyıları, ana simülasyonda olduğu gibi önemli bir yağış artışı sergiler. Burada, nem akışı yaz aylarında olduğu gibi kıyıda denize doğru sapmaz ve orta troposferik çökme bölgede yerel olarak kaybolur.

BÖLÜM 5

TARTIŞMA

Bu tez kapsamında, Türkiye ve büyük ölçekli EMBS üzerindeki iklimsel değişimi ardışık ve birbiriyle ilişkili üç çalışmada kapsamlı bir şekilde araştırdık. İlk çalışma, aynı aileye ait muadili CMIP5 GCM'leri literatürle paralel olarak karşılaştırıldığında CMIP6 GCM'lerinde daha yüksek ECS'nin mevcut olduğunu gösterdi. Ancak, en iyi performans gösteren dört üyeli topluluklardaki CMIP'ler arasında yalnızca bir karşılık gelen GCM ailesi (MRI) bulunmaktadır. Bu nedenle, yüksek ECS'nin etkisi topluluklar arasında adil bir şekilde görülmemektedir. Öte yandan, yüzeye yakın sıcaklık projeksiyonları SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları arasında birbirine mekansal olarak benzemektedir. Ancak, SSP5-8.5'in ısınma aralığı SSP2-4.5'inin neredeyse iki katıdır. Mekansal benzerlik, sıcaklık kadar olmasa da yağış için de mevcuttur. Genel olarak, yağış artışı/azalışı yüzdelik değişimler açısından SSP5-8.5 ile daha fazla artmaktadır. CMIP5 GCM'lerine kıyasla CMIP6 GCM topluluğunda ortalama sapmalar önemli ölçüde azalır ve parametrelendirme şemalarıyla daha iyi temsil edilen fizik yoluyla CMIP6'nın performansında bir iyileştirme sağlanır.

İlk çalışmanın CMIP6 GCM topluluğu, nispeten homojen bir görünümle yaz aylarında maksimum ısınmayı göstermektedir. Sonbahar mevsimi de, özellikle güneydoğu Türkiye üzerinde yüksek ısınma değerleri göstermektedir ve yaz mevsiminin sonbahar mevsimi boyunca uzadığını göstermektedir. Yaz kuruması, sonbahar mevsimine benzer bir uzama örüntüsüne sahip olan ülke üzerindeki ısınmaya eşlik etmektedir. Batı ve kuzey Türkiye üzerindeki yaz ısınması ve kuruması (Barcikowska ve diğerleri, 2019) bulgularıyla tutarlıdır. Kaba bir çözünürlükte, Karadeniz Bölgesi tüm gelecekteki dönemlerde ve senaryolarda istatistiksel olarak önemli bir yaz yağış azalması (%31'e kadar) yaşamaktadır. Verilen yüksek çözünürlüklü simülasyonlarla çelişmektedir.

Üçüncü çalışmada. Neden-sonuç ilişkisi bu bölümün aşağıdaki kısımlarında tartışılmaktadır.

Güney Türkiye'deki kış kuruması ve ısınması, Akdeniz üzerindeki anormal sırt oluşumunun (nedenleriyle birlikte) yağışı bastırdığını belirten (Tuel ve Eltahir, 2020) bulgularıyla tutarlıdır. Kaba bir çözünürlükte, GCM topluluğu, bu yüzyılın sonuna doğru güney bölgeleri üzerinde SSP2-4.5 (SSP5-8.5) altında %25'e kadar bir yağış azalması ve 2,5 °C'ye (4,5 °C) kadar bir yüzey sıcaklığı artışı öngörüyor. Aynı zamanda, özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi ve Kuzeydoğu Anadolu olmak üzere kuzey bölgeleri üzerinde SSP2-4.5 (SSP5-8.5) altında %15'e kadar (%25) bir kış yağış artışı bekleniyor. İlk çalışmanın bu bulguları, üçüncü çalışmanın yüksek çözünürlüklü simülasyonlarında iyi bir şekilde yakalanmıştır.

CMIP6 GCM'leri, tarihsel dönemde CMIP5'e kıyasla yağış ve yüzeye yakın sıcaklık için daha düşük bir model içi değişkenlik göstererek daha dar bir belirsizlik aralığı sunmaktadır. Bu nedenle, CMIP6 ile daha tutarlı projeksiyonlar beklenmektedir. Öte yandan, CMIP6 orta vadede maksimum düşüşlerde daha yüksek bir anomali (~%2,5) ve önümüzdeki yüzyılda yıllık yağışta yakın vadede ortalama düşüşlerde daha düşük bir anomali (~%2) sergilemektedir. Ayrıca, uzun vadede maksimum artışta daha yüksek bir anomali (~%6,5) öngörülmektedir. Dahası, daha yüksek standart sapma değerleri, CMIP6'ya göre önümüzdeki yüzyılda Türkiye'de aşırı yağış ve sıcaklık eğilimlerinin hakim olacağını göstermektedir. Bu, bölgesel etkinin önemini göstererek daha küçük uzaysal-zamansal ölçeklerde daha belirgindir.

İkinci çalışma, üçüncü çalışma bağlamında yüksek çözünürlükte uzun vadeli PGW çalışmalarına hazırlanmak için yağış duyarlılığı testleri yürüttü. Yapılandırmaların yüksek duyarlılığı, ilgi alanı için daha güvenilir iklim simülasyonları elde etmek için en iyi performans göstereni ortaya çıkarmanın önemini ima eder. 60 yapılandırmanın günlük yağış korelasyon değerleri 0,51 ile 0,65 arasındadır. RMSE'ye gelince, bu aralık 4 ile 5 mm arasındadır. Sonuçta elde edilen en iyi

Yapılandırmanın gerçekleştirilmesi, hata değerleri son işlem araçlarıyla azaltılabildiğinden korelasyon değerleriyle ayırt edildi. Üçüncü çalışmanın doğrulama adımı, en iyi performans gösteren yapılandırmanın düzgün çalıştığından emin olmak için korelasyon değerlerini sürekli olarak 0,65'ten düşük vermemeliydi. Bu, üçüncü çalışmanın retrospektif simülasyonları (1995-2014) için geçerlidir ve 1999 ve 2014 hariç, ikinci çalışmanın en iyi performans gösteren simülasyonundan bile daha iyi sonuçlar verir. RMSE'ye gelince, 1995 ve 2014 arasındaki simülasyonda belirgin bir performans iyileşmesi veya performans düşüşü gözlemlenmemiştir. Bunlar, üçüncü çalışmanın retrospektif simülasyonlarının sağlamlığına tanıklık etmektedir.

Yüksek çözünürlükte, üçüncü çalışma, Akdeniz'in sera gazı konsantrasyonlarının artmasına güçlü ısınma ve kuruma tepkileri veren iklim değişikliği sıcak noktalarından biri olduğunu gösteren literatürün ve son teknoloji CMIP6 GCM topluluğunun bulgularını genel hatlarıyla doğrulamaktadır (Giorgi, 2006; Giorgi ve Lionello, 2008; Barcikowska ve diğerleri, 2018; Tuel ve Eltahir, 2020; Bağçacı ve diğerleri, 2021). Bununla birlikte, WRF simülasyonlarının ek faydasının da belirtilmesi gerekir. Örneğin, GCM topluluğu (hem birinci hem de üçüncü çalışmada) küçültülmüş simülasyonlardan daha homojen bir görünüme sahip olan yaz mevsiminde maksimum ısınmayı göstermektedir. Buna karşılık, WRF simülasyonları kışın Kuzeydoğu Anadolu Platosu üzerinde maksimumların ayrıntılı bir görünümünü göstermektedir ve bunun etkisi ilkbahara da yayılmaktadır. Kuzeydoğu platosu, bugün kış ve ilkbaharın başlarında kar örtüsü altındadır ve bu, gelecekteki simülasyonlarda büyük ölçüde kaybolacaktır. Kar-albedo geri bildiriminin azalmasına ve dolayısıyla sıcaklığın artmasına neden olur. Buna göre, kar erimesi akış zamanlamasını, dolayısıyla bölge için kritik öneme sahip su kaynaklarını etkiler (Sen ve diğerleri, 2011; Yucel ve diğerleri, 2015). Öte yandan, kış ve ilkbahar yağış iklimi genellikle WRF simülasyonlarıyla iyi yakalanmıştır. Yoğun anormal sırtın gelişiminin dolaşım ve yağış tepkisindeki etkisini açıkça görüyoruz. Tuel ve Eltahir (2020), kara-deniz sıcaklık kontrastının ve büyük ölçekli üst troposferik akış değişikliklerinin,

Akdeniz'de kış yağışının azalmasına (ilk çalışmada olduğu gibi) neden olan anormal sırt. Burada üçüncü çalışmada herhangi bir bileşen analizi yapmadık; bu nedenle, hangi etkinin daha önemli olduğunu iddia edemeyiz. Bununla birlikte, kara-deniz sıcaklık kontrastının zayıflamasının Kafkasya ve yakın bölgelerde antisiklonik bir ortam ürettiğini doğrulayabiliriz. Ancak, ek simülasyonumuz kara-deniz sıcaklık kontrastının zayıflamasının Karadeniz'in en doğu kıyılarında ve yakın iç bölgelerde yağışı doğrudan bastırmadığını göstermektedir. Bu, bu bölgelerde önemli bir azalma gösteren Tuel ve Eltahir'in (2020) aksinedir. Bu tartışmanın arkasında yatan bazı faktörler olabilir. Örneğin, Hazar ve Karadeniz'in farklı ısınması ana ve ek simülasyonlar arasında mevcuttur ve bölge buna doğrusal olmayan bir tepki verebilir. Üçüncü çalışmada kullandığımız daha yüksek çözünürlük, bölgenin topografyası son derece karmaşık olduğundan başka bir faktör olabilir. Bu mevsimlerin yağış değişiminde yaz ve sonbahara kıyasla daha az SST duyarlılığı olması, bölgenin gelecekteki yağmur koşullarını simüle etme konusunda güvenimizi artırıyor. WRF simülasyonları ve GCM topluluğundaki paralellik, Akdeniz üzerinde gelişen anormal sırtın büyük ölçekli etkisinin dışında, yerel dolaşım değişikliklerinin gelecekteki yağış rejimini daha fazla yönettiğini gösteriyor.

Barcikowska ve ark. (2019), Etesians ve SNAO'nun soğutma etkisinin, EMBS'yi kapsayan bölge üzerindeki GHG'lerden kaynaklanan güçlü ısınmayı telafi edemediğini belirtti. Bunun yerine, yüzey ısınmasının yerel atmosferik dolaşımı ve sıcaklık ve yağış dengesini, ısı-düşük belirginleştikçe yönettiğini iddia ettiler. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde kış ve ilkbaharda olduğu gibi herhangi bir bileşen analizi yapmadığımızı belirtmeliyiz. Bununla birlikte, simülasyonlarımız, literatürle paralel olarak, Etesians rüzgarlarının yaz aylarında yoğunlaştığını ve sonbahar mevsimine azalan bir etkiyle uzandığını göstermektedir. Üçüncü çalışmada kullanılan GCM topluluğu, Barcikowska ve ark.'nın (2019) belirttiği gibi, SNAO'nun izini de ortaya koymaktadır. Bu faktörler, EMBS'nin mevcut yüksek ısınma tepkisini kısmen telafi edebilir. Ancak, EMBS boyunca yaz mevsiminde ısı düşük etkisini görüyoruz.

Sadece ısınmayı artırmakla kalmaz (ilk çalışmada olduğu gibi) aynı zamanda troposferik seviyelerde çökmenin zayıfladığı ölçüde hava yükselme hareketine de izin verir. Muhtemelen Anadolu yarımadası ve güney bölgesi üzerindeki hafif yağış artışından (kısmen ilk çalışmada olduğu gibi) sorumludur, çünkü yaz mevsiminde artan çiğ noktası sıcaklığı ve kara-deniz sıcaklığı kontrastı gibi diğer faktörler bastırılmış yağışı destekler. Sonbahar mevsiminde Türkiye'nin Akdeniz ve Ege kıyılarındaki yağıştaki azalma (ilk çalışmada olduğu gibi) yaz aylarında azalan ısı-düşük etkisiyle ilişkili görünmektedir. Güney Fars çukurunda bulunan bölge, muhtemelen Arap Çölü'nden gelen adveksiyonlu havanın kuru olmasından kaynaklanan dikkate değer bir yağış artışı göstermemektedir. Kuzeybatı EMBS üzerindeki yağıştaki ters işaret, yani yaz aylarında azalma ve sonbahar aylarında artış, alçak ve orta troposferdeki çökme değişim farklılıklarından ve dağ sırasına göre konumlanan rüzgar deseni değişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, yaz aylarında çiğ noktası depresyonu yaklaşık %1 oranında artar.

° C sonbahar mevsimine göre daha fazladır. Yaz mevsimindeki yağış desenindeki azalma, sonbahar mevsiminde Türkiye'nin en kuzeydeki Karadeniz kıyılarında azalır ve bu da orta troposferik çökmenin zayıflamasıyla ilişkili görünmektedir. Kuzeydoğu EMBS hariç kalan bölgeler, bu iki mevsimle yağış açısından paralellik göstermektedir.

Hem birinci hem de üçüncü çalışmalardaki GCM topluluğuyla çelişen yaz ve sonbahar mevsimlerindeki yağış artışının anormal görünümü, Kafkasya ve yakın bölgelerde bizi ek simülasyonu yapılandırmaya yöneltti. Ancak, ek simülasyon, bazı belirsizlikler mevcut olduğundan, bölgenin kusursuz iklimsel geleceği anlamına gelmez. Örneğin, Hazar Denizi, uzun vadeli SST ve yüzey sıcaklıkları arasındaki yaklaşık maksimum farklarla, mevsimler arasında doğrusal olarak soğutuldu. Bu, Hazar Denizi'nin bazı kısımlarının, tahmin edilen yüzey sıcaklığı artışından çok olmasa da, daha soğuk olmasına neden oldu. Dahası, anormal yağış artışının merkez üssü kırıldı ve spektral dürtme kapatıldı, bu da WRF modelinin serbestçe gelişmesine izin verdi.

Bu nedenle, yukarıdaki faktörlerin etkisi göz önüne alındığında, ek simülasyonun bir duyarlılık testi olarak algılanması, iki senaryo aralığının diferansiyel ısıtmaya göre verilmesi gerekmektedir.

Ana simülasyonlar ve GCM topluluğu (üçüncü çalışmada), Akdeniz üzerinde gelişen güçlü anomalı sırtın kış ve ilkbahar mevsimlerinde Kafkasya ve yakın bölgelerdeki dolaşımı etkilemediğini göstermektedir. Ancak, aynı modeller bölgenin yaz ve sonbahar mevsimlerinde Doğu Akdeniz üzerinde gelişen ısı düşüklüğünden etkilendiğini göstermektedir. Bu nedenle, spektral dürtmeyi kapatmak, yaz ve sonbahar mevsimlerindeki dolaşım değışikliklerinin diğer mevsimlerden neden daha dramatik olduğunu açıklayabilir çünkü kuzeydoğu Kafkasya boyunca Hazar Denizi'nin güney sınırına doğru akış tersine döner. Büyük ölçekli etkinin dışında, buradaki rüzgar desenleri yazın Hazar Denizi'nin doğu kıyısı ve bölgenin en güneydoğusu üzerinde SLP azalma maksimumlarını takip eder. Sonbahar mevsiminde, yukarıda belirtilen bölge boyunca düşük seviyeli akış antisiklonik bir görünüme sahiptir. Bu faktörlerin yanı sıra, yazın düşük seviyeli özgül nemde dramatik bir düşüş ve yaz ve sonbaharda orta troposferik çökmede bir artış, bölgedeki yağış baskılanmasını esas olarak açıklar. Hazar Denizi'nin soğumasına doğrusal olmayan bir yanıt olarak, Kafkasya'nın yaylaları hariç, kara yüzeyi ısınmasının artması, Barcikowska ve ark.'nın (2019) belirttiğı gibi yağışın baskılanmasında başka bir faktör olabilir. Öte yandan, yazarların bulguları, yaz mevsiminde Kafkasya'nın yaylaları üzerinde güçlü bir yağış artışı göstermektedir (Şekil 7), bu da her iki simülasyonumuzla (üçüncü çalışmadaki ana ve ek simülasyonlar) uyumludur. GCM topluluğu ile elde edilen istatistiksel olarak anlamlı yağış azalmalarının (hem birinci hem de üçüncü çalışmada) yüksek çözünürlüklü bölgesel iklim modellerinin eklenen faydasıyla tersine çevrilebileceğini göstermektedir.

BÖLÜM 6

ÇÖZÜM

Bu tez, Türkiye'nin gelecekteki iklim görünümündeki değişimi ve büyük ölçekli EMBS'yi, kaba çözünürlükte son teknoloji CMIP6 GCM topluluğu ve yüksek çözünürlükte PGW tabanlı dinamik küçültme ile belirlemeyi amaçlamaktadır. İlk çalışma, iklim projeksiyonlarında herhangi bir iyileşmenin Türkiye alanı için belirginleşip belirginleşmediğini görmek için CMIP6'yı CMIP5 ile karşılaştırmıştır. Sonuçlar, özellikle yağış açısından CMIP6'nın üstün performansını göstermiştir. CMIP6'nın gelecekteki projeksiyonları daha yüksek yüzeye yakın sıcaklık değerleri üretmektedir ve bireysel topluluk üyelerinin maksimum ve minimum anomalileri CMIP5'ten daha belirgindir. Dahası, CMIP6, yakın vadede minimum anomalilerde erken yüzeye yakın sıcaklık artışlarını göstererek ısınma hızlanmasını göstermektedir. CMIP6'nın buna karşılık gelen önemli yağış artışı (~%8 daha yüksek) bu yakın vadede maksimum anomali artışlarında mevcuttur. Yıllık ortalama yağış azalmaları genellikle CMIP6 ile daha azdır; ancak, maksimum artış/azalıştaki uç noktalar CMIP5 ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha yüksektir. Sonuç olarak, kurutma deseni CMIP6 GCM'lerinde daha az belirgindir. CMIP5'in daha kuru iklim koşullarına eğilimle sonuçlanan hafife alınmış yağış desenlerinin CMIP6 ile düzeldiği görülmüştür. CMIP6'nın yağış ve yüzey sıcaklığı için daha az model içi değişkenlik daha istikrarlı bir topluluk oluşturur.

Kış mevsimi yağış deseni, Türkiye alanının güneyinde (azalma) ve kuzeyinde (artış) önemli yağış anomalileri göstererek farklılaşır. İlkbahar yağışı, özellikle uzun vadede daha yaygın kurumanın olduğu kış yağışına mekansal olarak benzer. Bunlar, üçüncü çalışmada yüksek çözünürlüklü WRF simülasyonlarıyla iyi bir şekilde yakalanmıştır. Yaz ve sonbahar için

Mevsimler açısından, birinci ve üçüncü çalışmalar arasında büyük bir çelişki ortaya çıktı. Birinci çalışma, özellikle yaz aylarında Ege ve Karadeniz Bölgeleri'nde önemli yağış azalması gösterdi. Azalma, Ege Bölgesi'ne kıyasla daha düzgün mevsimsellik (dört mevsim yağışlı) gösteren Karadeniz Bölgesi'nde miktar olarak daha fazlaydı. Ancak, Hazar Denizi'nin SST'lerinin eksikliğinde, birinci çalışmanın ana WRF simülasyonları, yaz ve sonbahar mevsimlerinde kuzeydoğu bölgeleri, Kafkasya ve çevresi üzerinde anormal bir yağış artışı gösterdi. Aslında, kış ve ilkbahar mevsimleri de Hazar Denizi için eksik SST'lere sahipti, ancak büyük ölçekli etkilerin dışında yer aldıkları için diğer iki mevsimden daha az hassastı. Üçüncü çalışmanın ana ve ek simülasyonları, SST'lerin eksikliğinin SST'ye duyarlı mevsimlerde kusursuz bir görüşü engellemesi nedeniyle bölgenin geleceği için iki senaryo gösterdi. İlk senaryo, Hazar Denizi'nin yukarıda belirtilen değerlere benzer şekilde daha sıcak olması durumunda Kafkasya ve yakın bölgelerin anormal bir yağış artışı yaşayacağını belirtmiştir. İkinci senaryo, Kafkasya ve yakın bölgelerin büyük ölçekli ısı-düşük etkisinin dışında olması durumunda yağışın baskılanacağını belirtmiştir. Her iki durumda da yağışın Kafkasya'nın yüksek kesimlerinde ve Türkiye'nin doğu Karadeniz kıyılarında artması bekleniyordu. Modelleme topluluğu, özellikle bu tür SST'ye duyarlı alanlarda SST'nin varlığından önceden haberdar olmalıdır.

Artık, gelecekteki çalışmalar bağlamında Türkiye'nin su kaynakları üzerindeki iklim değişikliği etkilerini görmek için bir hidrolojik model (yani, WRF-Hydro) çalıştırmak için her şey hazır. Bu tezde elde edilen verilerle, hassas bölgelerdeki sel ve kuraklık riskleri ortaya çıkarılabilir ve diğer hidroklimatik riskler, WRF-Hydro simülasyonlarının sonuçlarıyla yeniden değerlendirilebilir. İnsan sağlığını tehlikeye atan iklimsel uçlar (yani, sıcak hava dalgaları) bu tezin çıktılarıyla araştırılabilir. Ülkenin beklenen kar örtüsü alanlarının kaybı ve sonuçları da ortaya çıkarılabilir. Bu tezde kazanılan deneyimlerle, burada elde edilen sonuçları desteklemek veya tartışmak için GCM'lerin bireysel dinamik küçültmesi (seçilen GCM'lerin eksiksiz SST bilgisine sahip olması koşuluyla) yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, K., Sachindra, DA, Shahid, S., Demirel, MC, Chung, ES, 2019. Yağış ve mekansal değerlendirme metriklerine dayalı maksimum ve minimum sıcaklığın simülasyonu için genel sirkülasyon modellerinin çoklu model topluluğunun seçimi. Hydrol. Earth Syst. Sci. 23, 4803–4824. <https://doi.org/10.5194/hess-23-4803-2019>
- Allen, RG, Pereira, LS, Raes, D., Smith, M., 1998. Mahsul buharlaşması - terleme - Bitki su gereksinimlerinin hesaplanmasına ilişkin kılavuzlar - FAO Sulama ve drenajpaper56, Sulama ve Drenaj. Türkçe: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>
- Almazroui, M., Saeed, F., Saeed, S., Nazrul İslam, M., İsmail, M., Klutse, NAB, Siddiqui, MH, 2020. CMIP6'dan Afrika Üzerindeki Sıcaklık ve Yağışta Tahmini Değişim. Dünya Sistemi Çevre. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00161-x>
- Alpert, P., Baldi, M., Ilani, R., Krichak, S., Price, C., Rodó, X., Saaroni, H., Ziv, B., Kishcha, P., Barkan, J., Mariotti, A., Xoplaki, E., 2006. Bölüm 2 Akdeniz bölgesi ve tropiklerdeki iklim değişkenliği arasındaki ilişkiler: ENSO, Güney Asya ve Afrika musonları, kasırgalar ve Sahra tozu. Dev. Earth Environ. Sci. 4, 149–177. [https://doi.org/10.1016/S1571-9197\(06\)80005-4](https://doi.org/10.1016/S1571-9197(06)80005-4)
- Anagnostopoulou, C., Zanis, P., Katragkou, E., Tegoulas, I., Tolika, K., 2014. Bölgesel ölçekli iklim modeli simülasyonlarına dayalı Etesian rüzgarlarının yakın geçmişi ve gelecekteki desenleri. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1936-0>
- Annan, J., Arndt, S., Añel, JA, Bekki, S., Butler, T., Colette, A., Folberth, C., Folberth, GA, Goelzer, H., Grewe, V., Gross, L., Halloran, P., Ham, D., Hargreaves, J., Huybrechts, P., Jackson, B., Järvi, L., Jöckel, P., Kala, J., Kato, T., Kerkweg, A., Knote, C., Koller, J., Kurtz, W., Lauer, A., Lawrence, D.,

Levy, C., Lo, M.-H., Maddison, JR, Mann, G., Marras, S., Marsh, R., Marti, O., Maussion, F., McCluskey, C., Mills, R., Morgenstern, O., Munhoven, G., Müller, C., Neal, J., Neale, R., O'Connor, F., Peylin, P., Phipps, S., Pissu, I., Poulet, T., Pye, H., Remy, S., Robel, A., Roche, D., Sander, R., Sandu, A., Sato, H., Sierra, C., Stenke, A., Topping, D., Tost, H., Ullrich, P., Unterstrasser, S., Valcke, S., van Heerwaarden, C., Wang, S., Wickert, A., Williams, J., Yool, A. (Ed. ., Eyring, V. (Coord. ., 2020. Özel sayı | Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Aşama 6 (CMIP6) Deneysel Tasarım ve Organizasyon [WWW Belgesi]. Geosci. Model Dev. URL https://www.geosci-model-dev.net/special_issue590.html (erişim tarihi 5.23.20).

Argüeso, D., Hidalgo-Muñoz, JM, Gámiz-Fortis, SR, Esteban-Parra, MJ,

Dudhia, J., Castro-Díez, Y., 2011. Çok aşamalı bölgeselleştirme kullanılarak Güney İspanya'daki iklim çalışmaları için WRF parametrelendirmelerinin değerlendirilmesi. J. Clim. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00073.1>

Bağcı, S.Ç., Yücel, İ., Düzenli, E., Yılmaz, MT, 2021.

CMIP6 ve CMIP5 iklim projeksiyonlarından elde edilen sıcaklık ve yağıştaki beklenen değişim: Akdeniz sıcak nokta örneği, Türkiye. Atmos. Res. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105576>

Barcikowska, MJ, Kapnick, SB, Feser, F., 2018. Büyük ölçekli dolaşımın etkisi

Kuzey Atlantik sektöründeki değişimler mevcut ve gelecekteki Akdeniz kış hidro iklimi üzerinde. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3735-5>

Barcikowska, MJ, Kapnick, SB, Krishnamurty, L., Russo, S., Cherchi, A.,

Folland, CK, 2019. Gelecekteki yaz Akdeniz iklimindeki değişiklikler: tele bağlantıların ve yerel faktörlerin katkısı. Earth Syst. Dyn. Discuss. 1– 43. <https://doi.org/10.5194/esd-2018-85>

Boucher, O., Servonnat, J., Albright, AL, Aumont, O., Balkanski, Y., Bastrikov,

V., Bekki, S., Bonnet, R., Bony, S., Bopp, L., Braconnot, P., Brockmann, P., Cadule, P., Caubel, A., Cheruy, F., Codron, F., Cozic, A., Cugnet, D.,

D'Andrea, F., Davini, P., de Lavergne, C., Denvil, S., Deshayes, J., Devilliers, M., Ducharne, A., Dufresne, JL, Dupont, E., Éthé, C., Fairhead, L., Falletti, L., Flavoni, S., Foujols, MA, Gardoll, S., Gastineau, G., Ghattas, J., Grandpeix, JY, Guenet, B., Guez, LE, Guilyardi, E., Guimberteau, M., Hauglustaine, D., Hourdin, F., Idelkadi, A., Joussaume, S., Kageyama, M., Khodri, M., Krinner, G., Lebas, N., Levavasseur, G., Lévy, C., Li, L., Lott, F., Lurton, T., Luysaert, S., Madec, G., Madeleine, JB, Maignan, F., Marchand, M., Marti, O., Mellul, L., Meurdesoif, Y., Mignot, J., Musat, I., Ottlé, C., Peylin, P., Planton, Y., Polcher, J., Rio, C., Rochetin, N., Rousset, C., Sepulchre, P., Sima, A., Swingedouw, D., Thiéblemont, R., Traore, AK, Vancoppenolle, M., Vial, J., Vialard, J., Viovy, N., Vuichard, N., 2020. Sunum ve IPSL-CM6A-LR İklim Modelinin Değerlendirilmesi. J. Av. Modeli. Yer Sist. <https://doi.org/10.1029/2019MS002010>

Bozkurt, D., Sen, OL, 2013. Fırat-Dicle Havzası'nda iklim değişikliğinin etkileri farklı model ve senaryo simülasyonlarına dayalı. J. Hydrol. 480, 149–161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.021>

Bozkurt, D., Turunçoğlu, U., Şen, OL, Önal, B., Dalfes, HN, 2012. Küçültülmüş Doğu Akdeniz-Karadeniz bölgesi için ECHAM5, CCSM3 ve HadCM3 küresel modellerinin simülasyonları: Referans döneminin değerlendirilmesi. İklim. Din. 39, 207–225. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1187-x>

Chang, W., Stein, ML, Wang, J., Kotamarthi, VR, Moyer, EJ, 2016. Değişiklikler Değişen iklim koşullarındaki uzaysal-zamansal yağış desenleri. J. Clim. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0844.1>

Chen, F., Dudhia, J., 2001. Bağlantı ve gelişmiş kara yüzeyi hidrolojisi modeli Penn State-NCAR MM5 modelleme sistemiyle. Bölüm I: Model uygulaması ve duyarlılık. Pazartesi Hava Durumu Rev. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<0569:CAALSH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<0569:CAALSH>2.0.CO;2)

Cornes, RC, van der Schrier, G., van den Besselaar, EJM, Jones, PD, 2018. An

- E-OBS Sıcaklık ve Yağış Veri Setlerinin Toplu Versiyonu. J. Geophys. Res. Atmos. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., Arabacı, H., Coşkun, M., 2017. İklim Türkiye için Değişim Projeksiyonları: Üç Model ve İki Senaryo. Türk Su Bilimi Yönetimi Dergisi 1, 22–43. <https://doi.org/10.31807/tjwsm.297183>
- Dutheil, C., Menkes, C., Lengaigne, M., Vialard, J., Peltier, A., Bador, M., Petit, X., 2020. İklim değişikliği altında Yeni Kaledonya üzerindeki ince ölçekli yağış. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05467-0>
- Duzenli, E., Tabari, H., Willems, P., Yılmaz, MT, 2018. On yıllık değişkenlik Türkiye'deki aşırı yağışların analizi ve tele bağlantı desenleriyle ilişkisi. Hidrolik İşlem. 32, 3513–3528. <https://doi.org/10.1002/hyp.13275>
- Duzenli, E., Yucel, I., Pilatin, H., Yılmaz, MT, 2021. Performansın değerlendirilmesi Türkiye'de Doğu Karadeniz ve Akdeniz bölgeleri üzerinde bir WRF başlangıç ve fizik topluluğu. Atmos. Res. 248. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105184>
- ECMWF, 2020. 1950'den 2020'ye kadar Avrupa için E-OBS günlük ızgaralı meteoroloji verileri yerinde gözlemlerden elde edilen mevcut veriler [WWW Belgesi]. <https://doi.org/10.24381/cds.151d3ec6>
- Erler, AR, Peltier, WR, 2017. İki büyük nehirde öngörülen hidroklimatik değişiklikler Yüksek çözünürlüklü bölgesel iklim simülasyonlarına dayalı Kanada batı kıyısındaki havzalar. J. Clim. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0870.1>
- Eshel, G., Farrell, BF, 2000. Doğu Akdeniz yağış mekanizmaları değişkenlik. J. Atmos. Sci. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2000\)057<3219:MOEMRV>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2000)057<3219:MOEMRV>2.0.CO;2)
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, GA, Kiedemli, CA, Stevens, B., Stouffer, RJ, Taylor, KE, 2016. Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Aşama 6'nın Genel Görünümü

(CMIP6) deneysel tasarım ve organizasyon. Geosci. Model Dev. 9, 1937– 1958.
<https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>

Flaounas, E., Bastin, S., Janicot, S., 2011. 2006 Bölgesel İklim Modellemesi
Batı Afrika musonu: WRF kullanılarak konveksiyona duyarlılık ve gezegensel sınır
tabakası parametrelendirmesi. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0785-3>

Flaounas, E., Drobinski, P., Bastin, S., 2013. IPSL-CM5'in dinamik ölçek küçültülmesi
Akdeniz üzerinde CMIP5 tarihsel simülasyonları: Bölgesel yüzey
rüzgarlarının ve siklogenizin temsili üzerindeki faydalar. İklim. Dinamiği.
<https://doi.org/10.1007/s00382-012-1606-7>

Forster, PM, Maycock, AC, McKenna, CM, Smith, CJ, 2020. En son iklim
modeller acil azaltma ihtiyacını doğruluyor. Nat. Clim. Chang. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0660-0>

Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T., Kojiri, T., 2008. Değerlendirme
Türkiye'deki Seyhan Nehri Havzası'nın su kaynakları üzerinde iklim değişikliğinin
etkileri: Hidrolojik simülasyonlar için dinamik olarak küçültülmüş verilerin kullanımı. J.
Hydrol. 353, 33–48. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.01.024>

Garrido, JL, González-Rouco, JF, Vivanco, MG, Navarro, J., 2020. Bölgesel
İber Yarımadası'ndaki yüzey sıcaklığı simülasyonları: değerlendirme ve iklim
projeksiyonları. İklim. Din. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05456-3>

GDM, 2019. Resmi istatistikler/parametre analizi [WWW Belgesi]. URL
<https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/Turkiye-Ortalama-Sicaklik-2019.pdf>

Gettelman, A., Hannay, C., Bacmeister, JT, Neale, RB, Pendergrass, AG,
Danabasoglu, G., Lamarque, JF, Fasullo, JT, Bailey, DA, Lawrence, DM,
Mills, MJ, 2019. Topluluk Dünya Sistemi Modeli Sürüm 2'de (CESM2)
Yüksek İklim Hassasiyeti. Geophys. Res. Lett. 46, 8329–8337. <https://doi.org/10.1029/2019GL083978>

- Giorgi, F., 2006. İklim değışikliğı sıcak noktaları. *Geophys. Res. Lett.* 33.
<https://doi.org/10.1029/2006GL025734>
- Giorgi, F., Lionello, P., 2008. Akdeniz için iklim değışikliğı projeksiyonları bölge. *Glob. Gezeg. Değışim* 63, 90–104.
Türkçe: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Gorguner, M., Kavvas, ML, 2020. Gelecekteki iklim değışikliğinin etkilerinin modellenmesi Akdeniz havzasında rezervuar depolamaları ve sulama suyu talepleri. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141246>
- Gorguner, M., Kavvas, ML, Ishida, K., 2019. Gelecekteki etkilerin değeriendirilmesi Dinamik olarak küçültölmüş CMIP5 projeksiyonları kullanılarak Türkiye'deki Gediz Havzası'nın hidroklimatolojisi üzerindeki iklim değışikliğı. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.167>
- Grell, GA, Dudhia, J., Stauffer, DR, 1994. Beşinci Neslin Tanımı Penn State/NCAR Mezoskal Modeli (MM5), NCAR TEKNİK NOTU.
- Grose, MR, Narsey, S., Delage, FP, Dowdy, AJ, Bador, M., Boschhat, G., Chung, C., Kajtar, JB, Rauniyar, S., Freund, MB, Lyu, K., Rashid, H., Zhang, X., Wales, S., Trenham, C., Holbrook, NJ, Cowan, T., Alexander, L., Arblaster, JM, Power, S., 2020. Avustralya'nın Gelecekteki İklimi için CMIP6'dan İçgörüler. Dünya'nın Geleceğı. 8. <https://doi.org/10.1029/2019EF001469>
- Guo, J., Huang, G., Wang, X., Li, Y., Lin, Q., 2018. Dinamik olarak küçültölmüş Çin'deki sıcaklık uçlarındaki değışikliklerin projeksiyonları. İklim. Dinamiğı. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3660-7>
- Harris, I., Jones, PD, Osborn, TJ, Lister, DH, 2014. CRU TS3.22: İklimsel Araştırma Birimi (CRU) Zaman Serisi (TS) Sürüm 3.22, İklimdeki Aylık Değışimin Yüksek Çözünürlöklö Izgaralı Verileri (Ocak 1901-Aralık 2013). NCAS Br. Atmos. Veri Merkezi, 23 Eylül 2014. <https://doi.org/10.5285/18BE23F8-D252-482D-8AF9-5D6A2D40990C>

- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Horányi, A., Sabater, JM, Nicolas, J., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., 2019. Küresel yeniden analiz: ERA-Interim'e elveda, ERA5'e merhaba. ECMWF Newsl. 17–24. <https://doi.org/10.21957/vf291hehd7>
- Hong, JY, Ahn, JB, 2015. Kore'de yaz başındaki yağışlardaki değişimler RCP simülasyonlarına dayalı yarımada ve yakın bölgeler. J. Clim. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00504.1>
- Hong, SY, Noh, Y., Dudhia, J., 2006. Dikey difüzyon paketi sürüklenme süreçlerinin açık bir şekilde ele alınması. Pazartesi Hava Durumu Rev. <https://doi.org/10.1175/MWR3199.1>
- Hunt, KMR, Turner, AG, Shaffrey, LC, 2020. İklim değişikliğinin etkileri Batı Himalaya'nın kış su döngüsü. İklim. Din. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05383-3>
- Iacono, MJ, Delamere, JS, Mlawer, EJ, Shephard, MW, Clough, SA, Collins, WD, 2008. Uzun ömürlü sera gazlarının radyasyon zorlaması: AER radyasyon transfer modelleriyle hesaplamalar. J. Geophys. Res. Atmos. <https://doi.org/10.1029/2008JD009944>
- Ikeda, K., Rasmussen, R., Liu, C., Newman, A., Chen, F., Barlage, M., Gutmann, E., Dudhia, J., Dai, A., Luce, C., Musselman, K., 2021. Konveksiyona izin veren iklim simülasyonları tarafından yakalanan Batı ABD'deki kar yağışı ve kar örtüsü: mevcut iklim ve sözde küresel ısınma gelecekteki iklim. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05805-w>
- Janjic, ZI, 1994. Basamaklı dağ eta koordinat modeli: daha ileri gelişmeler konveksiyon, viskoz alt tabaka ve türbülans kapanış şemaları. Pazartesi. Hava Durumu Sayın Rev. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1994\)122<0927:TSMECM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1994)122<0927:TSMECM>2.0.CO;2)
- Janjić, ZI, 2000. “Bir Konveksiyon Sisteminin Geliştirilmesi ve Değerlendirilmesi” üzerine yorumlar İklim Modellerinde Kullanıma Yönelik Şema.” J. Atmos. Sci.

- [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2000\)057<3686:codaao>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2000)057<3686:codaao>2.0.co;2)
- Jiang, Z., Li, W., Xu, J., Li, L., 2015. Çin'deki aşırı yağış endeksleri CMIP5 modelleri. Bölüm I: Model değerlendirme. J. Clim. 28, 8603–8619. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0099.1>
- Kadioğlu, M., Tulunay, Y., Borhan, Y., 1999. Türkiye yağışlarının değişkenliği El Nino olaylarıyla karşılaştırıldığında. Geophys. Res. Lett. 26, 1597–1600. <https://doi.org/10.1029/1999GL900305>
- Kain, JS, Kain, J., 2004. Kain - Fritsch konvektif parametrelendirmesi: Bir güncelleme. J. Appl. Meteorol. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2)
- Karki, R., Ul Hasson, S., Gerlitz, L., Schickhoff, U., Scholten, T., Böhner, J., 2017. Karmaşık arazilerde konveksiyona izin veren iklim simülasyonlarının katma değerinin nicelleştirilmesi: Himalayalar üzerindeki WRF'nin sistematik bir değerlendirmesi. Earth Syst. Dyn. <https://doi.org/10.5194/esd-8-507-2017>
- Kessler, E., 1969. Su Maddesinin Dağılımı ve Sürekliliği Üzerine Atmosferik Dolaşımlar, Atmosferik Dolaşımlarda Su Maddesinin Dağılımı ve Sürekliliği Üzerine. https://doi.org/10.1007/978-1-935704-36-2_1
- Klein, C., Heinzeller, D., Bliefernicht, J., Kunstmann, H., 2015. Batının Değişkenliği WRF çoklu fizik topluluğu tarafından oluşturulan Afrika muson desenleri. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2505-5>
- Knutti, R., 2010. Model demokrasinin sonu mu? İklim. Değişim. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9800-2>
- Knutti, R., Sedláček, J., 2013. Yeni CMIP5'teki sağlamlık ve belirsizlikler iklimmodelprojeksiyonları. Nat. Clim. Chang. <https://doi.org/10.1038/nclimate1716>
- Kouadio, K., Bastin, S., Konare, A., Ajayi, VO, 2020. Konveksiyona izin veren

- Gine kıyısı ve çevresinde daha iyi yağış dağılımını ve aşırı yağışları simüle edin? İklim. Dinamiği <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4308-y>
- Kutiel, H., Benaroch, Y., 2002. Kuzey Denizi-Hazar deseni (NCP) - Üst düzey Doğu Akdeniz'i etkileyen atmosferik tele bağlantı: Tanımlama ve tanımlama. Teori. Uygulama. İklim. 71, 17–28. <https://doi.org/10.1007/s704-002-8205-x>
- Lauer, A., Zhang, C., Elison-Timm, O., Wang, Y., Hamilton, K., 2013. Ölçek küçültme CMIP5 sonuçlarını kullanarak Hawaii bölgesindeki iklim değişikliğinin incelenmesi: Zorlama alanlarının seçimi üzerine*. J. Clim. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00126.1>
- Li, L., Li, W., Jin, J., 2014. Güneydoğu Asya'nın WRF simülasyon becerilerindeki gelişmeler Amerika Birleşik Devletleri yaz yağmuru: fiziksel parametrelendirme ve yatay çözünürlük. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-2031-2>
- Li, Y., Li, Z., Zhang, Z., Chen, L., Kurkute, S., Scaff, L., Pan, X., 2019. Yüksek-çözünürlük bölgesel iklim modellemesi ve batı Kanada üzerinde, sözde küresel ısınma yaklaşımıyla bir hava araştırma tahmin modeli kullanılarak projeksiyon. Hidrolik. Dünya Sist. Bilimi. <https://doi.org/10.5194/hess-23-4635-2019>
- Lim, S.-YH, Jade, J.-O., 2006. WRF Tek-Moentli 6-Sınıflı Mikrofizik Şema (WSM6). J. Kore Meteorol. Soc.
- Lin, YL, Farley, RD, Orville, HD, 1983. Kar sahasının toplu parametrelendirilmesi bir bulut modelinde. J. Clim. Appl. Meteorol. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1983\)022<1065:BPOTSF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1983)022<1065:BPOTSF>2.0.CO;2)
- Lionello, P., Bhend, J., Buzzi, A., Della-Marta, PM, Krichak, SO, Jansà, A., Maheras, P., Sanna, A., Trigo, IF, Trigo, R., 2006. Bölüm 6 Akdeniz bölgesindeki siklonlar: İklim bilimi ve çevre üzerindeki etkileri. Dev. Earth Environ. Sci. 4, 325–372. [https://doi.org/10.1016/S1571-9197\(06\)80009-1](https://doi.org/10.1016/S1571-9197(06)80009-1)
- Liu, C., Ikeda, K., Rasmussen, R., Barlage, M., Newman, AJ, Prein, AF, Chen, F., Chen, L., Clark, M., Dai, A., Dudhia, J., Eidhammer, T., Gochis, D., Gutmann,

- E., Kurkute, S., Li, Y., Thompson, G., Yates, D., 2017. Kuzey Amerika'nın mevcut ve gelecekteki ikliminin kıtasal ölçekli konveksiyona izin veren modellenmesi. İklim Dinamiği <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3327-9>
- Mastratonas, N., Herrera-Lormendez, P., Magnusson, L., Pappenberger, F., Matschullat, J., 2021. Akdeniz'deki aşırı yağış olayları: Mekansal-zamansal özellikler ve büyük ölçekli atmosferik akış desenleriyle bağlantı. Int. J. Climatol. <https://doi.org/10.1002/joc.6985>
- McSweeney, CF, Jones, RG, Booth, BBB, 2012. Topluluk üyelerinin seçilmesi bölgesel iklim değişikliği bilgisi sağlamak. J. Clim. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00526.1>
- McSweeney, CF, Jones, RG, Lee, RW, Rowell, DP, 2015. CMIP5'in Seçilmesi Birden fazla bölge üzerinde ölçeklemeyi azaltmak için GCM'ler. İklim. Dinam. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2418-8>
- Meyer, JDD, Jin, J., 2017. Kuzey Kore'nin gelecekteki projeksiyonlarının tepkisi CCSM4 çıkışının dinamik küçültme ve önyargı düzeltmesini birleştirirken Amerikan musonu. İklim. Din. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3352-8>
- Meyer, JDD, Jin, J., 2016. Bölgesel iyileştirme için CCSM4'ün önyargı düzeltmesi Kuzey Amerika musonunun iklim modellenmesi. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2744-5>
- Molinari, J., Dudek, M., 1992. Konvektif yağışın parametrelendirilmesi mezoskala sayısal modeller: kritik bir inceleme. Pazartesi. Hava Durumu Rev. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1992\)120<0326:POCPIM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1992)120<0326:POCPIM>2.0.CO;2)
- Monerie, PA, Wainwright, CM, Sidibe, M., Akinsanola, AA, 2020. Model CMIP5 ve CMIP6 simülasyon topluluklarında iklim değişikliğinin Sahel yağışına olan etkilerindeki belirsizlikler. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05332-0>

- Morrison, H., Thompson, G., Tatarskii, V., 2009. Bulut mikrofiziğinin etkisi simüle edilmiş bir fırtına hattında takip eden tabakalı yağışın gelişimi: Bir ve iki anlık şemaların karşılaştırılması. Pazartesi Hava Durumu Rev. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2556.1>
- O'Neill, BC, Tebaldi, C., Van Vuuren, DP, Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, JF, Lowe, J., Meehl, GA, Moss, R., Riahi, K., Sanderson, BM, 2016. CMIP6 için Senaryo Model Karşılaştırma Projesi (ScenarioMIP). Geosci. Model Dev. 9, 3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- Önol, B., 2012. Kıyı topografyasının iklim üzerindeki etkileri: Yüksek çözünürlüklü simülasyon bölgesel bir iklim modeliyle. Clim. Res. <https://doi.org/10.3354/cr01077>
- Önol, B., Semazzi, FHM, 2009. İklim değişikliği simülasyonlarının bölgeselleştirilmesi Doğu Akdeniz üzerinde. J. Clim. 22, 1944–1961. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI1807.1>
- Overland, JE, Wang, M., Bond, NA, Walsh, JE, Kattsov, VM, Chapman, WL, 2011. Bölgesel iklim projeksiyonları için küresel iklim modellerinin seçiminde dikkat edilecek hususlar: Bir vaka çalışması olarak Arktik. J. Clim. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3462.1>
- Öztürk, T., Ceber, ZP, Türkeş, M., Kurnaz, ML, 2015. İklim projeksiyonları küçültülmüş küresel iklim modeli çıktıları kullanılarak Akdeniz Havzası'ndaki değişim. Int. J. Climatol. 35, 4276–4292. <https://doi.org/10.1002/joc.4285>
- Patrick, E., 2017. Orta Asya ve Kuzey Afrika'da kuraklık özellikleri ve yönetimi Türkiye, FAO Su Raporları (FAO).
- Pinkerton, KE, Rom, WN, 2014. Küresel iklim değişikliği ve halk sağlığı, Küresel İklim Değişikliği ve Halk Sağlığı. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8417-2>
- Pleim, JE, 2007a. Atmosferik için birleşik yerel ve yerel olmayan kapanış modeli sınır tabakası. Bölüm II: Mezokalada uygulama ve değerlendirme

meteorolojik modeli. J. Uygulama Meteoroloji. Klimatol.
<https://doi.org/10.1175/JAM2534.1>

Pleim, JE, 2007b. Atmosferik basınç için birleşik yerel ve yerel olmayan kapanış modeli sınır tabakası. Bölüm I: Model tanımı ve test edilmesi. J. Appl. Meteorol. Klimatol. <https://doi.org/10.1175/JAM2539.1>

Pohl, B., Crétat, J., Camberlin, P., 2011. Simülasyonda WRF yeteneğinin test edilmesi Ekvator Doğu Afrika'sı üzerindeki atmosferik su döngüsü. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1024-2>

Posada-Marín, JA, Rendón, AM, Salazar, JF, Mejía, JF, Villegas, JC, 2019. WRF ölçek küçültme, El Niño sırasında tropikal bir And vadisi etrafındaki yağışın ERA-Interim gösterimini iyileştirir: karmaşık arazi üzerinde yağışın GCM ölçeğinde simülasyonu için çıkarımlar. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4403-0>

Poupkou, A., Zanis, P., Nastos, P., Papanastasiou, D., Melas, D., Tourpali, K., Zerefos, C., 2011. Ege Denizi'ndeki Etesian rüzgarlarının mevcut iklim eğilimi analizi. Teori. Uygulama. İklim. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0443-7>

Powers, JG, Klemp, JB, Skamarock, WC, Davis, CA, Dudhia, J., Gill, DO, Coen, JL, Gochis, DJ, Ahmadov, R., Peckham, SE, Grell, GA, Michalakes, J., Trahan, S., Benjamin, SG, Alexander, CR, Dimego, GJ, Wang, W., Schwartz, CS, Romine, GS, Liu, Z., Snyder, C., Chen, F., Barlage, MJ, Yu, W., Duda, MG, 2017. Hava durumu araştırma ve tahmin modeli: Genel bakış, sistem çabaları ve gelecekteki yönler. Bull. Am. Meteorol. Soc. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00308.1>

Rasmussen, R., Liu, C., Ikeda, K., Gochis, D., Yates, D., Chen, F., Tewari, M., Barlage, M., Dudhia, J., Yu, W., Miller, K., Arsenault, K., Grubišić, V., Thompson, G., Gutmann, E., 2011. Colorado üzerindeki mevsimsel kar yağışının yüksek çözünürlüklü çiftli iklim akışı simülasyonları: Mevcut ve

daha sıcak iklim. J. Clim. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3985.1>

Rodwell, MJ, Hoskins, BJ, 2001. Subtropikal antisiklonlar ve yaz musonları.

J. Tırmanış. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<3192:SAASM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<3192:SAASM>2.0.CO;2)

Rodwell, MJ, Hoskins, BJ, 1996. Musonlar ve çöllerin dinamikleri. QJR

Meteoroloji Derneği <https://doi.org/10.1256/smsqj.53407>

Schneider, U., Hänsel, S., Finger, P., Rustemeier, E., Ziese, M., 2022. GPCC Tam Veri Aylık Ürün Sürümü 2022 0,25°'de: GTS tabanlı ve Tarihsel Veriler üzerine kurulu Yağmur Ölçerlerden Aylık Kara Yüzey Yağışı [WWW Belgesi]. Küresel Yağış. İklim. Merkez. https://doi.org/10.5676/DWD_GPCC/FD_M_V2022_025

Schröder, M., Becker, A., Dietzsch, F., Fennig, K., Graw, K., Gutenstein, M., Hollmann, R., Niedorf, A., Ziese, M., 2019. Uydu ve ölçüm tabanlı gözlemler kullanılarak belirsizlik tahminleriyle HOAPS/GPCC küresel günlük yağış veri kaydı (1,0° ve 2,5°'de, yalnızca Avrupa'da 0,5°'de) [WWW Belgesi]. Glob.Precip.Climatol.Cent. https://doi.org/10.5676/DWD_CDC/HOGP_050/V002

Sellar, AA, Walton, J., Jones, CG, Wood, R., Abraham, NL, Andrejczuk, M., Andrews, MB, Andrews, T., Archibald, AT, de Mora, L., Dyson, H., Elkington, M., Ellis, R., Florek, P., Good, P., Gohar, L., Haddad, S., Hardiman, SC, Hogan, E., Iwi, A., Jones, CD, Johnson, B., Kelley, DI, Kettleborough, J., Knight, JR, Köhler, MO, Kuhlbrodt, T., Liddicoat, S., Linova-Pavlova, I., Mizieliński, MS, Morgenstern, O., Mulcahy, J., Neininger, E., O'Connor, FM, Petrie, R., Ridley, J., Rioual, JC, Roberts, M., Robertson, E., Rumbold, S., Seddon, J., Shepherd, H., Shim, S., Stephens, A., Teixeira, JC, Tang, Y., Williams, J., Wiltshire, A., Griffiths, PT, 2020. CMIP6 için İngiltere Dünya Sistemi Modellerinin Uygulanması. J. Adv. Model. Earth Syst. 12. <https://doi.org/10.1029/2019MS001946>

- Şen, OL, Ezber, Y., Bozkurt, D., 2019. Avrupa-Akdeniz iklim değişkenliği boreal kış: Doğu Asya çukurunun potansiyel rolü. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4573-9>
- Şen, Ö.L., Göktürk, OM, Bozkurt, D., 2015. Değişen iklim: büyük bir zorluk Türkiye için. J. Karadeniz/Akdeniz Çevresi.
- Sen, OL, Ünal, A., Bozkurt, D., Kindap, T., 2011. Zamansal değişimler Fırat ve Dicle deşarjları ve telebağlantılar. Çevre. Res. Lett. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/2/024012>
- Simpson, IR, Seager, R., Shaw, TA, Ting, M., 2015. Akdeniz yazı iklim ve orta doğu topografyasının önemi. J. Clim. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00298.1>
- Skamarock, WC, Klemp, JB, Dudhia, J., Gill, DO, Barker, DM, Wang, W., Powers, JG, 2008. İleri araştırma WRF sürüm 3'ün tanımı, NCAR Tech. Note, NCAR/TN-468+STR. Natl. Cent. Atmos. Res. Boulder, Color.
- Skamarock, WC, Klemp, JB, Dudhia, J., Gill, DO, Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, JG, Duda, MG, Barker, DM, Huang, X.-Y., 2019. Gelişmiş Araştırma WRF Modeli Sürüm 4'ün Tanımı, Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi: Boulder, CO, ABD.
- Stouffer, RJ, Eyring, V., Meehl, GA, Bony, S., Senior, C., Stevens, B., Taylor, KE, 2017. CMIP5 bilimsel boşlukları ve CMIP6 için öneriler. Bull. Am. Meteorol. Soc. 98, 95–105. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00013.1>
- Taylor, KE, Stouffer, RJ, Meehl, GA, 2012. CMIP5 ve Deney tasarımı. Bull. Am. Meteorol. Soc. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- Thompson, G., Field, PR, Rasmussen, RM, Hall, WD, 2008. Açık tahminler geliştirilmiş bir toplu mikrofizik şeması kullanılarak kış yağışının hesaplanması. Bölüm II:

- Yeni bir kar parametrelendirmesinin uygulanması. Pazartesi Hava Durumu Rev. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2387.1>
- Tiedtke, M., 1989. Kümü lüs parametrelendirmesi için kapsamlı bir kütle akısı şeması büyük ölçekli modellerde. Pazartesi Hava Durumu Rev. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1989\)117<1779:ACMFSF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1989)117<1779:ACMFSF>2.0.CO;2)
- Trigo, IF, Bigg, GR, Davies, TD, 2002. Siklogenezin klimatolojisi Akdeniz'deki mekanizmalar. Pazartesi Hava Durumu Rev. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130<0549:COCMIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130<0549:COCMIT>2.0.CO;2)
- Trigo, R., Xoplaki, E., Zorita, E., Luterbacher, J., Krichak, SO, Alpert, P., Jacobeit, J., Sáenz, J., Fernández, J., González-Rouco, F., Garcia-Herrera, R., Rodo, X., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Türke, M., Gimeno, L., Ribera, P., Brunet, M., Trigo, IF, Crepon, M., Mariotti, A., 2006. Bölüm 3 Akdeniz bölgesindeki de ğişkenlik ile orta enlem de ğişkenli ği arasındaki ilişkiler. Dev. Dünya Çevresi. Bilim. 4, 179–226. [https://doi.org/10.1016/S1571-9197\(06\)80006-6](https://doi.org/10.1016/S1571-9197(06)80006-6)
- Tuel, A., Eltahir, EAB, 2020. Akdeniz Neden İklim De ğişikliğinin Sıcak Bir Bölgesidir? Leke? J. Clim. 33, 5829–5843. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0910.1>
- Türkeş, M., Er lat, E., 2006. Kuzey Atlantik salınımının Türkiye'de yağış de ğişkenli ği ve de ğişimleri. Nuovo Cim. della Soc. İtalyan. di Fis. C. <https://doi.org/10.1393/ncc/i2005-10228-8>
- Tyrlis, E., Lelieveld, J., 2013. Yaz Etesian'ının iklimi ve dinamikleri Do ğu Akdeniz üzerindeki rüzgarlar. J. Atmos. Sci. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-13-035.1>
- Ulbrich, U., May, W., Li, L., Lionello, P., Pinto, JG, Somot, S., 2006. Bölüm 8 Küresel ısınma altında Akdeniz iklim de ğişikliğ i. Dev. Earth Environ. Sci. 4, 399–415. [https://doi.org/10.1016/S1571-9197\(06\)80011-X](https://doi.org/10.1016/S1571-9197(06)80011-X)
- van Vuuren, DP, Edmonds, JA, Kainuma, M., Riahi, K., Weyant, J., 2011.A

özel sorun Açık , RCP'ler. Tırmanış. Değiştirmek 109, 1–4.
<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0157-y>

Wang, J., Kotamarthi, VR, 2015. Yüksek çözünürlüklü dinamik olarak küçültülmüş Kuzey Amerika'da 21. yüzyılın ortası ve sonlarındaki yağış projeksiyonları. Earth's Future. <https://doi.org/10.1002/2015EF000304>

Wyser, K., Kjellström, E., Koenigk, T., Martins, H., Döscher, R., 2020. Warmer EC-Earth3-Veg'deki iklim projeksiyonları: CMIP5'ten CMIP6'ya sera gazı konsantrasyonlarındaki değişikliklerin rolü. Environ. Res. Lett. 15. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab81c2>

Xoplaki, E., 2002. Akdeniz'deki iklim değişkenliği. Doktora tezi. Bern Üniversitesi, İsviçre.

Xoplaki, E., González-Rouco, JF, Luterbacher, J., Wanner, H., 2004. Yağmurlu sezon Akdeniz yağış değişkenliği: Büyük ölçekli dinamiklerin ve eğilimlerin etkisi. İklim. Dinamiği. <https://doi.org/10.1007/s00382-004-0422-0>

Yılmaz, KK, Yazıcıgil, H., 2011. İklim değişikliğinin Türk ekonomisi üzerindeki potansiyel etkileri su kaynakları: Bir inceleme. NATO Bilim. Barış Güvenliği. Ser. C Çevre Güvenliği. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1143-3_12

Yu, G., Wright, DB, Li, Z., 2020. Konveksiyonel Yağışlarda Yağışın Üst Kuyruğu Bölgesel İklim Modellerinin İzin Verilmesi ve Durağan Olmayan Yağış ve Taşkın Frekansı Analizinde Kullanılabilirliği. Dünya'nın Geleceği. <https://doi.org/10.1029/2020EF001613>

Yucel, Ismail, Güventürk, A., Sen, OL, 2015. İklim değişikliğinin kar erimesi üzerindeki etkileri Doğu Türkiye'deki dağlık sınır ötesi havzalar için akış. Int. J. Climatol. 35, 215–228. <https://doi.org/10.1002/joc.3974>

Yucel, İ., Onen, A., 2014. Mezoskalalı bir atmosfer modelinin ve uydu tabanlı bir modelin değerlendirilmesi Kuzeybatı Türkiye'deki aşırı yağış olaylarının tahmininde temel algoritma. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 14, 611–624. <https://doi.org/10.5194/nhess-14->

- Yücel, İ., Önen, A., Yılmaz, KK, Gochis, DJ, 2015. Kalibrasyonu ve değerlendirilmesi
Bir sel tahmin sistemi: Sayısal hava tahmin modelinin, veri
asimilasyonunu ve uydu tabanlı yağışın faydası. J. Hydrol. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.042>
- Zhang, C., Wang, Y., Hamilton, K., 2011. Sınırın geliştirilmiş gösterimi
ARW-WRF'de güneydoğu pasifik üzerindeki katmanlı bulutlar, değiştirilmiş bir tiedtke
kümüls parametrelendirme şeması kullanılarak. Pazartesi Hava Durumu Rev.
<https://doi.org/10.1175/MWR-D-10-05091.1>
- Zhang, H., Gao, Y., Xu, J., Xu, Y., Jiang, Y., 2019. Gelecekteki nemin ayrışması
Küresel ve bölgesel iklim modelleri tarafından tahmin edilen Tibet Platosu üzerindeki akı
değişimleri. J. Clim. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0200.1>
- Zhang, Z., Colle, BA, 2018. İki CMIP5'i dinamik olarak küçültmenin etkisi
Kuzey Amerika'nın Doğu Kıyısı boyunca kış ekstratropikal siklonlarındaki tarihsel ve
gelecekteki değişikliklere ilişkin modeller. J. Clim. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0178.1>
- Zhao, Z., Di, P., Chen, S.hua, Avise, J., Kaduwela, A., DaMassa, J., 2020.
Dinamik küçültme ve önyargı düzeltme tekniği kullanılarak Kaliforniya üzerindeki
iklim değişikliği etkisinin değerlendirilmesi: yöntem doğrulaması ve yaz
sonuçlarının analizleri. İklim. Din. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05200-x>
- Ziv, B., Saaroni, H., Alpert, P., 2004. Yaz rejimini yöneten faktörler
Doğu Akdeniz. Int. J. Climatol. <https://doi.org/10.1002/joc.1113>

ÖZGEÇMİŞ

Soyadı, Adı: Bağçacı, Soner Çağatay

EĞİTİM

Derece	Kurum	Yılı Mezuniyet
Bayan BS	Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	2018 2014
Lise	Hacı Malike Mehmet Bileydi Anadolu Lisesi, Antalya	2009

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Kayıt
Kasım 2015-Güncel	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	Araştırma Asistanı

YABANCI DİLLER

İleri İngilizce

YAYINLAR

1. Bağçacı, S. Ç., Yucel, İ., Yılmaz, MT (hazırlık aşamasında). Doğu Akdeniz Karadeniz bölgesi üzerinde yalancı küresel ısınma yöntemine dayalı ERA5 ve CMIP6 GCM topluluğunun yüksek çözünürlüğe dinamik olarak küçültülmesi.
2. Bağçacı, S. Ç., Yucel, İ., Düzenli, E., Yılmaz, MT (2021). CMIP6 ve CMIP5 iklim projeksiyonlarından elde edilen sıcaklık ve yağıştaki beklenen değişimin karşılıklı karşılaştırılması: Akdeniz sıcak nokta örneği, Türkiye. Atmosferik Araştırma, 256, 105576.

3. Sarlak, N., Bagcaci, SC (2020). Ampirik Potansiyel Buharlaşma Yöntemlerinin Değerlendirilmesi: Konya Kapalı Havzası İçin Bir Vaka Çalışması. TEKNİK DERGİ, 31(1), 9755-9772.
4. Agha, OMAM, Bağçacı, S. Ç., Şarlak, N. (2017). Kuzey Irak'taki yağış serilerinin homojenlik analizi. IOSR Uygulamalı Jeoloji ve Jeofizik Dergisi, 5(03), 57-63.
5. Bağçacı, SC, Sarlak, N. (2019). Karaman ili potansiyel evapotranspirasyon tahmini. Toprak Su Dergisi, 1-8.

Konferans Bildirileri

1. Tokatlı Bülent, Bağçacı S.Ç., Sarlak N. (2018). Kentsel Hidrolojik Döngüde Yeşil Çatı Etkisi (İngilizce Çeviri: Kentsel Hidrolojik Döngüde Yeşil Çatı Etkisi). 3. Uluslararası Enerji ve Mühendislik Kongresi (Tam Metin/Sözlü Sunum) (Bildiri No:4441090)
2. Bağçacı S. Ç., Sarlak N., Buyukyildiz M. (2017). Türkiye'nin Adana İli Kuraklık Riskine Karşı Kapula Uygulaması. Uluslararası Sağlık ve Çevre Kongresi (Özet/Sözlü Sunum) (Makale No: 3621675)
3. Bağçacı S. Ç., Sarlak N. (2017). Karaman İli'nde Potansiyel Evapotranspirasyon Tahmini. 5. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi (Özet/Sözlü Sunum) (Makale No: 3606144)
4. Bağçacı S. Ç., Buyukyildiz M., Sarlak N., Dogan S. (2017). Kuraklık Endeksleri: Erzincan Örneği. ICOCEE-Kapadokya (Özet/Sözlü Sunum) (Makale No:3621666)

HOBİLER

Doğa gezisi, Popüler bilim, Edebiyat, Müzik, Meditasyon, Belgeseller