



DOĞU AKDENİZ HAVZASINDA SICAKLIK, YAĞIŞ VE AEROSOL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Kahraman OĞUZ*, Beril Salman AKIN

Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ABD, Ankara

Anahtar Kelimeler

*İklim değişikliği,
Aerosol değişimi,
Doğu Akdeniz Havzası,
ERA-Interim modeli,
GFDL-ESM2M küresel iklim
modeli.*

Öz

İklim değişikliği ekolojik, sosyal ve ekonomik sistemlere önemli derecede zarar vermektedir. İnsan aktiviteleri sonucu atmosfere salınan karbondioksit ve diğer ısı tutan (sera) gazların artışıyla beraber, dünya ortalama sıcaklığının artacağı, yağış paternlerinin etkileneceği, buz ve kar örtüsünün azalacağı, deniz seviyesinin yükseleceği, okyanusların asitliği artacağı, ekstrem olayların sıklığı, yoğunluğu ve süresinin artacağı, değişik ekosistem özelliklerinin görüleceği beklenmektedir. Artış ve değişiklik göstermesi beklenen tüm bu hadiselerin, insan sağlığına yönelik tehditleri artıracağı da kaçınılmazdır. Bu sebeple, iklimde gerçekleşen ve gerçekleşmesi muhtemel değişimlerin incelenmesi önem arz etmektedir. Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı Doğu Akdeniz havzası, iklim değişikliğine en duyarlı bölgelerden biridir. Aynı zamanda Doğu Akdeniz havzası, Afrika ve Orta Doğu çöllerini içerdiği için bölgede sık gerçekleşen toz taşınımı sebebiyle aerosol miktarında artışlarla beraber hava kalitesinde düşüş yaşamaktadır. Bu çalışmada, öncelikli olarak Doğu Akdeniz Havzası geneli ve Türkiye için 1981-2010 dönemi sıcaklık ve yağış, 2003-2017 dönemi için ise aerosol değişimleri ve trendleri incelenmiştir. Gerçekleşen değişimlerin %95 güven aralığında olup olmadığını incelemek amacıyla verilere Mann-Kendall testi uygulanmıştır. Sonrasında ise, GFDL-ESM2M küresel iklim modelinin sıcaklık ve yağış gelecek öngörülerini tartışılmıştır.

EVALUATION OF TEMPERATURE, PRECIPITATION AND AEROSOL VARIATION IN EASTERN MEDITERRANEAN BASIN

Keywords

*Climate change,
Aerosol variation,
Eastern Mediterranean
Basin,
ERA-Interim model,
GFDL-ESM2M global
climate model.*

Abstract

Climate change significantly harms ecological, social and economic systems. As a result of human activities, with the increase of carbon dioxide and other greenhouse gases released into the atmosphere, it is expected that the world average temperature will increase, the rainfall patterns will be affected, the ice and snow cover will decrease, the sea level will increase, the acidity of the oceans will increase, the frequency, intensity and duration of extreme events will increase and different ecosystem properties will be seen. It is inevitable that all these events, which are expected to change, will increase threats to human health. For this reason, it is important to examine the changes in the climate which are likely to occur. Turkey is also located in the eastern Mediterranean basin is one of the most vulnerable regions to climate change. At the same time, the Eastern Mediterranean basin, including the deserts of Africa and the Middle East, is experiencing a decrease in the air quality due to the increase in aerosols due to the frequent transport of dust in the region. In this study, the temperature and rainfall for the period 1981-2010 and the aerosol changes and trend for the period 2003-2017 were examined for Eastern Mediterranean basin and Turkey. The Mann-Kendall test was applied to determine whether the actual changes were within the 95% confidence interval. Afterwards, the future predictions of temperature and rainfall of the GFDL-ESM2M global climate model are discussed.

* İlgili yazar / Corresponding author: mk.oguz50@gmail.com

Alıntı / Cite

Oğuz, K., Akın, B.S., (2019). Doğu Akdeniz Havzasında Sıcaklık, Yağış ve Aerosol Değişiminin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 244-253.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K. Oğuz, 0000-0001-5305-6145
B. S. Akın, 0000-0003-0706-8764

Makale Süreci / Article Process

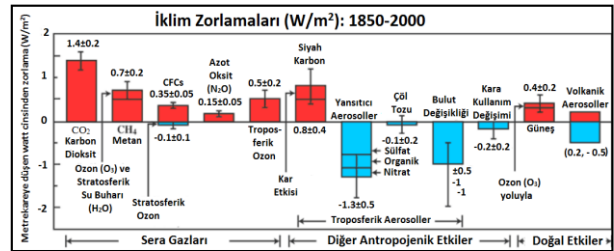
Başvuru Tarihi / Submission Date	27.09.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.12.2018
Kabul Tarihi / Accepted Date	28.12.2018
Yayın Tarihi / Published Date	26.06.2019

1. Giriş

İklim, atmosferdeki kısa vadeli değişimlerin uzun yıllar ortalaması olarak tanımlanmaktadır. Atmosfer veya hava, kısa vadede oldukça değişken bir yapı gösterebilirken; iklim daha kararlı ve uzun vadeli. Küresel ısınma olarak da adlandırılan iklim değişikliği, Dünya üzerindeki ortalama yüzey sıcaklığındaki yükselişi ifade etmektedir. Aslında küresel iklim değişikliğinin sonucu olarak, küresel ısınmanın yanında, yağış paternlerinin etkileneceği, buz ve kar örtüsünün azalacağı, deniz seviyesinin yükseleceği, okyanusların asitliği artacağı, ekstrem olayların sıklığı, yoğunluğu ve süresinin artacağı, değişik ekosistem özelliklerinin görüleceği beklenmektedir. İnsan toplumunun günümüz yüzyılında karşılaştıkları en önemli ve zorlu olaylardan biri iklim değişikliğidir. İnsanın neden olduğu iklim değişikliğinin kanıtları, farklı uzaysal ve zamansal ölçeklerde güçlenmeye başlamıştır. İklim değişikliği ekolojik, sosyal ve ekonomik sistemlere önemli derecede zarar vermektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) beşinci bilimsel değerlendirme raporuna göre (Stocker ve diğerleri, 2013), son otuz yılda, 1850 yılından bu yana, on yıldan daha öncesine kıyasla, Dünya yüzeyinde art arda daha sıcak gerçekleşmiştir (Oztürk, vd., 2015). Yıllık emisyonlarımızın milyarlarca tonu önemli ölçüde düşmedikçe, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonları artmaya devam edecektir. Bu sebeple de, insan sağlığına yönelik tehditler de artacaktır. İklim değişikliğinin gelecek yıllardaki etkilerinin, bu değişimlerle bağlantılı olarak toplum sağlığı ve çevre için önemli bir tehdit oluşturması beklenmektedir. Yeryüzünün son yüzyıldaki sıcaklığının 1.5 derece Fahrenheit arttığı tahmin edilmektedir. Projeksiyon sonuçlarına göre ise, gelecek yüzyılda daha da artacaktır (United States Environmental Protection Agency, 2017). Küresel sıcaklık artışındaki en önemli etken, insan aktiviteleri sonucu atmosfere salınan karbondioksit ve diğer ısı tutan (sera) gazlarıdır. Sera gazları Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) 1. maddesinde "hem doğal, hem de insan kaynaklı olup atmosferdeki kızıl ötesi radyasyonu emen ve tekrar yayan gaz oluşumları" olarak tanımlanmıştır. Bu gazlar güneşten dünyaya gelen ısıyı atmosferde hapsederek sıcaklıkların yükselmesine, dolayısı ile olması gerekenden farklı bir iklim durumunun oluşmasına neden olmaktadır (Akçakaya ve diğerleri, 2013). Enerji üretimi ve kullanımı, ulaşım, sanayi (sağlık dahil) ve tarım amaçlı metan, karbondioksit ve azot oksit içeren fosil yakıtların

yakılması gibi insan faaliyetleri neticesinde, daha önce görülmemiş düzeyde sera gazı emisyonları gerçekleşmiştir. Bilim, insan faaliyetinin Dünya'nın yükselen sıcaklığının baskın sebebi olduğunu ve derhal önlem alınmaması halinde geri dönüşü olmayan zararların olabileceğini göstermektedir (IPCC, 2014).

İklimi etkileyen diğer önemli faktörlerden birisi de atmosferik aerosollerdir. Bunların başında, deniz tuzu, sülfat bileşikler, siyah karbon ve son zamanlarda Doğu Akdeniz havzası atmosferinde baskın hale gelen çöl tozlarıdır. Atmosferde asılı kalan bu aerosol parçacıkları, doğal ve endüstriyel işlemler aracılığıyla atmosfere karışır ve uygun rüzgarlar ve hava koşulları ile dünyanın dört bir yanından taşınırlar. Bu parçacıklar, hem güneş ışınımının yayılması ve emilmesi yoluyla doğrudan, bulut özelliklerini değiştirme yoluyla da dolaylı olarak iklimi etkilemektedirler (Samset, 2016). Şekil 1, 1850'den 2000 yılına kadarki iklim zorlamalarını göstermektedir.



Şekil 1. 1850-2000 yılları arası tahmin edilen iklim zorlamaları (Hansen ve diğerleri, 2000)

En çok radyatif zorlamanın $+1.4 \text{ Wm}^{-2}$ değeri ile CO2'e ait olduğu görülürken; bunu $-1,3 \text{ W/m}^{-2}$ ile yanıtsız aerosoller (tersi yönde) takip etmiştir.

Dünya iklimi, atmosfer, okyanus, kara alanı ve kriyosfer (kar, buz ve permafrost) arasındaki birçok süreç arasındaki etkileşimden kaynaklanmaktadır. Bu etkileşimler karmaşık ve kapsamlı olduğundan, sera gazı artışının iklim üzerindeki etkisinin sayısal tahminleri basit sezgisel akıl yürütme yoluyla yapılamaz. Bu nedenle, bileşen sistemleri arasındaki etkileşim de dahil olmak üzere, iklimi matematiksel olarak simüle etmeye çalışan bilgisayar modelleri geliştirilmiştir (Wratt ve Mullan). Küresel iklim modelleri de bu modeller arasındadır. Küresel iklim modellerinin çalıştırılması, çok çekirdekli süper bilgisayarlar gerektirmekle birlikte, iklim

öngörülerinin hesaplanması da aylar sürebilmektedir. Bu modeller dünya üzerinde 3 boyutlu noktalar oluşturarak atmosfer, okyanus ve kriyosfer süreçlerinin (sirkülasyon, sıcaklık, yağış vb.) ayrıntılı bir simülasyonunu yapmaktadırlar. Elde edilen bu simülasyonlar, geçmiş ve gelecek iklim öngörüsü için kullanılmaktadır.

Gelecek iklim öngörülerine yönelik olarak, Evans (2009) çalışmasında, 18 küresel iklim modelinin SRES A2 senaryosunun (RCP8.5 ve RCP6 arasında denk gelen) projeksiyonlarını çalışmıştır. Orta Doğu bölgesinde yüzyılın ortalarına doğru sıcaklık artışlarının olacağı, yüzyılın sonlarına doğru ise bu sıcaklık artışlarının daha da şiddetleneceği sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca, en az sıcaklık artışının Karadeniz ve Akdeniz üzerinde olacağını belirtmiştir. Yağış projeksiyonlarına göre ise, Orta Doğu genelinde yağışlarda bir azalma olacağı, en fazla azalmanın ise (~%25) Türkiye, Suriye, Irak'ın kuzeyinde olacağı sonucuna ulaşmıştır. Kitoh ve diğerleri (2005) çalışmalarında, MRI CGCM2 küresel modelinin yağış projeksiyonlarını çalışmışlardır. SRES A2 ve B2 (~RCP6) senaryolarını ayrı ayrı incelemişlerdir. Sonuçta, ilginç bir şekilde Akdeniz ve Orta Doğu bölgesinin ekstrem yağışlarında bir artış olmasına karşın, toplam yağışlarında bir azalmanın olacağı sonucuna ulaşmışlardır. Yine, Yukimoto ve diğerleri (2005) de MRI-CGCM2.3 küresel iklim modelinin A1B (~RCP6) senaryosuna göre yaptığı incelemelerde de, yağışlarda Akdeniz çevresinde kayda değer düşüşlerin olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçta, ele alınan konsantrasyon senaryolarının birbirinden farklı olmasına karşın, çalışmaların geneli Orta Doğu'yu da içeren Akdeniz havzası için (özellikle Türkiye, Irak ve Suriye civarları) gelecek yüzyılda sıcaklıklarda bir artış, yağışlarda bir azalmalar tespit etmişlerdir. Sıcaklıklardaki artış ve yağışlardaki azalmanın yüzyılın sonlarına doğru daha da şiddetleneceği belirtilmiştir.

Bu çalışmada, Doğu Akdeniz havzası için öncelikle Era-Interim reanaliz verisi ile 1981-2010 dönemi için sıcaklık ve yağış dağılımları incelenmiştir. Aerosol değişimi ise 2003-2017 periyodu için NASA'ya ait MODIS/Aqua uydusu Aerosol Optik Derinliği (AOD) verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin trendleri incelendikten sonra Mann-Kendall testi uygulanmıştır. Sonrasında ise, havza için GFDL-ESM2M küresel iklim modelinin sıcaklık ve yağış gelecek öngörülerini küresel olarak tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

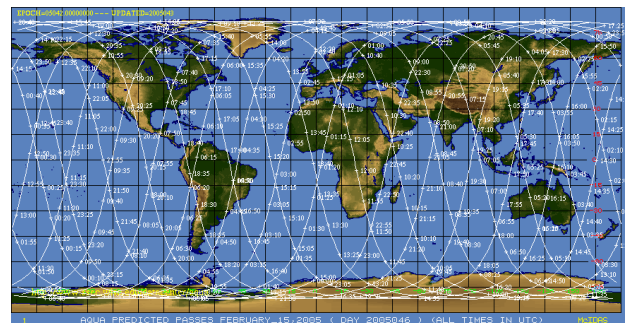
2.1. ERA-Interim Reanaliz Veri Seti

Çalışmada kullandığımız ERA-Interim (ERA-I) veri seti, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından üretilen en güncel küresel atmosferik veri seti olup pek çok parametreyi içermektedir. ERA-I, 1 Ocak 1979 tarihinden günümüze kadar olan veri setini

içermekte ve sürekli güncellenmektedir. Bu veri setleri içerisinde sıcaklık, yağış, rüzgâr, buharlaşma, toprak sıcaklığı ve nemi gibi pek çok parametre bulunmaktadır. Yatay çözünürlüğü yaklaşık olarak 80 km olmakla birlikte, düşeyde yüzeyden 0.1 hPa seviyesine kadar 60 seviyede veri bulunmaktadır (Dee vd., 2011). ERA-I atmosferik veri seti, küresel gözlem verilerinin (uydu, yer istasyonu, radiosonde vb.) asimilasyonu ile oluşturulmaktadır. Tüm bu gözlem verileri, küresel atmosferik model ile üretilen ürünler ile istatistiki açıdan en uygun yöntemle birleştirilmektedir. Günde iki sefer 00:00 ve 12:00 UTC başlangıç zaman adımlarında ürün üretilmektedir. Gerçekleştirilen asimilasyon sonucunda ise, atmosferin kaotik davranışına çok daha yakın ve tutarlı ürünler elde edilmektedir. Ürün zaman adımlarının sık aralıklarla (3 saatlik) olması, ürünü avantajlı hale getirmektedir (Balsamo vd., 2015; Oğuz vd., 2017). Sıcaklık ve yağış parametrelerinin haritalanması amacıyla "climate reanalyser" platformu kullanılmıştır. Bu platform, Dr. Sean Birkel tarafından tasarlanmış olup, ürünlere "<http://cci-reanalyser.org/>" web sitesinden ulaşılabilir.

2.2. MODIS/Aqua Uydusu Veri Seti

MODIS, 1999 yılında NASA tarafından fırlatılmış, yer küreye göre sabit yörüngesi olan bir sistemdir. Bu sistem, 36 farklı bant bölgesinde 0,4 -14,4 mikron dalga boyunda çalışan, farklı seçicilikte özelliklere sahiptir. 250 m (kanal 1-2), 500 m (kanal 3-7) ve 1 km (kanal 8-36) çözünürlüklerde uzaysal veri sağlamaktadır. Uydu 1-2 geçiş ile tüm dünyayı görüntüler (Şekil 2). Onboard Terra'da MODIS dünyayı sabah görürken, Aqua MODIS yörüngesi dünyayı öğleden sonra görür. Yeryüzü üzerinde, büyük ölçekli küresel dinamik yapıya ait ölçümleri (bulut kapallığı, radyasyon bütçesi, aşağı atmosferde okyanus ve kara yüzeylerinde oluşan değişimleri) verecek şekilde tasarlanmıştır. MODIS aerosol algoritması ise, iki bağımsız algoritmadan (biri kara üzeri, diğeri okyanus üzeri) oluşmaktadır (Levy vd., 2010).



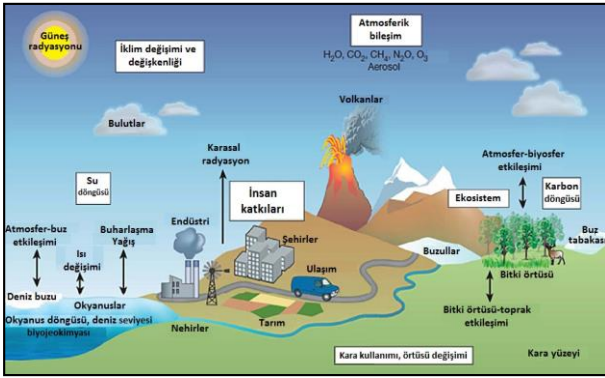
Şekil 2. MODIS Aqua uydusunun örnek geçiş rotası

Uydu Aerosol ölçümleri, diğer adıyla Aerosol Optik Derinliği (AOD), aerosol parçacıkları tarafından yere ne kadar doğrudan güneş ışığının ulaşmasının

engellendiğini belirtmektedir (Levy vd., 2010). Diğer bir deyişle AOD, aerosollerin atmosferik sütündeki dağılımını ve yoğunluğunu göstermektedir. Birimsiz olarak elde edilen AOD değeri, atmosfer kolonundaki aerosol miktarı arttıkça artmaktadır. Çalışmada, aerosol dağılımının ve değişiminin incelenmesi amacıyla ise, NASA/Aqua uydusuna ait AOD verileri kullanılmıştır.

2.3. GFDL-ESM2M Küresel İklim Modeli

Çalışmada, sıcaklık ve yağış parametrelerinin incelenmesi amacıyla Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'ne bağlı Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı (GFDL-Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) tarafından geliştirilen GFDL-ESM2M küresel iklim modelinin çıktıları kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Senaryolarda ele alınan başlıca doğal ve antropojenik süreçler ve iklim sistemi üzerindeki etkiler (Kaynak: GFDL)

GFDL-ESM2M, karbon, su gibi madde döngüleri ile insan aktivitelerinin iklim sistemleri üzerine etkileşimini bir arada incelemek için geliştirilmiştir. Model, birleştirilmiş atmosfer ve okyanus sirkülasyonunun yanı sıra atmosfer kimyasını da içermektedir. Ayrıca model bitki biyolojisi ve bitki yüzey kullanımı, yüzey fiziği ve hidrolojisi, okyanus ekolojisi ve biyojeokimyası, okyanus sirkülasyonu ve deniz buzulları bileşenleri konfigürasyonları ile geliştirilmiştir. Modelin arazi bileşeni, yağış ve buharlaşma, akarsu, göl, ırmak, ve yüzeysel akışının yanı sıra dinamik karbon ve diğer elementlerin birikimlerinin simülasyonunu oluşturabilmek için karasal ekoloji bileşenini de içermektedir (Akçakaya vd., 2015). GFDL-ESM2M modelinin atmosfer bileşeni 2°x2,5° çözünürlüğünde temsil edilmekte ve dikeyde toplam 40 farklı seviye içermektedir (Dunne, 2013). Model ürünlerine erişim sağlanması, harita ve grafiklerin elde edilmesi amacıyla, Alder ve Hostetler (USGS) tarafından geliştirilen "Global Climate Change Viewer (GCCV)" yazılımı kullanılmıştır.

GCCV yazılımı, küresel iklim modellerince modellenen sıcaklık ve yağış değişimlerinin görselleştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu yazılım, kullanıcılarına

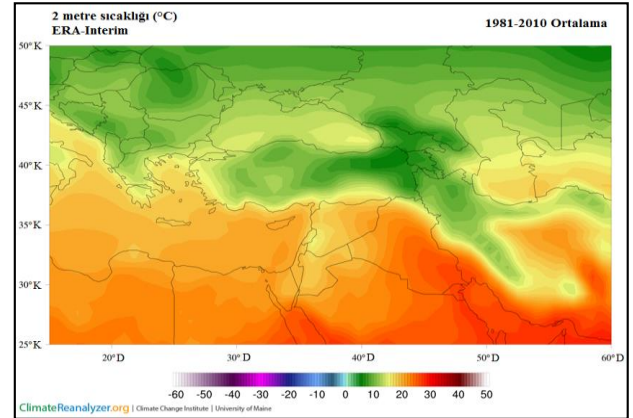
seçilen ülkeler için çeşitli RCP senaryolarına (2.6, 4.5, 6.0 ve 8.5) göre iklim değişikliği projeksiyonlarının görselleştirilmesine olanak sağlamaktadır. GCCV ayrıca, 1850-2100 yılları arasındaki aylık sıcaklık ve yağışların değişim grafiklerine erişim olanağı sağlamaktadır (Alder vd., 2017).

3. Araştırma Bulguları

3.1. Gözlenen Değişimler

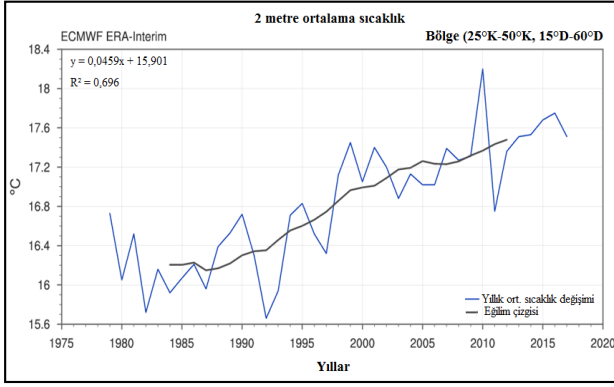
Çalışma alanı olan Doğu Akdeniz havzası için sıcaklık, yağış ve aerosol dağılımının incelenmesi sebebiyle, 1981-2010 periyodu ortalama sıcaklık ve yağış ve 2003-2017 periyodu için ise aerosol dağılımı analiz edilmiştir. Bunun yanında, verilerin trendleri incelenmiştir. Trendlerdeki değişimlerin anlamlı olup olmadığını tespit etmek amacıyla ise Mann-Kendall testi kullanılmıştır.

Şekil 4 ve 5'de ERA-Interim reanaliz verileri kullanılarak çalışılan sıcaklık dağılım haritası ve değişim grafiği görülmektedir. Elde edilen dağılım haritasına göre, havzada en soğuk bölgenin Türkiye'nin kuzeydoğusu ve Gürcistan olduğu görülmektedir. Bu bölgenin ortalama sıcaklığı 11.5°C'dir. En sıcak bölgelerin ise havzanın güney doğusunun (Suudi Arabistan, Suriye ve Basra Körfezi) olduğu görülmektedir. Bu bölgenin ortalama sıcaklığı 22°C'nin üzerindedir. Bu verilere göre, Türkiye geneli ortalama sıcaklığı ise 13°C olarak bulunmuştur.



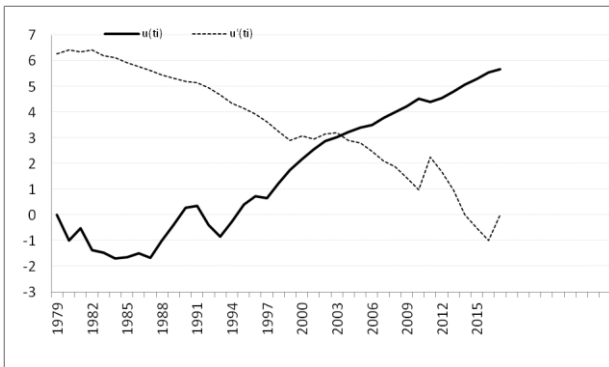
Şekil 4. Doğu Akdeniz havzası ortalama sıcaklık dağılımı

Şekil 5'de havzanın sıcaklık trendinin artış yönünde olduğu net bir şekilde görülmektedir. 1980'lerde 16.2°C olan sıcaklık ortalaması, son yıllarda 17.7°C'ye kadar ulaşmıştır. Havzada en düşük sıcaklık 15.7°C ile 1992 yılında gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklığın ise 18.2°C olarak 2010 yılında gerçekleştiği görülmektedir. Sonuçlar, 1980 yılından bu yana Doğu Akdeniz havzasında sıcaklığın 1.5°C arttığını göstermektedir.



Şekil 5. Doğu Akdeniz havzası ortalama sıcaklık trendi

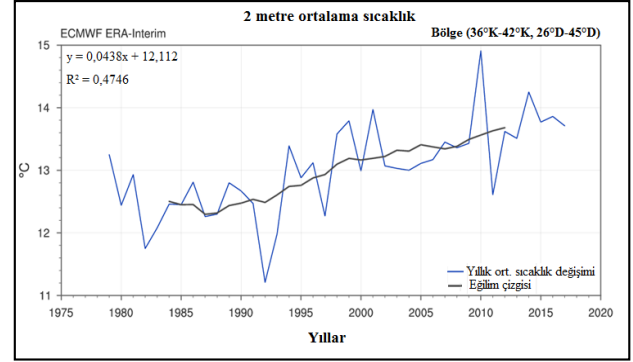
Çalışmada, trendi analiz etmek için kullandığımız tüm verilere aynı zamanda Mann-Kendall testi uygulanmıştır. Mann-Kendall testi, uygulanan seride zamanla anlamlı bir artma yada azalma olup olmadığını bulmak için kullanılmaktadır. Mann-Kendall testine göre, zamanla bir değişim yok varsayımı, $u(t)$ 'nin sıfıra yakın değerleri ile ifade edilirken $u(t)$ 'nin büyük değerleri bir değişiminin olduğunu gösterir. $u(t)$ 'nin ± 1.96 'ya ulaşması trendin önemlilik seviyesinin %95'lere ulaştığını gösterir. $u'(t)$ ise seri içinde geri yönde $u(t)$ 'ye benzer şekilde hesaplanır. Grafikselsel gösterimde trend bulunmaması halinde bu 2 eğri birbirini birkaç kere altlı üstlü keserler. Trend olması halinde ise, iki eğrinin birbirini kesmeleri trendin başlangıç yılını verir (Gümüş ve Yenigün, 2006). Çalışma alanına ait ortalama sıcaklık verilerinin Mann-Kendall testi Şekil 6'da görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, zaman serisinde %95 güven aralığında artış eğilimi vardır. Bu artış özellikle 2003 yılından sonra başlamıştır.



Şekil 6. Doğu Akdeniz havzası ortalama sıcaklığı Mann-Kendall testi

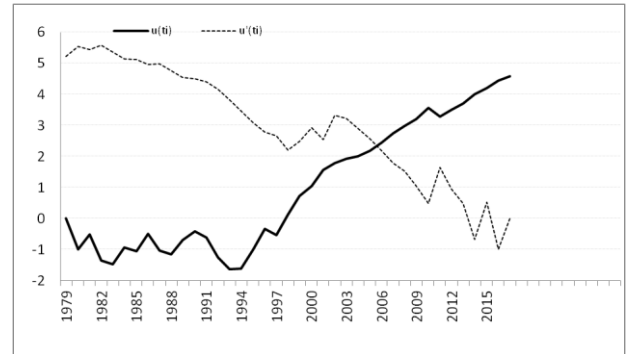
Türkiye için ortalama sıcaklık trendi ise Şekil 7'de görülmektedir. Türkiye sıcaklıklarının da bir artış trendinde olduğu net bir şekilde görülmektedir. 1980'lerde 12.4°C olan ortalama sıcaklık, son yıllarda 13.8°C'ye kadar ulaşmıştır. Havzada en düşük sıcaklık 11.2°C ile 1992 yılında gerçekleşmiştir. En yüksek sıcaklığın ise 14.8°C olarak 2010 yılında gerçekleştiği görülmektedir. Sonuçlar, 1980 yılından bu yana

Türkiye'de sıcaklığın 1.4°C arttığını göstermektedir.



Şekil 7. Türkiye ortalama sıcaklık trendi

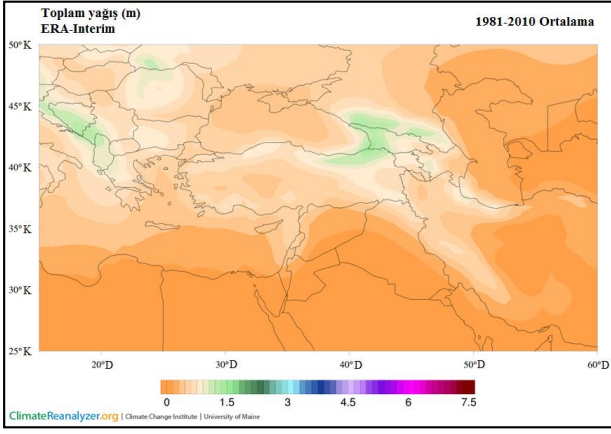
Türkiye için ortalama sıcaklık verilerinin Mann-Kendall testi Şekil 8'de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, zaman serisinde yine %95 güven aralığında artış eğilimi vardır. Bu artış özellikle 2006 yılından sonra başlamıştır.



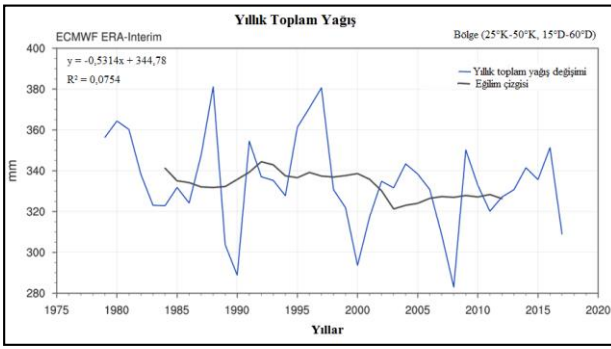
Şekil 8. Türkiye ortalama sıcaklığı Mann-Kendall testi

Şekil 9'da yıllık toplam yağışların 1981-2010 yılları ortalama haritası görülmektedir. Elde edilen dağılım haritasına göre, havzada en yağışlı bölgenin Türkiye'nin kuzeydoğusu ve Gürcistan civarları olduğu görülmektedir. Bu bölgenin ortalama yağış miktarı ~900 mm'dir. En az yağışlı bölgelerin ise havzanın güney batısında (Kuzey Afrika'da bulunan Libya ve Mısır) olduğu görülmektedir. Bu bölgenin ortalama yağış miktarı 20 mm'den daha azdır. Bu verilere göre, Orta Doğu bölgesi için ortalama yağış miktarı ~150 mm, Türkiye ortalama yağış miktarı ise ~620 mm olarak bulunmuştur.

Havzanın yıllık toplam yağış trendinin az da olsa azalma yönünde olduğu görülmektedir (Şekil 10). Havzada en yüksek yağış miktarının 380 mm ile 1988 ve 1997 yıllarında olduğu görülmektedir. En düşük yağış miktarı ise 290 mm ile 2008 yılında gerçekleşmiştir. Havza yıllık toplam yağışlarının son yıllarda 310 mm civarında olduğu görülmektedir.

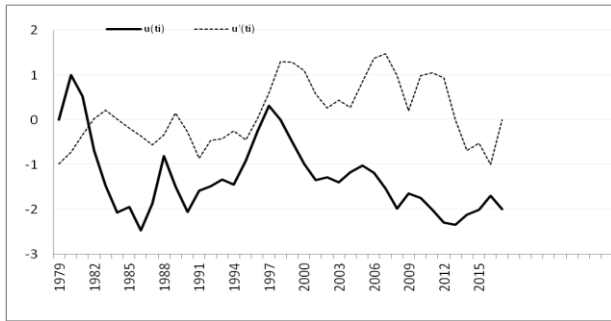


Şekil 9. Doğu Akdeniz havzası ortalama yağış dağılımı



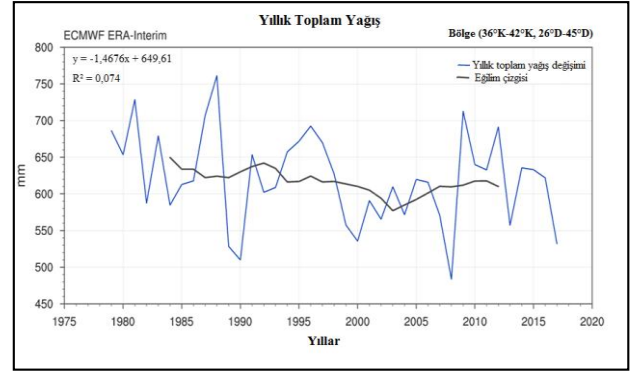
Şekil 10. Doğu Akdeniz havzası yıllık toplam yağış trendi

Çalışma alanına ait yıllık toplam yağış verilerinin Mann-Kendall testi Şekil 11'de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, zaman serisinde %95 güven aralığında azalış eğilimi vardır. Bu azalış özellikle 1982 yılından sonra başlamıştır.



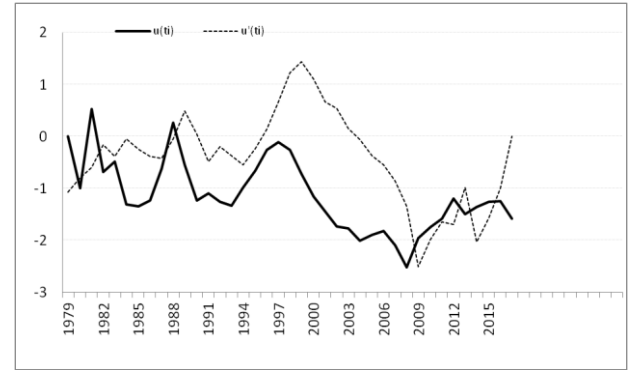
Şekil 11. Doğu Akdeniz havzası yıllık toplam yağış Mann-Kendall testi

Şekil 12'de ise Türkiye için yıllık toplam yağış trendi görülmektedir. Yıllık toplam yağış trendinin Türkiye için az da olsa azalma yönünde olduğu görülmektedir. En yüksek yağış miktarının 760 mm ile 1988 yılında olduğu görülmektedir. En düşük yağış miktarı ise 490 mm ile 2008 yılında gerçekleşmiştir. Yıllık toplam yağışlarının son yıllarda 530 mm civarında olduğu görülmektedir.



Şekil 12. Türkiye için yıllık toplam yağış trendi

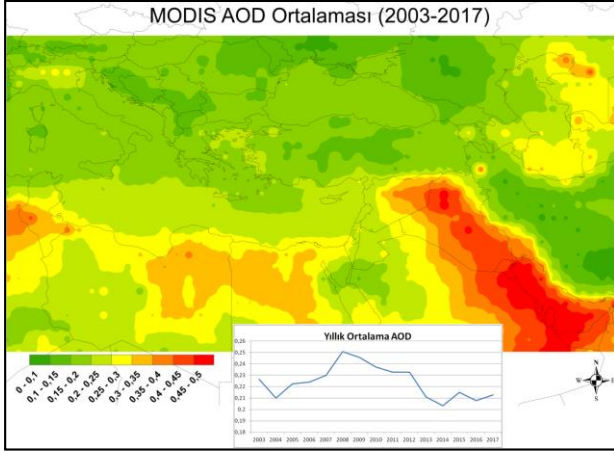
Türkiye için yıllık toplam yağış verilerinin Mann-Kendall testi Şekil 13'de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, zaman serisinde %95 güven aralığında artış veya azalış eğilimi yoktur.



Şekil 13. Türkiye yıllık toplam yağış Mann-Kendall testi

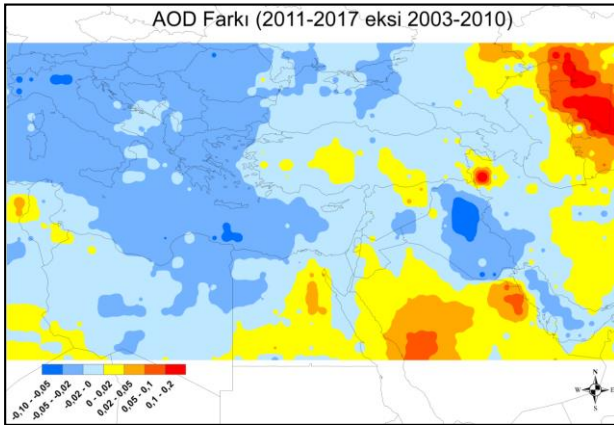
Atmosferdeki aerosol yoğunluğunu ifade eden ve birimsiz olarak gösterilen AOD değerinin havza için dağılımı ve trendi Şekil 14'de gösterilmektedir. IPCC, Orta Doğu atmosferinde bulunan aerosollerin önemli bir bileşeninin mineral tozlarınca oluşturduğunu ve bunun önemli iklim değişkeni olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuçlara göre, Balkan ülkeleri, Karadeniz, Türkiye, Akdeniz ve İran'ın büyük bir bölümünün AOD ortalaması 0.25'in altında bir değer göstermektedir. Hazar denizinin güney kesimleri ve doğusu 0.25-0.3 arası AOD değerleri göstermektedir. Libya'nın kuzey doğusu ve Mısır'ın kuzey batısı 0.35 civarı değerler gösterirken, Tunus'un bir bölümü ve batısı 0.4 civarı AOD değeri göstermektedir. Havzanın en yüksek AOD değeri gösteren bölümü Suriye'nin doğusu, Irak, Suudi Arabistan'ın doğusu ve Basra Körfezi'dir. Bu bölgelerin AOD ortalaması 0.5'in üzerindedir. Havzanın yıllık ortalama AOD değişim trendine bakıldığında, 2004 yılında 0.21 civarlarında olan AOD değerinin 2008 yılına kadar artış göstererek 0.25'in üzerine çıktığı, ancak sonrasında azalışa geçerek 2017 yılında tekrar 0.21'lere kadar düştüğü görülmektedir.

AOD değerindeki artış ve azalışın harita üzerindeki yerlerini görmek amacıyla 2011-2017 yılları AOD ortalamasının 2003-2010 yılları ortalamasından farkı Şekil 15'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Doğu Akdeniz havzası ortalama AOD dağılımı ve trendi

En fazla AOD artışının (~0.2) Hazar denizinin doğusunda olduğu görülmektedir. Bu artışı Suudi Arabistan takip etmiştir. Irak, İran'ın batı kesimleri, Libya, Akdeniz ve Türkiye'de AOD değerinde azalmalar görülmektedir. En fazla azalmanın ise Irak üzerinde olduğu görülmektedir.

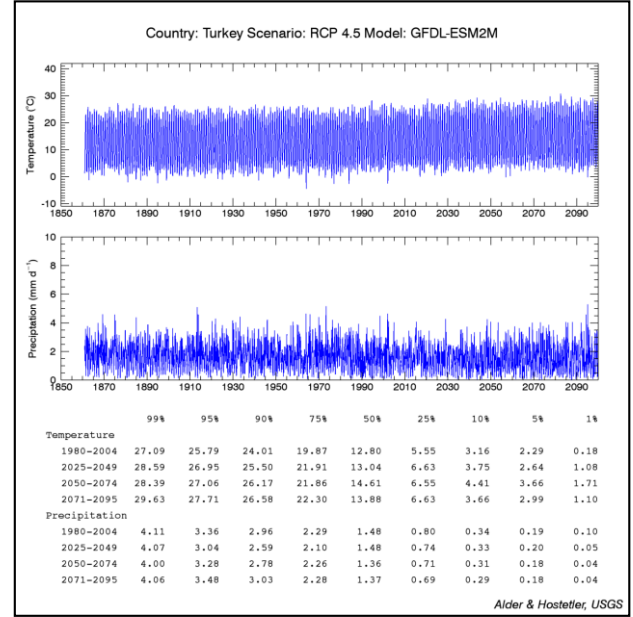


Şekil 15. 2011-2017 yılları AOD ortalamasının 2003-2010 yılları ortalamasından farkı

3.2. GFDL-ESM2M Küresel İklim Modeli Öngörülleri

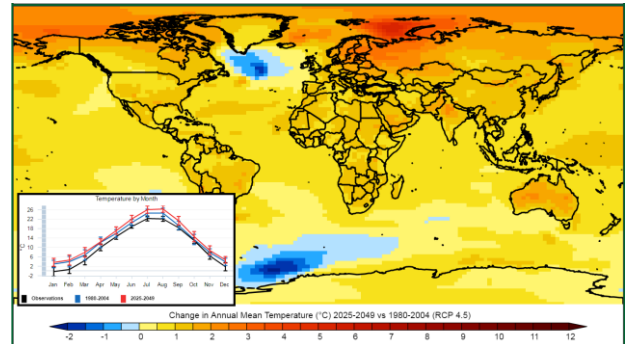
Bu bölümde, GFDL-ESM2M küresel iklim modelinin öngörülleri tartışılmıştır. Şekil 16'da GFDL-ESM2M küresel iklim modelinin 1800'lü yıllardan 2100 yılına kadar Türkiye için RCP4.5 senaryosu sıcaklık ve yağış trendi görülmektedir. Grafiğe göre geçmiş yıllardan günümüze sıcaklıklarda bir artış olacağı, yağışlarda ise dönemsel olarak azalma ve artışlar görülmektedir. 1980-2004 yılları sıcaklık ortalamasının 12.80°C, günlük yağış ortalamasının 1.48 mm olduğu görülmektedir. 2025-2049 yılları sıcaklık ortalamasının 13.04°C ve yağış ortalamasının yine

1.48 mm olduğu görülmektedir. 2050-2074 döneminde ise sıcaklık ortalamasının 14.61°C, yağış ortalamasının 1.36 mm olduğu görülmektedir. 2071-2095 yılları arasında ise sıcaklık ortalamasının 13.88°C, yağış ortalamasının ise 1.37 mm olduğu görülmektedir.



Şekil 16. GFDL-ESM2M küresel iklim modelinin 1800'lü yıllardan 2100 yılına kadar Türkiye için RCP4.5 senaryosu sıcaklık ve yağış trendi

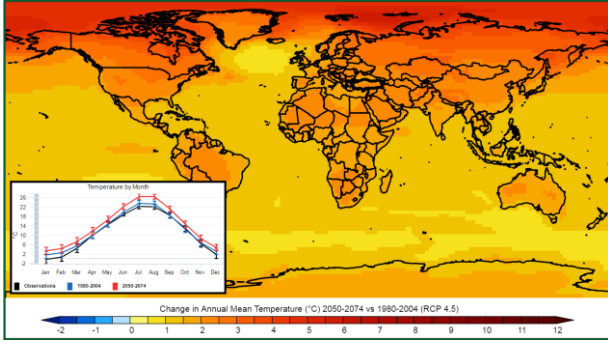
Şekil 17'de GFDL-ESM2M küresel iklim modeli sıcaklık öngörüsünün 2025-2049 yılları ortalamasının 1980-2004 yılları ortalamasından fark haritası ve Türkiye için 1980-2004, 2025-2049 dönemi sıcaklık öngörülerinin ve gözleminin aylık değişim grafiği görülmektedir. Haritaya göre, Orta Doğu bölgesi dahil Doğu Akdeniz havzası için sıcaklık değişiminin 1-1.5°C arası olduğu görülmektedir.



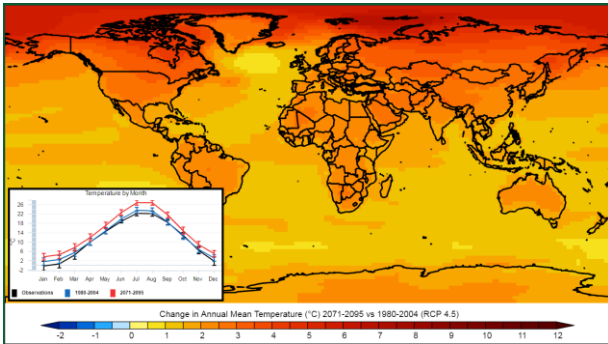
Şekil 17. GFDL-ESM2M küresel iklim modeli sıcaklık öngörüsünün 2025-2049 yılları ortalamasının 1980-2004 yılları ortalamasından fark haritası ve Türkiye için 1980-2004 dönemi gözlem, 2025-2049 dönemi sıcaklık öngörülerinin aylık değişim grafiği

Şekil 18'de GFDL-ESM2M küresel iklim modeli sıcaklık öngörüsünün 2050-2074 yılları ortalamasının 1980-

2004 yılları ortalamasından fark haritası ve Türkiye için 1980-2004, 2050-2074 dönemi sıcaklık öngörülerinin ve gözleminin aylık değişim grafiği görülmektedir. Haritaya göre, önceki periyotta artış gösteren bölgelerin genişlediği ve kıtaların çoğu üzerine yayılarak önemli artışlar gösterdiği göze çarpmaktadır. Bu artışların Doğu Akdeniz havzasında 2-2.5°C arası olduğu görülmektedir. Şekil 19'da ise aynı şekil ve grafiğin 2071-2095 yılları arası farkından olan haritası ve grafiği görülmektedir. Haritaya göre, sıcaklık artışının bu dönem havza için 3°C'lere kadar artış göstereceği görülmektedir.

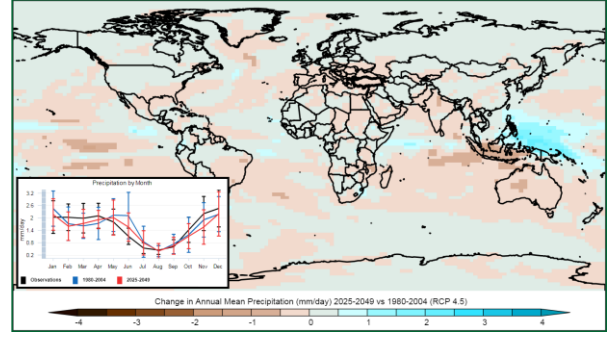


Şekil 18. GFDL-ESM2M küresel iklim modeli sıcaklık öngörüsünün 2050-2074 yılları ortalamasının 1980-2004 yılları ortalamasından fark haritası ve Türkiye için 1980-2004 dönemi gözlem, 2050-2074 dönemi sıcaklık öngörülerinin aylık değişim grafiği.



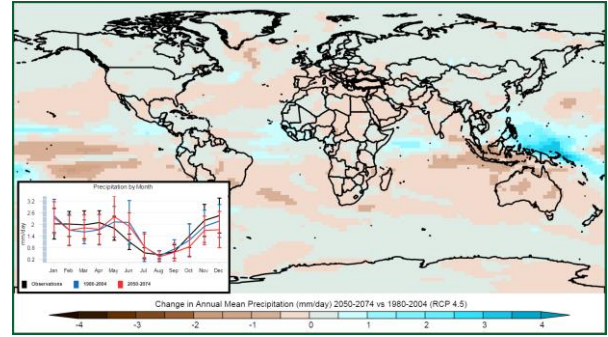
Şekil 19. GFDL-ESM2M küresel iklim modeli sıcaklık öngörüsünün 2071-2095 yılları ortalamasının 1980-2004 yılları ortalamasından fark haritası ve Türkiye için 1980-2004 dönemi gözlem, 2071-2095 dönemi sıcaklık öngörülerinin aylık değişim grafiği.

Şekil 20'de GFDL-ESM2M küresel iklim modeli yağış öngörüsünün 2025-2049 yılları günlük ortalamasının 1980-2004 yılları ortalamasından fark haritası ve Türkiye için 1980-2004, 2025-2049 dönemi yağış öngörülerinin ve gözleminin aylık değişim grafiği görülmektedir. Haritaya göre, Doğu Akdeniz havzasının belirli bölgelerinde yağışlarda artışlar görülürken, belirli bölümlerinde ise azalmalar göze çarpmaktadır. Avrupa geneli ve Türkiye'de 0-0.5 mm arası azalma, İran ve Irak'da ise 0-0.5 mm arası artışlar göze çarpmaktadır.

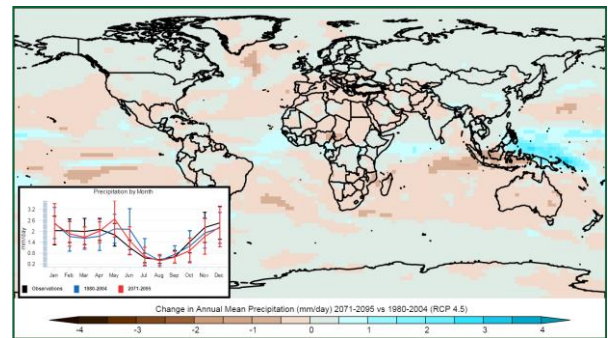


Şekil 20. GFDL-ESM2M küresel iklim modeli yağış öngörüsünün 2025-2049 yılları günlük ortalamasının 1980-2004 yılları ortalamasından fark haritası ve Türkiye için 1980-2004 dönemi gözlem, 2025-2049 dönemi yağış öngörülerinin aylık değişim grafiği

Şekil 21'de GFDL-ESM2M küresel iklim modeli yağış öngörüsünün 2050-2074 yılları günlük ortalamasının 1980-2004 yılları ortalamasından fark haritası ve Türkiye için 1980-2004, 2050-2074 dönemi yağış öngörülerinin ve gözleminin aylık değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 21. GFDL-ESM2M küresel iklim modeli yağış öngörüsünün 2050-2074 yılları günlük ortalamasının 1980-2004 yılları ortalamasından fark haritası ve Türkiye için 1980-2004 dönemi gözlem, 2050-2074 dönemi yağış öngörülerinin aylık değişim grafiği



Şekil 22. GFDL-ESM2M küresel iklim modeli yağış öngörüsünün 2071-2095 yılları günlük ortalamasının 1980-2004 yılları ortalamasından fark haritası ve Türkiye için 1980-2004 dönemi gözlem, 2071-2095 dönemi yağış öngörülerinin aylık değişim grafiği. Haritaya göre, Avrupa geneli ve Türkiye'de ise yağış azalmasının şiddetinde bir değişme olmadığı, Orta

Doğu'da ise artış gösteren bazı bölgelerin (özellikle Suudi Arabistan, Irak ve İran) azalmaya döndüğü görülmektedir. 2071-2095 dönemine göre olan değişimi gösteren Şekil 22'ye göre ise, azalma gösteren bazı bölgelerdeki (Karadeniz, Türkiye, Irak ve Suudi Arabistan) yağış şiddetinin arttığı görülmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma

Doğu Akdeniz havzası, iklim değişikliği açısından her zaman hassas bölge olarak görülmektedir. Bölgede sıcaklık artışlarının görünür derecede olması ve yağışlardaki düzensizlikler bölgeyi iklim değişikliğinin etkileri açısından önemli kılmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle geçmiş dönemin sıcaklık, yağış ve aerosol değişimi incelenmiştir. Sıcaklık verisi olarak, "climate reanalyser" platformu, aerosol verisi olarak ise NASA/Aqua uydusu gözlemleri kullanılmıştır. Sonrasında GFDL-ESM2M küresel modelinin sıcaklık ve yağış projeksiyonları "Global Climate Change Viewer" yazılımı kullanılarak incelenmiştir.

Gözlemlenen değişimlere göre, havzada en soğuk bölgenin Türkiye'nin kuzeydoğusu ve Gürcistan olduğu görülmektedir. En sıcak bölgelerin havzanın güney doğusunun olduğu görülmektedir. En fazla yağışlı bölgenin ise Türkiye'nin kuzeydoğusu ve Gürcistan civarları görülmektedir. En az yağışlı bölgelerin havzanın güney batısı olduğu görülmektedir. Havzada sıcaklığın 1980 yıllarında 16,2°C iken günümüze doğru 17,7°C'ye kadar ulaştığı görülmüştür. Toplam yağış verilerine göre ise, yıl boyunca dalgalanmalar görülmesine karşın hem havzada hem de Türkiye'de bir azalma trendinin olduğu görülmüştür.

Gözlemlenen AOD ortalamasına göre ise, yüksek AOD değerlerinin Suriye'nin doğusu, Irak'ın çoğu bölgesi, Suudi Arabistan ve Basra Körfezi'nin doğusunda yoğunlaştığı görülmüştür. Bunun yanında, havzanın AOD trendinin 2008 yılına kadar artış gösterdiği, bu tarihten sonra ise azalışa geçtiği görülmüştür. AOD gözlem verileri son yıllara doğru Suudi Arabistan üzerinde artışlar gösterirken; Irak, İran'ın batısı, Libya ve Akdeniz üzerinde azalmalar göstermiştir.

GFDL-ESM2M küresel iklim modeli sıcaklık öngörüsünün 2025-2049 yılları ortalamasına göre, Doğu Akdeniz havzası için sıcaklık değişiminin 1-1.5°C arası artış yönünde olduğu görülmüştür. 2050-2074 yılları ortalamasına göre, önceki periyotta artış gösteren bölgelerin genişlediği ve kıtaların çoğu üzerine yayılarak önemli artışlar gösterdiği göze çarpmaktadır. Bu artışların havza genelinde 2-2.5°C arası olduğu görülmüştür. 2071-2095 yılları ortalamasına göre ise, sıcaklık artışının bu dönem daha da artacağı, bu artışın havza için 3°C'lere kadar artış göstereceği görülmüştür. Sonuçlar, gelecek

yüzyılda Doğu Akdeniz havzasında sıcaklık artışlarının artarak devam edeceğini göstermektedir.

Modelin yağış öngörülerinin 2025-2049 yılları günlük ortalaması ise, Avrupa geneli ve Türkiye'de 0-0.5 mm civarı azalma, İran ve Irak'da ise 0-0.5 mm civarı artışlar olacağını göstermiştir. 2050-2074 yılları günlük yağış ortalamasına göre ise, Avrupa geneli ve Türkiye'de ise yağış azalmasının şiddetinde bir değişme olmadığı, Orta Doğu'da ise artış gösteren bazı bölgelerin azalmaya döndüğü görülmektedir. İlerleyen yıllarda ise, azalma gösteren bazı bölgelerdeki (özellikle Orta Doğu) yağış şiddetinin arttığı görülmektedir. Sonuçlar, gözlemlenen değerlerde olduğu gibi, gelecek yüzyılda da Doğu Akdeniz havzası yağış rejiminde bir düzensizliği işaret etmektedir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Alder, J.R., and Hostetler, S.W. 2013. CMIP5 Global Climate Change Viewer. US Geological Survey.
- Alder, J.R. (Originator), Hostetler, S.W. (Originator), Great Northern Landscape Conservation Cooperative (administrator), 2017-06-22 (creation), 2017-06-22 (lastUpdate), CMIP5 Global Climate Change Viewer (GCCV).
- Akçakaya, A., Atay, H. ve Demir, Ö., 2013. İklim Değişikliği Senaryolarında Yeni Dönem: Paralel Yaklaşım Ve Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPS), 6th Atmospheric Science Symposium, 3 - 5 Haziran 2013, İstanbul.
- Akçakaya, A., Sümer, U.M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Gürkan, H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy S., Bölük, E., Arabacı, H., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S., Çukurçayır, F. 2015. Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği-TR2015-CC. Meteoroloji Genel Müdürlüğü yayını, 149 s., Ankara.
- Balsamo, G., Albergel, C., Beljaars, A., Boussetta, S., Brun, E., Cloke, E., Dee, D., Dutra, E., Sabater, J. M., Pappenberger, F., Rosnay, P., Stockdale, T., Vitart, F., 2015. ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set, Hydrology and Earth System Sciences, 19, 389-407.
- Climate reanalyser, <http://cci-reanalyser.org/> (Erişim Tarihi: 01.10.2018).

- Dee, D.P., Uppala, S. M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Holm, E.V., Isaksen, I., Kallberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.J., Park, B. K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thepaut, J. N., Vitart, F., 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553–597.
- Dunne, J. P., John, J. G., Shevliakova, E., Stouffer, R. J., Krasting, J. P., Malyshev, S. L., et al. 2013. GFDL's ESM2 global coupled climate-carbon Earth system models. Part II: Carbon system formulation and baseline simulation characteristics. *Journal of Climate*, 26, 2247–2267.
- Evans J.P., 2009. 21st century climate change in the Middle East. *Climatic Change*, 92, 417–432.
- GFDL, Earth System Models, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, <https://www.gfdl.noaa.gov/earth-system-model/> (Erişim Tarihi: 30.10.2018).
- Gümüş, V. ve Yenigün, K. (2006, 11-13 Ekim). Aşağı Fırat Havzası Akımlarının Trend Analizi İle Değerlendirilmesi, 7. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresinde sunuldu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Hansen, J., Sato M., Ruedy R., Lacis A. and Oinas V., 2000. Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(18), 9875-9880.
- IPCC, International Panel on Climate Change. (2014). Climate change 2014 synthesis report: Summary for policymakers. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf (Erişim Tarihi: 10.05.2018).
- Kitoh, A., Hosaka, M., Adachi, Y., and Kamiguchi, K., 2005. Future projections of precipitation characteristics in East Asia simulated by the MRI CGCM2, *Advances in Atmospheric Sciences*, 22(4), 467–478.
- Levy R.C., Remer L.A., Klediman R.G., Mattoo S., Ichoku J., Kahn R., and Eck T.F., 2010. Global evaluation of the Collection 5 MODIS dark-target aerosol products over land, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 10399-10420.
- Oğuz, K., Pekin, M.A., Gürkan, H., Oğuz, E., Coşkun, M., 2017. Doğu Akdeniz havzasında kuraklığın era interim verileri ile belirlenmesi, *Anadolu Tarım Bilim. Dergisi/Anadolu J Agr Sci*, 32, 229-236.
- Ozturk, T., Ceber, Z.P., Türkeş, M., Kurnaz, M.L. 2015. Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled global climate model outputs. *International Journal of Climatology*, 35, 4276–4292.
- Samset, B. H. 2016. *Aerosols and Climate*, Oxford Research Encyclopedia of Climate Science, Oxford University Press USA.
- Stocker, T.F., Qin D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY, 27 pp.
- United States Environmental Protection Agency. 2017. Climate change: Basic information. <https://www.epa.gov/climatechange/climate-change-basic-information> (Erişim Tarihi: 05.01.2018).
- Wratt and Mullan, Available: <https://www.niwa.co.nz/our-science/climate/information-and-resources/clivar/models>. (Erişim Tarihi: 21.06.2018).
- Yukimoto, S., A. Noda, T. Uchiyama, S. Kusunoki and A. Kitoh, 2006. Climate changes of the twentieth through twenty-first centuries simulated by the MRI-CGCM2.3, *Papers in Meteorology and Geophysics*, 56, 9-24.