

# TÜRKİYE'DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE KÜRESEL SALINIMLARIN OLASI MAKSİMUM YAĞIŞ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ömer Oğuzhan Arabacı<sup>1</sup>, Sevinç Asilhan Sırdaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erzurum 12. Bölge Müdürlüğü, Erzurum Meydan Meteoroloji Müdürlüğü, Erzurum

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İklim Bilimi ve Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Maslak 34469, İstanbul, Türkiye

oarabaci@mgm.gov.tr, sirdas@itu.edu.tr

## Özet

Doğal afetler zamanımızın göz ardı edilemez problemlerinin başında gelmektedir. Bu doğal afetlerin insan hayatını en çok etkileyenlerinin başında kuraklık ve sel gelmektedir. Bu makalede Olası Maksimum Yağış (PMP) yöntemi için Türkiye'de bulunan her bir il için birer istasyon seçilmiş ve 81 il için PMP hesaplaması yapılmıştır. 1975-2022 yılları arasında günlük toplam maksimum yağış değerleri ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. 48 yıllık verilere uygulanan formüller sonucu her il için birer tane PMP değeri elde edilmiştir. Olası Maksimum Yağış (PMP) yönetimi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, özellikle Akdeniz kıyı şehirlerinde PMP değerleri diğer illere göre daha yüksek çıkmıştır. Mezo ölçekteki analizler neticesinde yağışların kümülönimbus bulutları ile konvektif hava hareketlerinin maksimum olduğu yerlerin PMP değerlerinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun neticesinde günlük toplam yağışın maksimum olduğu şehirler bu yağışları konvektif hava hareketleri sayesinde almaktadır. İç kesimlerde ise çok büyük PMP değerleri olmamasına rağmen gerekli tedbirler alınmazsa buralarda da sel ve taşkın riskleri vardır ama risk analizi yapıldığında sel ve taşkın için sadece günlük toplam yağış baz alındığında kıyı şeritleri genel olarak çok daha risklidir. Günlük toplam maksimum yağış değerlerinin küresel okyanus salınımları ile korelasyonu incelendiğinde 5-20 yıllık değişen periyotlarda korelasyonlar mevcuttur ama genel olarak bir korelasyondan söz edilemez. Bu yüzden Olası Maksimum Yağış (PMP) verisinin indekslerle karşılaştırmak sağlıklı bir sonuç vermeyebilir ama kısa süreli analizler için etkileşimler mevcuttur. GFDL-ESM4 modelinin SSP1-1.9 ve SSP5-8.5 iklim değişikliği senaryolarına göre, Türkiye'de 2050 yılına kadar sıcaklık değerlerinin artması ve yağış değerlerinin azalması beklenmektedir. PMP analizleri sonucu, PMP değerlerinin en yüksek olduğu bölgeler yıl içerisinde en çok konvektif hava olaylarına maruz kalan Akdeniz bölgesinde olduğu için buradaki sıcaklık değişimlerinin konvektif hareketlerin tetiklenmesine yol açarak PMP değerlerinin artmasına neden olması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Türkiye Olası Maksimum Yağış Analizi, Küresel Salınımlar, İklim Değişikliği

## EFFECTS OF CLIMATE CHANGE AND GLOBAL OSCILLATIONS ON PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION IN TURKEY

### Abstract

Natural disasters are one of the most unignorable problems of today. Among these natural disasters, drought and flood are among the ones that affect human life the most. In this article, to use the Probable Maximum Precipitation (PMP) method, one station from each province in Turkey was selected and PMP calculation was made for 81 provinces. Calculations were made with daily total maximum precipitation values between 1975-2022. The results obtained as a result of the Probable Maximum Precipitation (PMP) method show us that PMP values are higher in provinces on the Mediterranean coast than in other provinces. As a consequence of mesoscale analysis, it was determined that PMP values were high in places where cumulonimbus clouds and convective air movements were frequently observed. When the correlation of daily total maximum precipitation values with global ocean oscillations is reviewed, there are some minor correlations in periods ranging from 5 to 20 years, but in general, a dependable correlation cannot be mentioned. Therefore, comparing Maximum Possible Precipitation data with indices may not give a trustworthy result, but it has relatively meaningful interactions with analyses for short periods. As reported by the SSP1-1.9 and SSP5-8.5 climate change scenarios of the GFDL-ESM4 model, an increase in temperature values and a decrease in precipitation values are expected in Turkey until 2050. The region with the highest PMP values is the Mediterranean region, and since the Mediterranean is the region most exposed to convective weather events throughout the year, temperature changes here may trigger convective movements and cause an increase in PMP values.

**Keywords:** Turkey Probable Maximum Precipitation Analysis, Global Oscillations, Climate Change

**Sorumlu Yazar:** Ömer Oğuzhan Arabacı

**Geliş Tarihi:** 25 Nisan 2024

**Kabul Tarihi:** 20 Kasım 2024

**Yayın Tarihi:** 31 Aralık 2024

**Atıf Şekli:** Arabacı, Ö.O., Sırdaş, S.A. (2024). Türkiye'de İklim Değişikliği Ve Küresel Salınımların Olası Maksimum Yağış Üzerindeki Etkileri, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 2(1), 78-94.

**Makale Tipi:** Araştırma Makalesi

**e-ISSN:** 3023-8560

## GİRİŞ

Olası veya olması mümkün olan maksimum yağış (PMP), uzun vadeli iklim eğilimleri dikkate alınmadan, yılın belirli bir zamanında belirli bir yerde, tasarım havzası veya belirli bir fırtına alanı için meteorolojik olarak mümkün olan belirli bir süre boyunca meteorolojik olarak mümkün olan en büyük yağış derinliğidir (WMO, 2009). Olası Maksimum Yağış (PMP)'in hesaplanması ve tahmini için literatürde birçok farklı yöntem mevcuttur. Temel olarak bu yöntemlerin iki ayrı kategoriye ayrıldığı söylenebilir. Bunlar, fiziksel yöntemler ve istatistiksel yöntemlerdir. Bunların arasında PMP hesaplaması ve analizi için Hershfield yöntemi, etkili bir istatistiksel araç olarak kabul edilmektedir (Sarkar ve Maity, 2020). Yeterince uzun yağış verilerin olması durumunda başka verilere ihtiyaç duyulmadan hesaplamalar bu yöntem ile yapılabilmektedir. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından çeşitli kılavuzlarda ve teknik yayınlarda PMP'yi tahmin etme yöntemlerinden biri olarak Hershfield yöntemini önerilmiştir (WMO, 2009).

Hershfield'in Olası Maksimum Yağış tahmini için yapılan çalışmalar incelendiğinde elde edilen sonuçların tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Dünyanın farklı ülkelerinde yapılan bu çalışmalara Kanada'da (Bruce ve Clark, 1980), Amerika Birleşik Devletleri'nde (Meyers, 1967), İzlanda'da (Eliasson, 1997) ve Avustralya'da (Wiesner, 1970) örnek gösterilebilir. Bu çalışmalar incelendiğinde PMP'nin birçok farklı kıtada çalışıldığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden Hershfield'in yöntemi bu çalışmada seçilmiştir.

PMP değerlerinin elde edilmesi birçok gelecek çalışmanın da temelini oluşturabileceği için önem taşımaktadır. Hidrologlar maksimum güvenilirlik ve emniyet için hidrolojik yapıların tasarımında kullanılan çeşitli kavramsal taşkın olaylarından biri olan Olası Maksimum Taşkın (PMF) değerlerini tahmin etmek için PMP büyüklüğünü ve bunun mekansal ve zamansal dağılımlarını kullanır (Casas vd., 2008). Bu yüzden Türkiye'nin taşkın ve sel değerlendirmelerini yapabilmek için PMP yöntemini kullanmak gerekebilmektedir. Bu çalışmada PMF hesaplarına girilmeden PMP için en doğru hesaplamayı yapıp farklı istatistiksel yöntemlerle ve farklı meteorolojik olaylarla ilişkileri incelenmesine karar verilmiştir.

PMP yaklaşımı gerçekte hiçbir şekilde sıfır risk anlamına gelmez (Koutsoyiannis, 1999). Farklı istatistiksel yaklaşımlarla ve farklı meteorolojik olaylarla ilişkilendirilerek bu riski en aza indirmek hedeflenmiştir. Bu yüzden Türkiye'yi dolaylı etkileme ihtimali bile az olan salınımlarla bile korelasyonları incelenerek sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## YÖNTEM

Bu çalışma için günlük toplam yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Veriler 1975 Ocak ayından başlayıp 2022 Aralık ayına kadardır ve 81 ilin her birisi için ayrı bir istasyon seçilmiştir. Veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından istasyonda yapılan manuel ölçümlerden elde edilmiştir çünkü Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) verileri geçmiş yıllara kadar bulunmamaktadır.

Her istasyona ayrı olarak Hershfield (1961a ve 1961b) ve Chow (1951) tarafından önerilen genel frekans denkleminde dayanarak Olası Maksimum Yağış (PMP) tahmini için temel denklem aşağıdaki gibidir.

$$K_m = (X_m - \bar{X}_{n-1}) / (\sigma_{n-1}) \quad (1)$$

$$PMP = \bar{X}_n + K_m * \sigma_n \quad (2)$$

Kullanılan 1 ve 2 denklemlerinde  $X_m$  veri kümesinin maksimum değerini,  $\bar{X}_{n-1}$  maksimum değer hariç veri setinin ortalamasını,  $\sigma_{n-1}$  maksimum değer hariç veri setinin standart sapmasını ifade eder. Bu parametreler kullanılarak  $K_m$  katsayısı elde edilir. Bu katsayı ile birlikte,  $\bar{X}_n$  tüm veri setinin ortalamasını,  $\sigma_n$  tüm veri setinin standart sapmasını ifade eder ve bu değişkenlerle PMP katsayısı bulunur. PMP katsayısı ( $\text{kg/m}^2$ ) bölgeye düşebilecek olası maksimum yağışın ifadesidir.

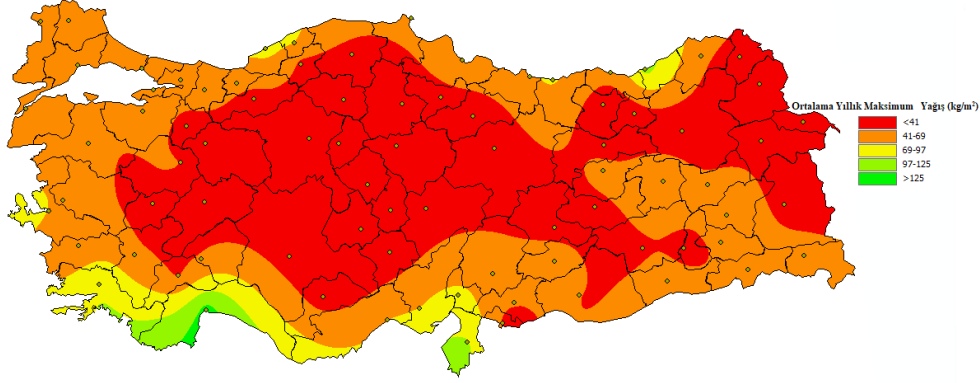
İklim değişikliği verilerinin analizi için Python programlama dili kullanılmıştır. Copernicus İklim Değişikliği Hizmeti (Web 1) sitesinden alınan veriler Python ile çalıştırılıp 2023'ten 2100'e kadar İstanbul için yağış

verilerinin ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen verilerinin görselleştirilmesi için ArcGIS programının ArcMap uzantısı çalıştırılmıştır. Yapılan tüm haritalarda noktasal veriyi harita üzerinde tamamlamak için ArcMap'te tekrarlamalı sonlu farklar interpolasyonu kullanılmıştır. Korelasyon analizleri için Pearson Korelasyon Analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu makalenin amacı, PMP yöntemi kullanılarak Türkiye'nin her ili için sonuç elde etmek ve bu sonuçları bir harita üzerinde gösterip güncel bir Türkiye PMP haritası oluşturmaktır. Ayrıca çıktılar küresel okyanus salınımları ile karşılaştırıp uyumlu olup olmadığını incelemek ve iklim değişikliği senaryolarına göre bu çıktıları yorumlamaktır. 81 il için seçilen istasyonlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan şehirler ve istasyon numaraları

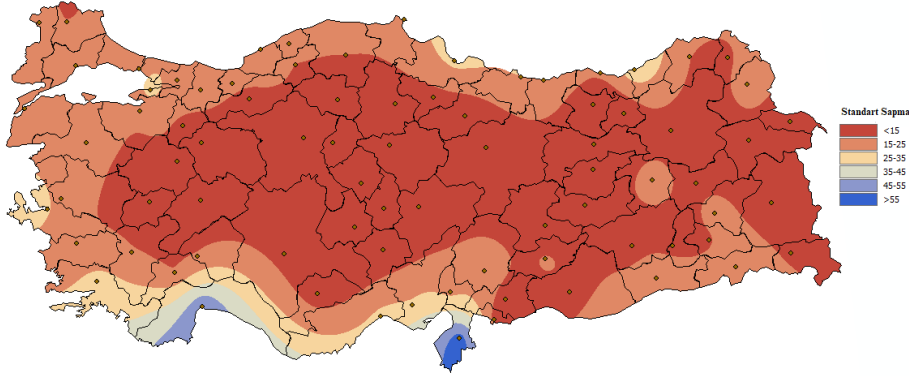
Şehir	İstasyon No	Şehir	İstasyon No	Şehir	İstasyon No	Şehir	İstasyon No
Adana	17351	Çanakkale	17112	Karabük	17078	Osmaniye	17355
Adıyaman	17265	Çankırı	17080	Karaman	17246	Rize	17040
Afyonkarahisar	17190	Çorum	17084	Kars	17097	Sakarya	17069
Aksaray	17192	Denizli	17237	Kastamonu	17074	Samsun	17030
Amasya	17085	Diyarbakır	17280	Kayseri	17196	Siirt	17210
Ankara	17130	Düzce	17072	Kilis	17262	Sinop	17026
Antalya	17300	Edirne	17050	Kocaeli	17066	Sivas	17090
Ardahan	17046	Elazığ	17201	Konya	17244	Şanlıurfa	17270
Artvin	17045	Erzincan	17094	Kütahya	17155	Şırnak	17287
Aydın	17234	Erzurum	17096	Kırklareli	17052	Tekirdağ	17056
Ağrı	17099	Eskişehir	17226	Kırıkkale	17135	Tokat	17086
Bahkesir	17152	Gaziantep	17261	Kırşehir	17160	Trabzon	17037
Bartın	17020	Giresun	17034	Malatya	17199	Tunceli	17165
Batman	17282	Gümüşhane	17088	Manisa	17186	Uşak	17188
Bayburt	17089	Hakkari	17285	Mardin	17275	Van	17172
Bilecik	17120	Hatay	17372	Mersin	17340	Yalova	17119
Bingöl	17203	Isparta	17240	Muğla	17292	Yozgat	17140
Bitlis	17207	Iğdır	17100	Muş	17204	Zonguldak	17022
Bolu	17070	İstanbul	17064	Nevşehir	17193		
Burdur	17238	İzmir	17220	Niğde	17250		
Bursa	17116	Kahramanmaraş	17255	Ordu	17033		

Kullanılan 1 ve 2 denklemleri için elde edilen katsayı ve istatistiksel veriler harita haline getirilmiştir. Bu haritalar Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

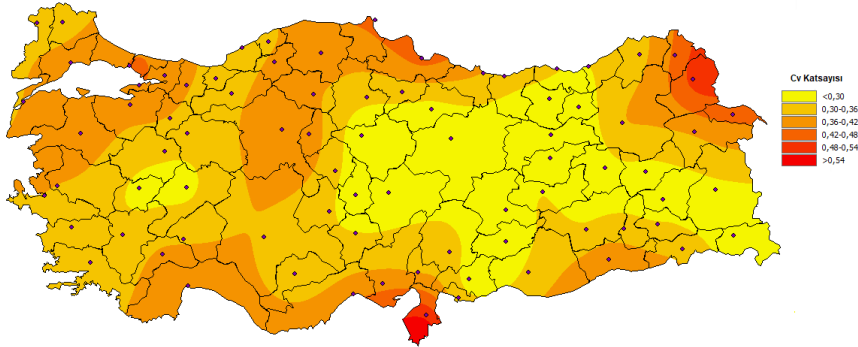


Şekil 1. 1975-2022 günlük maksimum yağışların yıllık ortalaması (kg/m<sup>2</sup>)

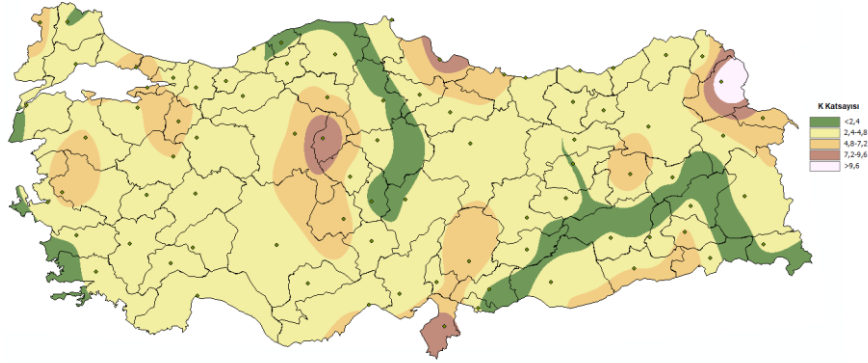
Şekil 1'de 1975-2022 arası Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan veriler ile 81 şehir için 48 yıllık ortalamalar hesaplanmıştır. Akdeniz Bölgesi'nde ortalamalar diğer şehirlere göre oldukça fazladır. Bu bölgede elde edilen yüksek ortalamalar PMP'nin de yüksek çıktığı bölgelere etki etmiştir.



Şekil 2. 1975-2022 günlük maksimum yağışların standart sapması



Şekil 3. 1975-2022 günlük maksimum yağışların Cv katsayısı

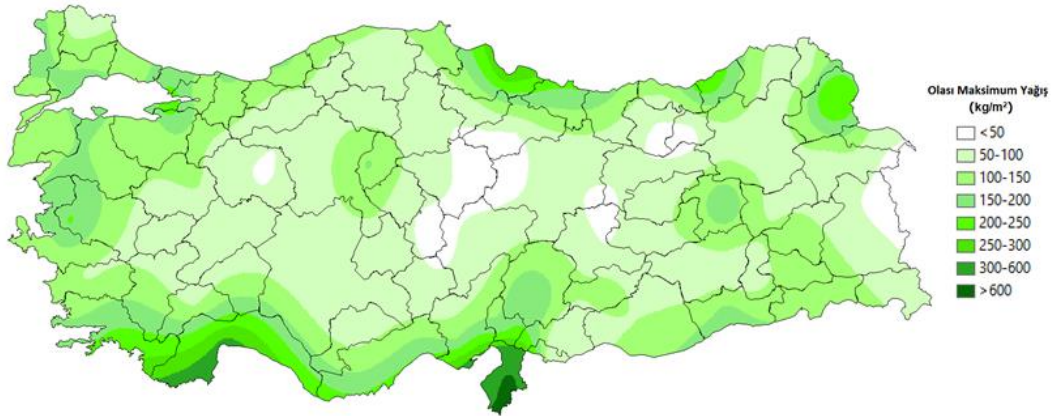


Şekil 4. 1975-2022 günlük maksimum yağışların K katsayısı

Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te, 1975-2022 arası 48 yıllık veri ile hesaplanan standart sapmalar, Cv ve K katsayıları görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde standart sapma haritası genel olarak ortalama yağış haritası ile benzerlik göstermektedir. Şekil 3 ise aynı veri setinin Cv katsayısı yani standart sapmanın ortalamaya bölünmesi ile elde edilen katsayının haritasıdır. Şekil 3'te verilen Cv katsayıları Şekil 1 ve 2'ye benzerlik gösterse de özellikle İç Anadolu'da farklılıklar mevcuttur. Şekil 4'ten ise, K katsayılarının en yüksek olduğu yerin PMP haritasından farklı olarak Akdeniz'de değil Kars'ta olduğu görülmektedir. Kırıkkale ve Samsun'da da yüksek K değerleri mevcuttur.

## BULGU VE DEĞERLENDİRMELER

Yapılan çalışma sonucu 81 il için 48 yıllık veriler kullanılarak, her ilin Olası Maksimum Yağış'ı (PMP) bulunmuştur. PMP verileri için analiz yapıldığında Akdeniz ve Karadeniz kıyıları gibi belirli bölgelerde yüksek değerler olduğu gözükmemektedir. Şekil 5'e bakıldığında Türkiye haritası üzerinde şehirlerin PMP dağılımı haritası görülmektedir.



Şekil 5. Türkiye PMP dağılımı

Türkiye üzerindeki dağılımda kıyı bölgeleri ile iç bölgeler arasında oldukça fazla fark vardır. Karadeniz, Ege Denizi, Marmara Denizi ve Akdeniz'e kıyısı olan şehirlerde maksimum yağış değerleri fazlayken özellikle İç Anadolu Bölgesi'nde maksimum yağış değerleri kıyı şehirlerine göre oldukça düşüktür. Bu da yıl içerisindeki maksimum yağışların kıyılarda çok daha fazla olduğunu göstermektedir.

PMP'nin yüksek olduğu yerlerde diğer şehirlere göre daha çok sel ve su baskınına maruz kalacağı söylenemez. PMP değerlerinin yüksek olduğu yerlerde şehirleşme, dere yataklarının kullanımı, toprak geçirgenliği gibi faktörler dikkate alınarak yapılan çalışmalar sonucu sel ve su baskını olayları önlenabilir. Tam tersine PMP



değerlerinin ortalama veya düşük olduğu şehirlerde bu konular dikkate alınmazsa gelecek yıllarda sel ve su baskını sayısı PMP değerlerinin yüksek olduğu şehirlere göre daha fazla olabilir. Bu yüzden PMP hesabının kullanılırken yüksek PMP değerlerine sahip şehirler önem arz ederken, daha düşük PMP değerine sahip şehirlerde göz ardı edilmemelidir. İleride yapılacak çalışmalarda Türkiye'nin kıyı ve iç bölgelerin yağışa etkisi, kara ve deniz etkileşimi, topoğrafik olarak kısa mesafede artan yükseklik değişimleri ve yüksek çözünürlüklü uyduların verilerinin kullanılması daha faydalı sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.

### Küresel Salınımlar

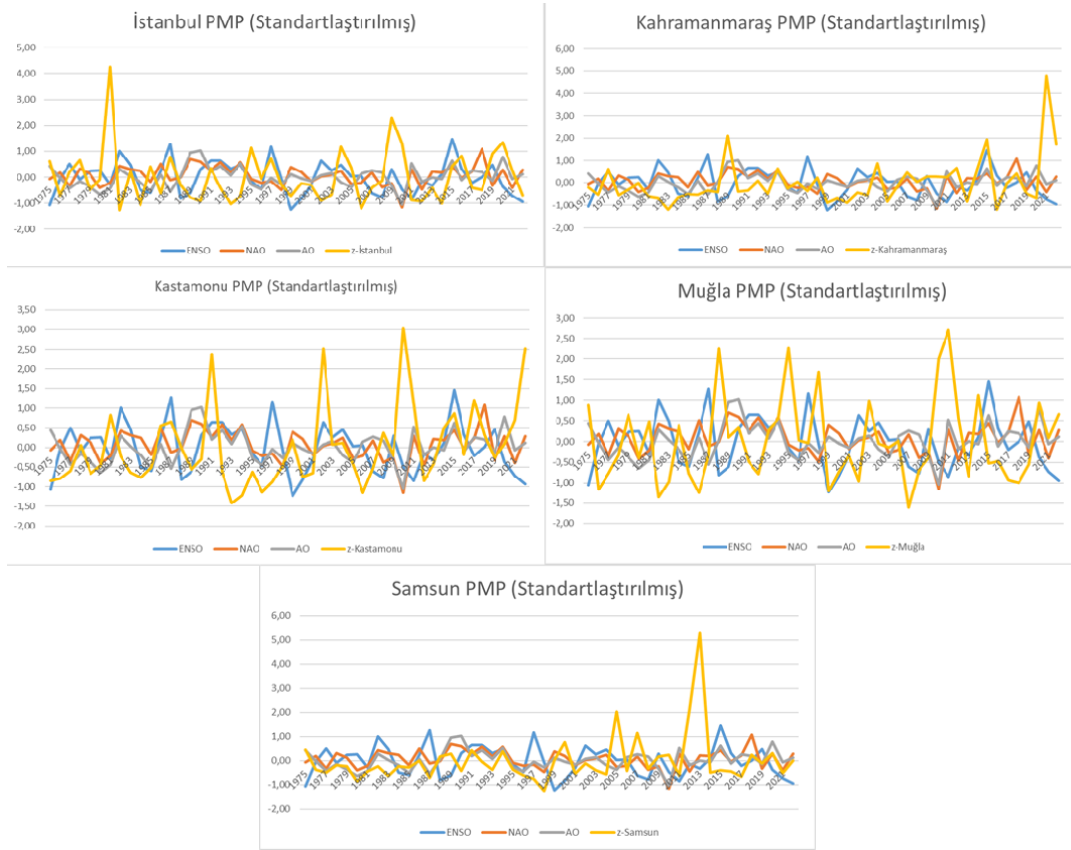
Atmosferik sirkülasyonlar dünya ikliminin önemli belirleyicilerindedir ve atmosferik dolaşımdaki sapmalar iklimsel değişikliklerle kuvvetli bir şekilde ilişkilidir (Nicholls vd., 1996). El Nino Güney Salınımı (ENSO), Arktik Salınım (AO) ve Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) dünyanın birçok bölgesini farklı bir şekilde etkilemektedir. Örnek olarak Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) indeksine göre negatif değerler Akdeniz bölgesindeki yağışları artırır (Cook vd., 2016). Arktik Salınım (AO) indeksine göre ise negatif değerler kutup havasının güneye kaymasına ve Akdeniz havzasının soğuk kış ayları geçirmesine sebep olur (Rigor vd., 2002). El Nino Güney Salınımı'nda (ENSO) etkilediği bölgelerde okyanus suyu sıcaklıklarının artmasına ve dolayısıyla bu bölgelerdeki atmosferin ısınmasına yol açar (US Department of Commerce, 2016). Bu yüzden bu bölgelerde konvektif hava hareketlerinin artması ve konvektif hareket kaynaklı şiddetli yağışların oluşması beklenir.

Olası Maksimum Yağış (PMP) verilerinin hesaplanmasında kullanılan günlük maksimum yağış verileri ile küresel okyanus salınımları arasındaki ilişki incelenmiştir. Bunun için Türkiye'de son yıllarda sel felaketine maruz kalmış 5 il seçilmiştir. İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun örnek kümesi olarak seçilmiş ve bu 5 ilin standartlaştırılmış maksimum günlük toplam yağış değerleri ENSO, AO ve NAO indeksleri ile karşılaştırılmıştır. Tablo 2'de Pearson korelasyon analizi sonuçları mevcuttur. Şekil 6'da ise seçilen 5 şehrin standartlaştırılmış verisinin yıllara göre ENSO, NAO ve AO ile grafikleri verilmiştir.

**Tablo 2.** Kastamonu, Muğla, Kahramanmaraş, İstanbul ve Samsun illerinin standartlaştırılmış yağış verisinin ENSO, NAO ve AO indeksleri ile Pearson korelasyonu değerleri

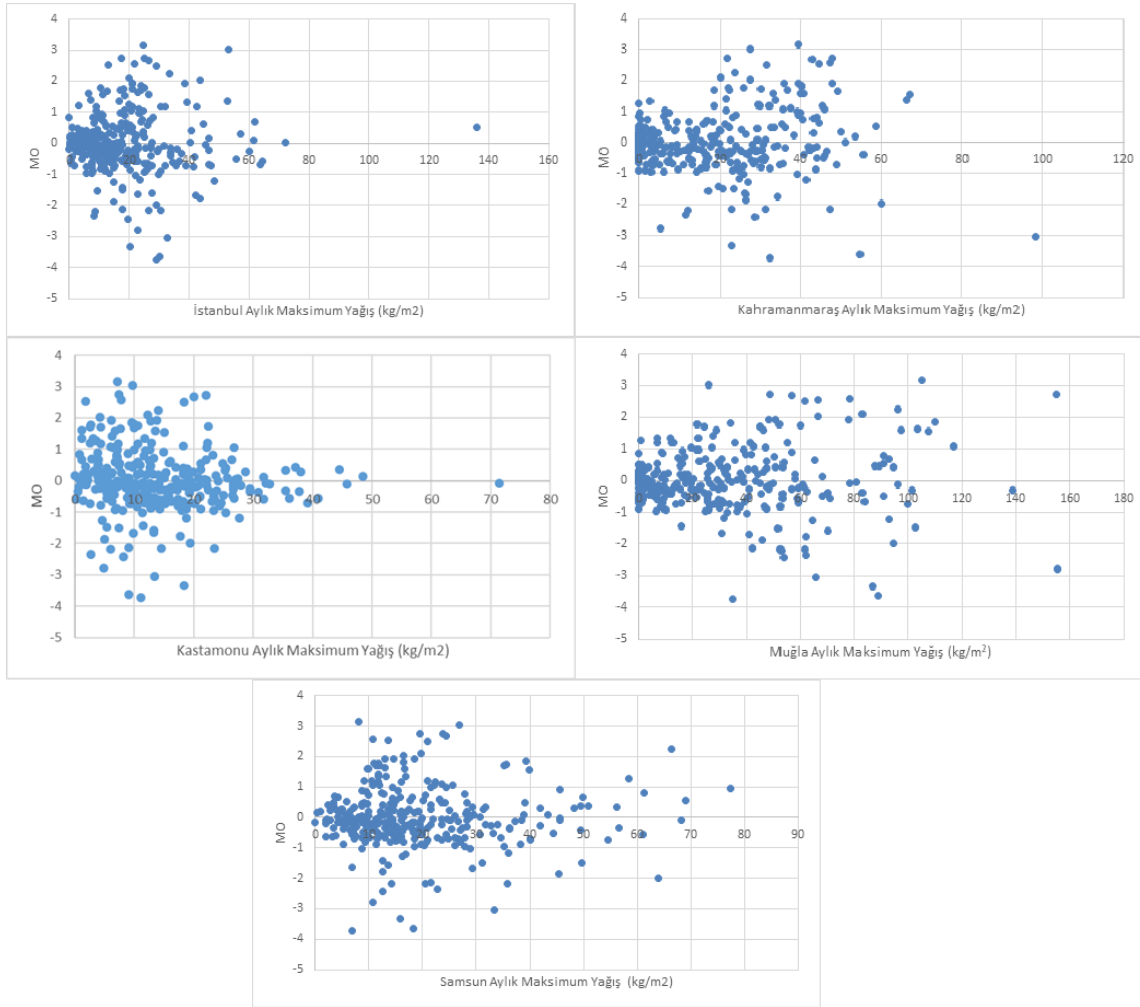
Salınım İndeksleri	Kastamonu	Muğla	Kahramanmaraş	İstanbul	Samsun
ENSO	-0,03	-0,27	-0,11	0,07	-0,20
NAO	-0,09	-0,28	-0,03	-0,37	0,06
AO	-0,07	-0,06	0,15	-0,38	0,06

Seçilen 5 il için ENSO, NAO ve AO indeksleri ile 48 yıllık veri kümesine Pearson Korelasyon Analizi uygulanmıştır (Tablo 2). Anlamlılık katsayısı 0,5 seçilmiştir. 0,5 değerinin üzerinde veya -0,5 değerinin altında bir değer olmadığı için korelasyon tüm veri seti için anlamlı olmadığı sonucu çıkarılmıştır. Burada -0,37 ve -0,38 değerleri anlamlılık katsayısına yakın olduğu için küçük bir ilişkiden söz edilebilir. Genel olarak 0'a yakın değerler alan korelasyon sonuçları, veri kümeleri arasında güçlü bir korelasyon olmadığını göstermektedir. Daha kısa süreli korelasyon analizi yapıldığında, örnek olarak 2011-2019 yılları arası Kahramanmaraş ile AO indeksi arasında sonuç 0,59 olarak bulunmuştur. Bu yüzden bu yıllar arası AO ile Kahramanmaraş yağış verisi arasında güçlü bir korelasyon mevcuttur ama 48 yıllık veri setinde bir uyum söz konusu değildir. AO indeksine göre bu yıllar arası genel olarak negatif olan değerler bu bölgede soğuk kış ayları geçirmesine sebep olur (Kryzhov ve Gorelits, 2015). Soğuk geçen kış aylarında konvektif hareketler kaynaklı yağışlarında daha az olması beklendiği için Kahramanmaraş maksimum yağış verisi incelenmiş ve bu aralıkta yağışların genel olarak ortalamada seyrettiği belirlenmiştir. Bu da Kahramanmaraş'ın yağış verilerinin bu yıllar arasında AO kaynaklı anlık maksimum değerlere ulaşma ihtimalinin azaldığını gösterebilir.



**Şekil 6.** İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin standartlaştırılmış maksimum yağış verileri ile ENSO, NAO, AO karşılaştırması

Şekil 6 incelendiğinde, genel olarak İstanbul verisi ile ENSO arasında bazı yıllarda korelasyon vardır ama genel olarak bir korelasyondan söz edilemez. 1984-1989 yılları arasında ENSO indeksi incelendiğinde genel olarak negatif değerler vardır ve bu değerler okyanus suyu sıcaklıklarının ortalamasının altında olduğunu ifade eder. ENSO'nun Türkiye sahillerini direkt olarak etkilemesi beklenmez ama dolaylı yollardan etkileyebileceği için korelasyon analizi yapılmıştır. Etrafı su ile çevrili olan İstanbul'da deniz suyu sıcaklıklarının azalmasıyla atmosferik konvektif hareketlerin zayıfladığı düşünülürse anlık şiddetli yağışların azalması da beklenir. Aynı yıl aralığında İstanbul maksimum yağış verisi incelendiğinde ortalamasının altında seyreden yağış verileri ENSO indeksi ile uyumludur, ancak durumun daha ayrıntılı analiz edilmesi gerekmektedir. Kastamonu ili için 3 indeks ile aralarında bir korelasyon mevcut değildir. Daha kısa süreli periyotlarda korelasyon analizleri de yapılmıştır ama anlamlı bir sonuç bulunamamıştır ve bu da Kastamonu ilinin maksimum yağışlarının küresel okyanus salınımları ile ilişkili olmadığını göstermektedir. Muğla ilinde ekstrem veri şeklinde birkaç tepe noktası vardır ve bunlar ENSO indeksinde de bir miktar benzerlik gösterse de genel olarak korelasyon mevcut değildir. Samsun ilinin maksimum yağış verileri ile NAO indeksinin özellikle 2002-2006 yılları arasında ters bir ilişkide olduğu tespit edilmiştir. Bu yıllar arası NAO ve Samsun ili maksimum yağış verileri ile korelasyon analizi yapıldığında sonuç  $-0,67$  bulunmuştur. NAO indeksinin negatif olduğu yıllarda Akdeniz havzası ve civarında yağışların artması beklenmektedir. Bu yıllar arası negatif NAO değerleri varken Samsun'da maksimum yağış değerleri yüksektir, pozitif NAO değerleri varken maksimum yağış değerleri düşüktür. Bu yüzden 2002-2006 yılları arasında yağışların NAO kaynaklı olabileceği söylenebilir. Şekil 7'de seçilen 5 şehrin Akdeniz Salınımı ile saçılma diyagramı gösterilmiştir.

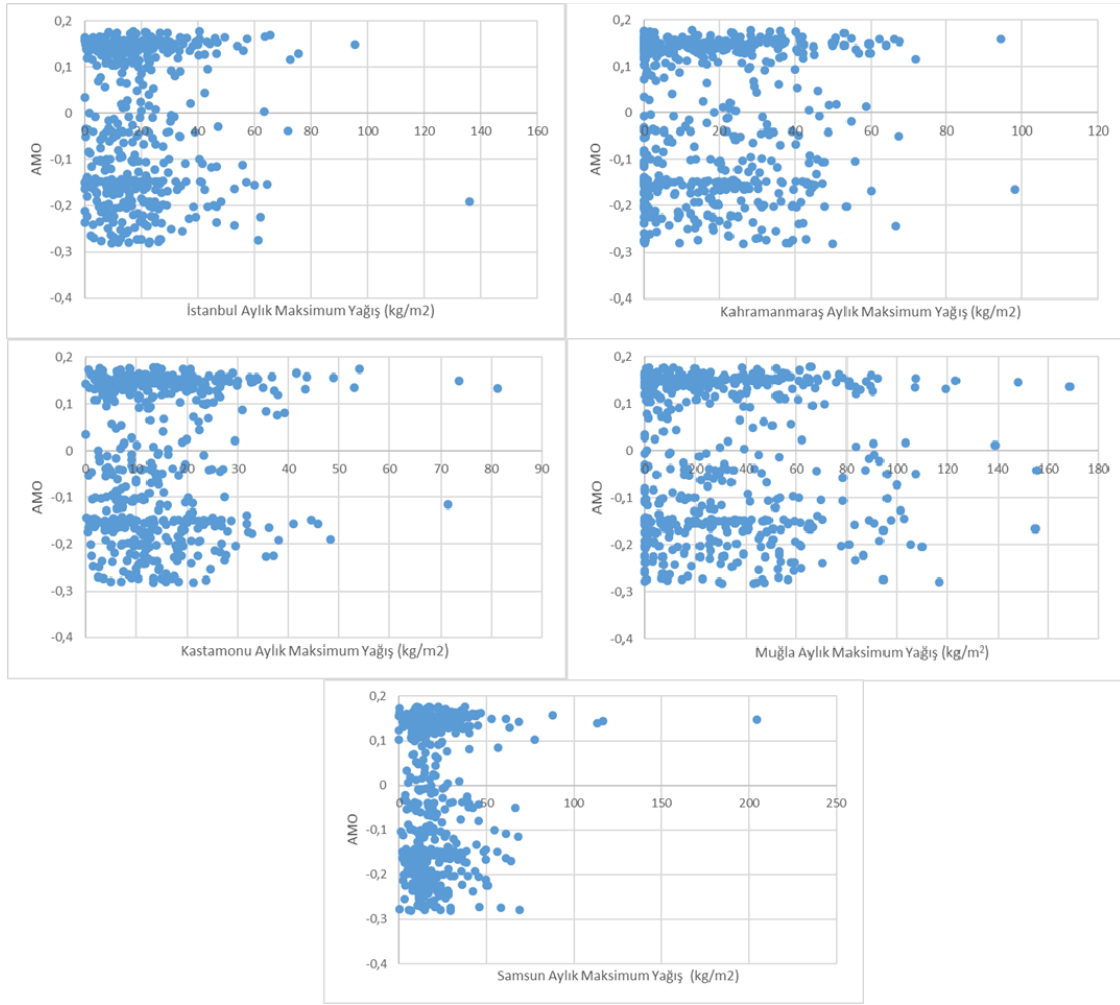


Şekil 7. İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin maksimum yağış verileri ile Akdeniz Salınımı (MO) saçılma diyagramı

Türkiye'yi ve Akdeniz havzasıyla asıl ilişkilendirilebilir salınımlardan birisi Akdeniz Salınımı (MO)'dır. Akdeniz salınımı ilk olarak Cezayir ve Kahire bölgeleri arasındaki yüzey seviyesi basıncı anomalileri olarak tanımlanmıştır (Conte vd., 1989). Daha sonra Palutikof (2003) Cebelitarık ve İsrail bölgeleri arasındaki yüzey seviyesi basıncını hesaplayarak Akdeniz Salınımı (MO)'nu tanımladı. Özellikle Türkiye'de ki deniz kıyısındaki şehirlerin MO indeksi ile karşılaştırılması salınının oluştuğu merkezin Türkiye'ye konumsal olarak daha uzak salınımlara göre daha tutarlı sonuçlar verebilir. Akdeniz Salınımı'nın pozitif fazında siklogenez anormal derecede yoğunken, negatif fazda ise anormal derecede zayıftır (Suşelj ve Bergant, 2006). Bu yüzden MO indeks değerleri pozitifken şiddetli yağışların oluşması beklenirken negatif değerlerde konvektif kaynaklı şiddetli yağışların oluşması beklenmez.

Şekil 7 incelendiğinde genel olarak 5 şehirde MO indeks değerleri ile aylık maksimum yağışlar arasında 0'a yakın korelasyon katsayısı bulunmuştur. Diğer salınım indekslerinde olduğu gibi dönemsel olarak bakıldığında ise birkaç aylık ve yıllık değerlerde kısa süreli korelasyonlar olsa da genel olarak bir korelasyonda söz edilemez. Atlantik 60-80 Yıllık Salınım (Multi-decadal Oscillation; AMO)'ı indeksine göre pozitif aşamalar Kuzey Atlantik'in büyük bölümünde okyanus yüzeyi sıcaklığında artma etkisi yaparken, negatif faz Kuzey Atlantik üzerinde soğuk okyanus yüzeyi sıcaklıkları anlamına gelir (Web 2). Okyanus yüzeyi sıcaklıkları konvektif hava hareketlerini etkilediği için ve Atlantik üzerinden Akdeniz'in de deniz yüzeyi sıcaklıklarını etkileyebileceği için seçilen 5 şehir için AMO değerleri ile korelasyonu incelenmiştir. Şekil 8'de seçilen 5 şehrin AMO indeksi ile saçılma diyagramı gösterilmiştir.





**Şekil 8.** İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin maksimum yağış verileri ile AMO saçılma diyagramı

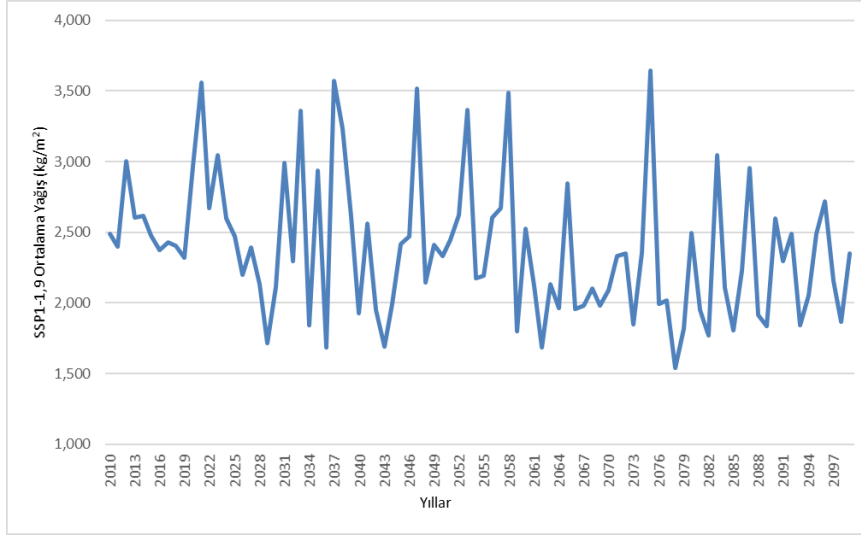
Şekil 8 incelendiğinde seçilen şehirler için diğer tüm salınımlarla ilişkisinde olduğu gibi AMO indeksi değerleri arasında da genel olarak anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır. Korelasyon katsayısı genel olarak 0'a yakındır.

### İklim Değişikliği, Aşılma Olasılığı, Tahmini Dönüş Aralığı ve Sıklık Grafikleri

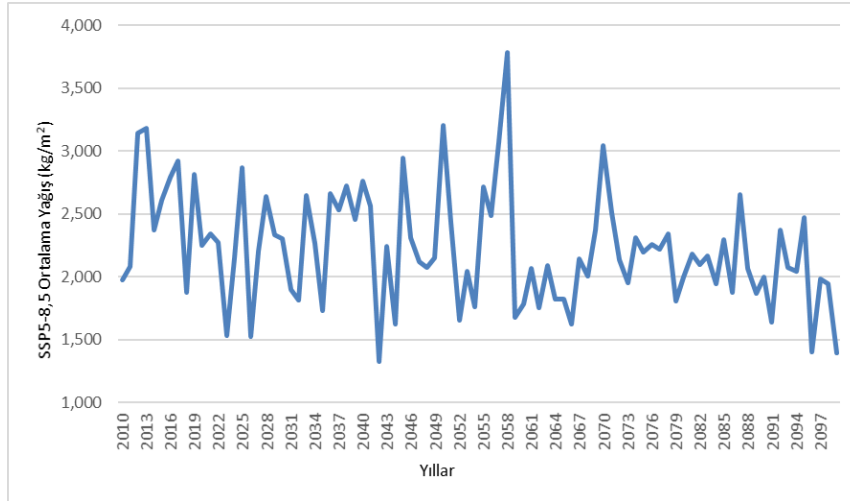
Geçtiğimiz yüzyıl boyunca hem sıcaklıkta hem de yağışta belirgin bir artışla birlikte küresel iklim değişiklikleri gözlemlenmiştir (Alexander vd., 2006). Isınan iklimin önemli bir sonucu ise hem gözlemsel hem de model bazlı çalışmaların da desteklediği üzere aşırı yağışların artmasıdır (Christensen ve Christensen 2004; Sırdaş, Öztopal ve Şen, 2013; Wang vd., 2017; Papalexiou ve Montanari, 2019). Bu yüzden iklim değişikliği ile beraber ısınan bölgelerde meydana gelebilecek aşırı yağışlar şiddetli sel ve taşkın felaketlerine yol açabilir. Bunun için iklim değişikliği senaryoları ile PMP verilerini yorumlamak ileride meydana gelebilecek seller için önlem alınması adına önem arz etmektedir.

İklim değişikliği senaryoları için bilim insanları Paylaşılan Sosyoekonomik Rotalar (Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)) ismi verilen senaryolar geliştirmiştir. Bu senaryolarda modeller çalıştırılıp gelecek yüzyıllar için meteorolojik parametrelerin nasıl değişeceği tahmin edilmektedir. 2100 yılına kadar karbondioksit konsantrasyonları en düşük (SSP1-1,9) ve en yüksek (SSP5-8,5) emisyon senaryoları için 393 ila 1135 ppm arasında değişmektedir (Meinshausen vd., 2020). Fosil yakıtlarındaki kullanımın gelecekte artmasına ve karbondioksit başlıca olmak üzere sera gazlarının miktarındaki artışla bu senaryolar belirlenmiştir.

İklim değişikliğinin modellenmesi için GFDL-ESM4 modeli kullanılmıştır. Bu modelin SSP1-1.9 ve SSP5-8.5 senaryoları incelenmiş ve PMP ve yıllık maksimum yağışlar ile karşılaştırılmıştır. Bu senaryolara göre genel olarak ortalama yağışların Türkiye genelinde 2050'ye kadar azalması ve ortalama sıcaklık değerlerinin artması beklenmektedir. 2050'den sonra 2100 yılına kadar yağış rejimindeki değişimlerin çok daha fazla olması beklenmektedir. SSP1-1.9 ve SSP5-8.5 (Paylaşılan Sosyoekonomik Rotalar) senaryolarında, SSP1-1.9 senaryosu sürdürülebilir bir gelecek için daha iyimser olarak hazırlanmış ve fosil yakıtların kullanımının minimum ölçüye indirildiği senaryo iken, SSP5-8.5 senaryosu fosil yakıtların kullanımının devam ettiği kötümser bir senaryodur. İstanbul için 2023'ten 2100'e kadar değişim Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 9. SSP1-1.9 İstanbul beklenen ortalama günlük yağış verisi (kg/m<sup>2</sup>).



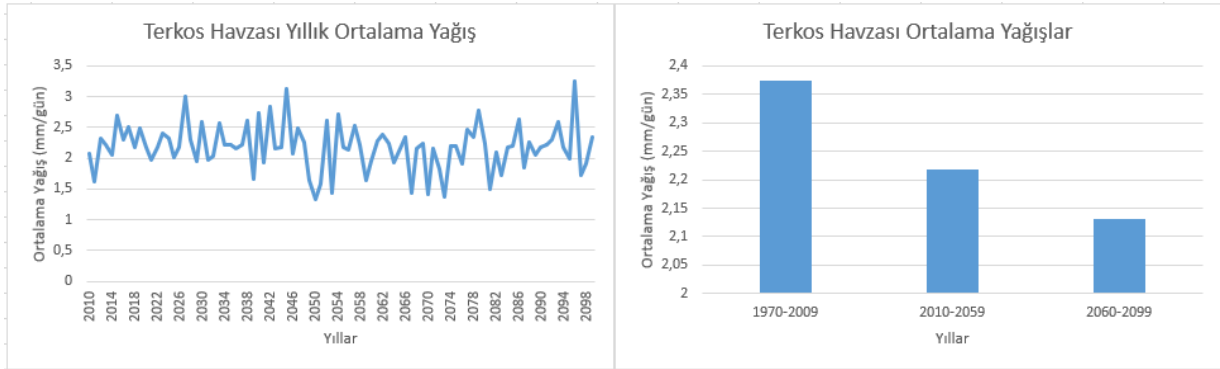
Şekil 10. SSP5-8.5 İstanbul beklenen ortalama günlük yağış verisi (kg/m<sup>2</sup>).

Şekil 9'a göre SSP1-1.9 senaryosu iyimser bir senaryo olduğu için sonuçlarında da yıllık toplam yağış değerleri nispeten daha fazladır. Genel olarak yağışların yıllık bazda azaldığı verilerde gözlemlenmiştir. Şekil 10'a göre SSP5-8.5 senaryosunda fosil yakıtlarının kullanımına devam edilen bir senaryodur ve burada yıllık yağışların diğer senaryoya göre daha fazla düştüğü gözlemlenmiştir. İki senaryoya göre de genel olarak yıllık bazda yağışların düşmesi beklenirken özellikle sıcaklık değişimleri ile kısa süreli yoğun yağışların artması beklenmektedir. Bu da sel ve taşkın için risk oluşturmaktadır. Elde edilen veri setinin ortalama değerleri hesaplandığında SSP5-8,5 senaryosunda ortalama günlük yağış 2,23 kg/m<sup>2</sup> iken SSP1-1,9 senaryosunda 2,38 kg/m<sup>2</sup>'dir.

İklim değişikliği senaryolarının maksimum yağış verileri ile yorumlanması için küresel salımlarda da kullanılan sel felaketine maruz kalmış 5 ilden bir tanesi olan İstanbul seçilmiştir. Özellikle 2010'a kadar artan maksimum günlük toplam yağış, bu yıldan sonra 5-6 yıllık azalma trendine girmiş ve tekrardan artış trendi göstermeye başlamıştır. İklim değişikliği senaryoları ile birlikte incelendiğinde 2022 yılına kadar genel olarak artış eğiliminde olan maksimum yağışların, 2023'ten itibaren model verilerine bakıldığında 2050 yılına kadar hem SSP1-1.9 hem de SSP5-8.5 için toplam yağışların azalması beklenirken, sıcaklık değerlerindeki artış ile anlık yağışlarda artış olabileceği söylenebilir. 2050'den 2100 yılına kadar her iki senaryo içinde sıcaklık değerlerinin daha fazla artacağı tahmin edilirken bu süreçte bir önceki periyoda göre çok daha fazla anlık yağış olabileceği söylenebilir.

1975'ten 2023'e kadar MGM'den alınan verilerde genel olarak artış eğiliminde olduğu söylenebilir. 2023'ten 2100'e kadar ise sıcaklıklardaki artışla anlık şiddetli yağışların artması beklenmektedir. Bu yüzden 2 ayrı veri setinin uyumlu olduğu söylenebilir. Tahmin edilen senaryolar gerçekleşirse gelecek yıllarda PMP değerlerinin daha fazla yükseleceği söylenebilir.

İklim değişikliği senaryolarını daha mikro ölçekte incelemek için Şekil 11'de Terkos için analiz yapılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 1970-2009 verileri ile Emisyon Senaryoları Özel Raporu (SRES)'nin A1B senaryosunun verileri kullanılmıştır. Bu senaryo A1FI senaryosundan daha az fosil yakıt kullanılan ama A1T senaryosuna göre daha fazla fosil yakıt kullanılan dengeli bir senaryodur.



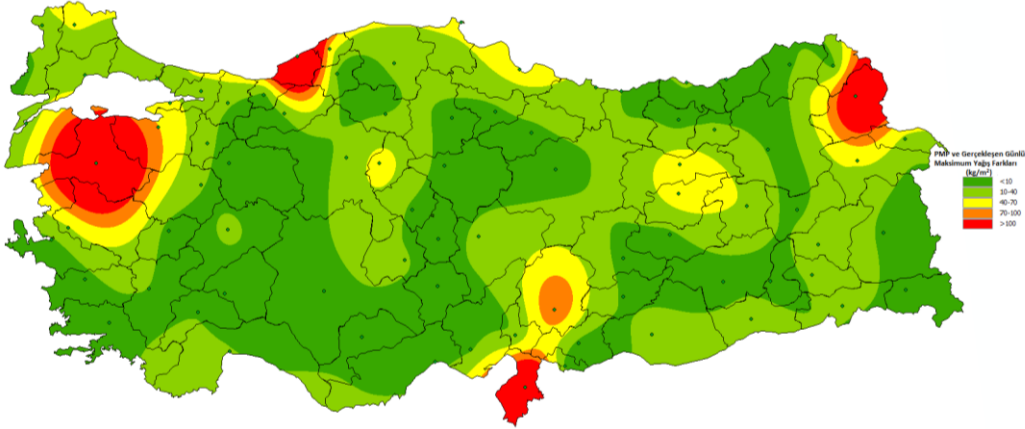
Şekil 11. Terkos Havzası Yıllık Ortalama Yağışları (mm/gün)

Şekil 11 incelendiğinde ilk olarak Terkos Havzası'nın yıllık ortalama yağışları yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Histogram grafiğinde ise 1970-2009 ölçülen değerler ile 2010-2059 ve 2060-2099 yılları arası ortalama yağışların histogramı gözükmemektedir. Ölçülen değerlere göre analiz edildiğinde ilk zaman aralığı olan 2010-2059 zaman aralığında ortalama yağışların yaklaşık %8 azaldığı belirlenmiştir. Günümüzün en önemli meteorolojik doğal afetlerinden olan kuraklık için ciddi risk teşkil eden bu durum, senaryo gerçekleşirse gelecekte kuraklığın daha şiddetli etki edecek bir doğal afet olacağını göstermektedir. 2060-2099 zaman aralığına göre ise ölçülen değerlere göre ortalama yağışların %11 azalması beklenmektedir. Önümüzdeki yıllarda beklenen bu azalma trendinin hem Terkos Havzası için hem de İstanbul için risk teşkil etmektedir. İstanbul'un kullanım suyunun önemli bir miktarını karşılayan Terkos Durusu Gölü yağışların azalmasıyla göl suyunun seviyesi azalması beklendiği için gelecek içinde kullanım suyu problemlerine yol açacağı beklenebilir. Küresel iklim değişikliği ile sıcaklık değerlerinin artmasıyla konvektif hareketlerin artmasını beklenirken bu sebeple anlık yağışlarında artması beklenmektedir. Ortalama yağışlar ise senaryolara göre azalması beklendiği için kullanılan su miktarında azalma olacaktır. Anlık şiddetli yağışlar ile akışa geçen su miktarı daha fazla olacağı için sel ve taşkın gibi doğal afetlerin artması beklenirken, akışa geçip denize ulaşan su artacağı için göl, yeraltı kaynakları gibi tatlı su kaynaklarına ulaşan su miktarı daha az olması beklenmektedir. Yıllık ortalama yağışlarında daha az olması ile ve sıcaklıkların artmasıyla gelecekte su sıkıntısı daha önemli bir sorun olabilir. Bu sonuçlar neticesinde yıllık bazda hem sel hem de kuraklık afetinin artması beklendiği söylenebilir (Sırdaş, Öztopal ve Şen, 2013).

PMP analizleri sonucu PMP değerlerinin en yüksek olduğu şehirlerin yıl içerisinde en çok konvektif hava olaylarına maruz kaldığı Akdeniz bölgesinde olduğu için buradaki sıcaklık değişimleri konvektif hareketlerin tetiklenmesine ve PMP değerlerinin artmasına sebep olabilmektedir. İklim değişikliği ile birlikte Türkiye'deki toplam yağış miktarı azalması beklenirken anlık şiddetli yağışların artması da beklenmektedir. Bu maksimum yağışlar artmaya devam ettikçe PMP değerleri daha fazla yükselecektir. Yapılan çalışma sonucu birçok şehir için PMP verileri gerçekleşen yağışlara göre fazla çıkmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den alınan 48 yıllık veri ile yapılan PMP çalışması, yine Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan ölçülen maksimum değerler ile karşılaştırılmıştır. Her şehir için geçmiş verinin başlangıç tarihi farklı olsa da birçok şehir için 1929'dan itibaren günlük toplam maksimum yağış verisi bulunmaktadır. Bu sonuçlar analiz edildiğinde en düşük sapmalar Nevşehir, Isparta ve Eskişehir'de olmuştur. Nevşehir için 1975-2022 verileri ile analiz yapıp  $41,42 \text{ kg/m}^2$  PMP hesaplanmıştır ve Nevşehir'de ölçülen günlük toplam maksimum yağış  $40,7 \text{ kg/m}^2$  meydana gelmiştir ve  $1 \text{ kg/m}^2$ 'den daha düşük bir hata payı elde edilmiştir. Isparta ili içinde 1975-2022 verileri ile yapılan analiz sonucu PMP  $109,5 \text{ kg/m}^2$  hesaplanmıştır ve Isparta ili için gerçekleşen maksimum yağış verisi 1953 yılında  $108,6 \text{ kg/m}^2$  olmuştur ve burada da hata payı %1'den az olacak şekilde hesaplanmıştır. Hatanın en fazla çıktığı illerde ise farklar Zonguldak'ta  $275,93 \text{ kg/m}^2$ , Hatay'da  $223 \text{ kg/m}^2$  ve Balıkesir'de  $204,95 \text{ kg/m}^2$  çıkmıştır.

Bazı illerde analiz ile ölçülen veri arasındaki sapmaların yüksek çıkma sebebi maksimum yağışın ölçüldüğü istasyonların şehrin başka bir ilçesindeki veya başka bir konumundaki istasyon verisinin şehrin maksimum yağış verisi olmasıdır. Ayrıca PMP hesaplaması 1975-2022 aralığındaki veri seti ile yapıldığı için daha önceki yıllarda meydana gelmiş şiddetli yağışlar veri setinde yer almamaktadır. Şekil 12'de PMP ve günlük maksimum yağış verileri arasındaki farkların haritası gösterilmiştir.



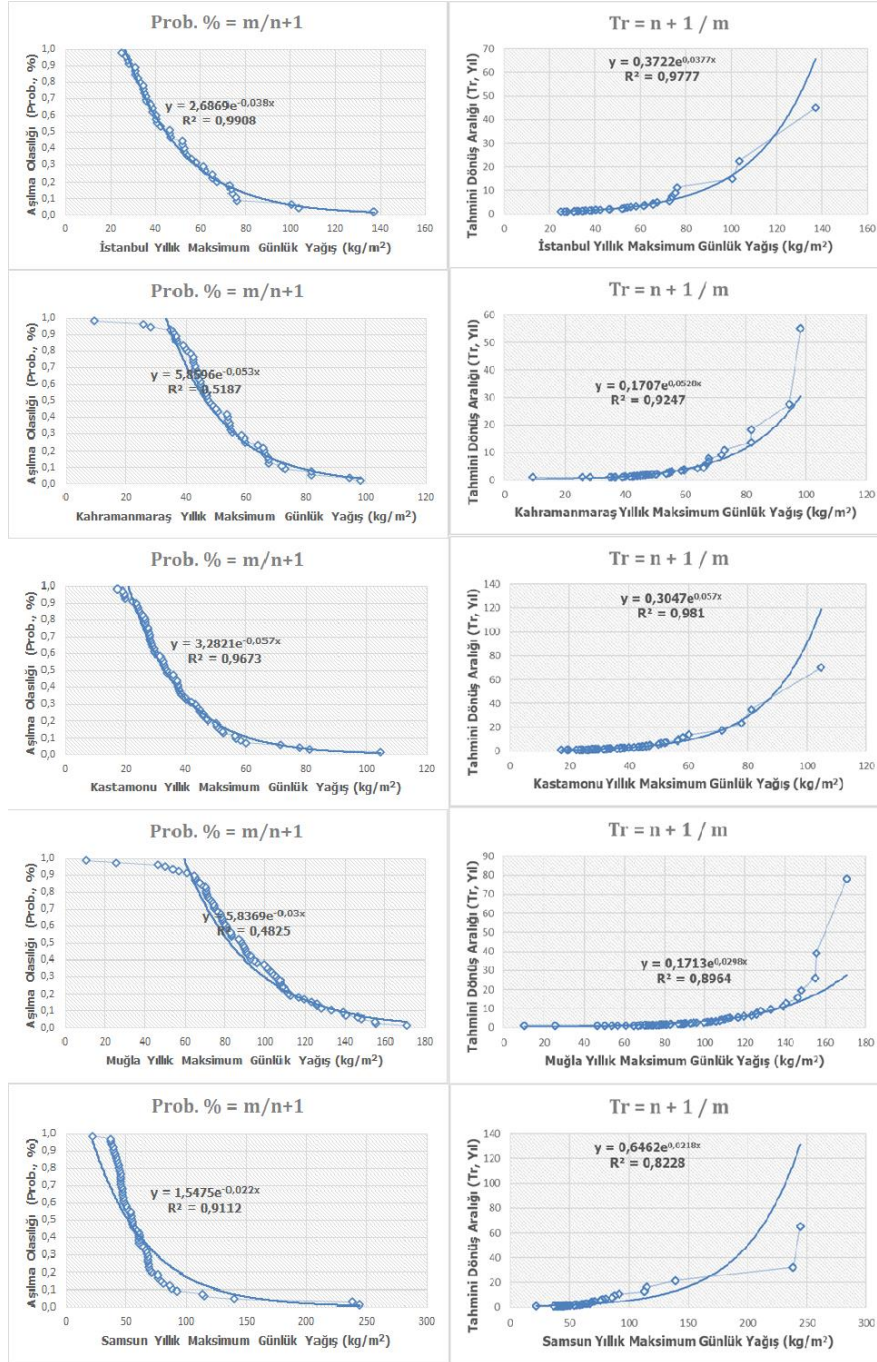
Şekil 12. PMP ile gerçekleşen günlük maksimum yağış farkları ( $\text{kg/m}^2$ )

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den alınan 24 saatlik gözlenen en büyük yağışlar verisi ile aşılma olasılığı ve tahmini dönüş aralığı grafikleri ve hesaplamaları yapılmıştır. Her istasyonun gözlem yılı süresi farklı olduğu için bu hesaplamalar Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Standart Sürelerde Gözlenen En Büyük Yağışlar verisi ile yapılmıştır.

Şekil 13'de de gözüktüğü üzere seçilen 5 şehrin aşılma olasılığı ve tahmini dönüş aralığı grafikleri ve formülleri görülmektedir. Bu formüllere göre; İstanbul için hesaplanan PMP değeri aşılma olasılığı ve tahmini dönüş aralığı hesaplanmıştır. İstanbul için PMP  $161,17 \text{ kg/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer ile aşılma olasılığı %0,006 ve tahmini dönüş aralığı yaklaşık 162 yıl olarak hesaplanmıştır. Kahramanmaraş için hesaplanan PMP değeri kullanılarak aşılma olasılığı ve tahmini dönüş aralığı hesaplanmıştır. Kahramanmaraş için PMP  $195,49 \text{ kg/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer ile aşılma olasılığı %0,0002 ve tahmini dönüş aralığı yaklaşık 5188 yıl olarak hesaplanmıştır. Kahramanmaraş için kıyaslama yapılması için en büyük yağışlar verisi 1966'dan 2020



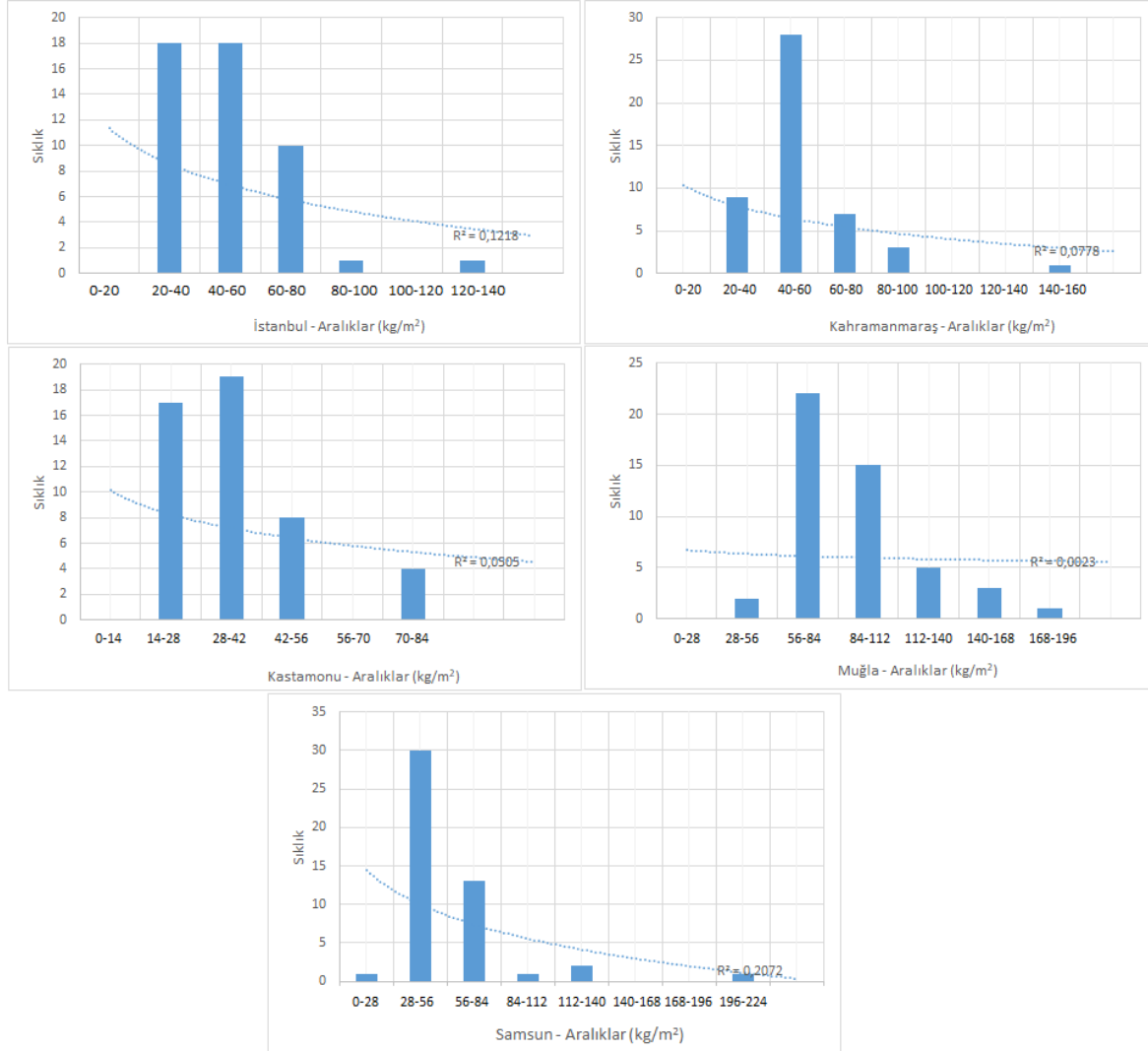
yılına kadar mevcuttur ve bu veriyle aşılma olasılığı ve dönüş aralığı hesaplanmıştır. PMP analizinde maksimum yağış değeri 2022 yılına ait veri olduğu için aşılma olasılığı çok düşük değer çıkarken, tahmini dönüş aralığı yıl olarak diğer şehirlere göre çok daha yüksek çıkmıştır. Kastamonu için hesaplanan PMP değeri 86,95 kg/m<sup>2</sup> kullanılarak aşılma olasılığı %0,023 ve tahmini dönüş aralığı yaklaşık 43 yıl olarak hesaplanmıştır. Muğla için hesaplanan PMP değeri 176,39 kg/m<sup>2</sup> ile aşılma olasılığı %0,029 ve tahmini dönüş aralığı yaklaşık 33 yıl olarak hesaplanmıştır. Samsun için hesaplanan PMP değeri 293,04 kg/m<sup>2</sup> ile aşılma olasılığı %0,0025 ve tahmini dönüş aralığı yaklaşık 384 yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 13. İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin maksimum yağış verisi ile Aşılma Olasılığı ve Tahmini Dönüş Aralığı Grafikleri



Seçilen 5 şehir için, her yıl için günlük maksimum yağış verisi ile verinin standart sapması genişliğinde aralıklar seçilip sıklık grafikleri elde edilmiştir. Şekil 14’te sırasıyla İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin sıklık grafikleri verilmiştir.



Şekil 14. İstanbul, Kahramanmaraş, Kastamonu, Muğla ve Samsun illerinin maksimum yağış verisi ile Sıklık Grafikleri

## SONUÇLAR

Olası Maksimum Yağış (PMP) analizi yapıldığında özellikle Akdeniz bölgesi için PMP değerlerinin yüksek çıktığı gözlemlenmiştir ve gerçekleşen maksimum günlük toplam yağış verileri ile karşılaştırıldığında sonuçların oldukça gerçeğe yakın çıktığı tespit edilmiştir. Akdeniz bölgesinde hem PMP değerleri yüksektir hem de analiz ile ölçümler arasındaki sapmalar düşüktür. Akdeniz bölgesindeki tutarlılığın yüksek olma sebebinin mezo ölçekte yapılan analiz sonucu kümülonimbus bulutları ile konvektif hava hareketlerinin maksimum olduğu yerlerde daha tutarlı sonuç vermesi olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak konvektif hava hareketleri sonucu ekstrem yağışlar oluştuğu için ve bu sistemlerin deniz üzerinden beslenerek geldiği için kıyı bölgelerinde yer alan şehirlerdeki maksimum yağış ihtimali ve PMP hesabının tutarlılığı daha yüksek olmaktadır. Akdeniz bölgesi haricindeki yüksek PMP değerine sahip diğer iller ise İzmir, Manisa, Rize, Samsun, Yalova, Ordu ve Kars olmuştur. Kars hariç diğer şehirler denize çok yakın olduğu için bu şehirlerde taşkın ve sel riski çok fazladır. Kars ise aldığı yağışların büyük bir kısmını kar olarak aldığı için sel ve taşkın ihtimali diğer şehirlere göre biraz daha azdır. Burası için dikkat edilmesi gereken konu, karın erimesiyle anlık akışa geçen yüklü miktarda yağışın sel ve taşkın riski oluşturmasıdır. PMP değerinin en az olduğu şehirler ise

Nevşehir, Bayburt, Tokat, Erzincan ve Kayseri olmuştur. Bu şehirlerde de sel ve taşkın riski vardır ancak PMP analizine göre daha düşüktür.

Ortalama PMP değeri 81 il için  $122,9 \text{ kg/m}^2$ 'dir. PMP sıralaması yapıldığında 8. Sırada bulunan Manisa ilinden itibaren PMP değeri  $200 \text{ kg/m}^2$ 'nin altına düşmektedir. Özellikle Hatay için çıkan  $655,8 \text{ kg/m}^2$  değeri çok yüksektir. Hatay için bu kadar yüksek PMP değeri çok riskli bir yerleşim yeri anlamına gelmektedir ve günlük toplam yağışın bu kadar yüksek olması sürekli sel ve taşkın olma ihtimalini arttırmaktadır. 2. Sırada bulunan Antalya  $320,3 \text{ kg/m}^2$  ve 3. Sırada bulunan Samsun  $293 \text{ kg/m}^2$ 'de riskli diğer şehirlerdir.

Günlük toplam maksimum yağış değerlerinin küresel okyanus salınımları ile ilişkisi incelendiğinde 5-15 yıllık değişen periyotlarda temsil eden aralıklar vardır ama genel olarak yağışların salınımlardan etkilendiği söylenemez. Bu yüzden PMP değerleri ile küresel okyanus salınımlarının indekslerinin korelasyon içinde olduğu söylenemez.

İklim değişikliği ile PMP değerleri incelendiğinde iklim değişikliği senaryolarında da belirtildiği gibi toplam yağışların azalması ama anlık şiddetli yağışların artması beklenmektedir. Günlük toplam yağışların geçmişten günümüze incelendiğinde kurak geçen yıllardan sonra artış trendi olduğunu gözükmektedir. Bu yüzden iklim değişikliği senaryoları ile PMP değerlerinin birbiriyle örtüştüğü gözlemlenmektedir. İklim değişikliği ile birlikte artan sıcaklıklar ve kararsız ve sıcaklığı değişen atmosferde konvektif hareketler daha belirgin olacağı için anlık şiddetli yağışlarında artabileceği beklenmektedir.

PMP değerleri ile gerçekleşen maksimum yağışlar analiz edildiğinde genel olarak  $40 \text{ kg/m}^2$  altında sapmalar vardır. Günlük toplam yağış analizi için bu miktarın tutarlı bir sonuç olduğu söylenebilir. Özellikle Akdeniz bölgesinde birçok şehirde %1'in altında çıkan hata payları konvektif aktivitenin fazla olduğu bu bölgede tutarlı sonuçlar olduğu söylenebilir. Bazı şehirlerde hatalar çok yüksektir, bunun sebebi ise analizi yapılan istasyon ile şehirde ölçülen maksimum yağışın gerçekleştiği istasyonun farklı olmasıdır.

Özet olarak PMP hesaplaması Türkiye geneli için tutarlı bir sonuç vermiştir ve iklim değişikliği senaryolarıyla da örtüşmektedir. Bu yüzden riskli olarak belirtilen şehirlerin sel ve taşkın afetlerine yakalanmaması için gerekli önlemlerin alınması, diğer şehirlerinde maksimum yağış hesaplarına göre tedbirler alması gerekmektedir. Şehir yapılarının planlanmasında sadece Olası Maksimum Yağış değerleri göz önüne alınmamalıdır çünkü maksimum yağış değeri bir bölgede diğer bölgelere göre daha az bir miktarda olsa bile toprağın geçirgenliği, dere yataklarının taşıma kapasitesi gibi faktörler düşük ise yine sel ve taşkın felaketi meydana gelebilmektedir.

Bu çalışmada her şehir için 1 istasyon seçilmiştir ve 81 ilin olduğu harita yapılmıştır. Maksimum kapsayıcılık için şehirlerin veri setlerindeki en büyük aralık seçilmiştir ve 48 yıllık günlük veriler ile çalışma tamamlanmıştır. Küresel salınımlarla maksimum yağışlar arasındaki ilişki yıl sayısı arttıkça anlamlı sonuçlar vermemektedir. Bu yüzden salınımlarla maksimum yağışlar arasındaki ilişki incelenecekse veri periyodunun daha kısa süreli seçilmesi sonuçların daha tutarlı hale gelmesini sağlayacaktır. Gelecek yıllarda yağış ölçüm sürelerinin ve ölçüm sistemlerinin daha da artmasıyla bu çalışmanın daha kapsamlı yapılması ve ilçe merkezlerinin de eklenerek Türkiye PMP haritasının zenginleştirilmesi hem ekonomik açıdan hem de insan hayatı açısından birçok sorunun en aza indirilmesine yardımcı olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmada kullanılan istasyon verileri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., ... Vazquez-Aguirre, J.L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5). <https://doi.org/10.1029/2005jd006290>

- Bruce, J.P., Clark, R.H. (1980). Introduction to hydrometeorology. *Pergamon Press*.
- Casas, M.C., Rodríguez, R., Nieto, R., Redaño, A. (2008). The estimation of probable maximum precipitation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146(1), 291–302. <https://doi.org/10.1196/annals.1446.003>
- Chow, V.T. (1951). A general formula for hydrologic frequency analysis, *Trans. Am. Geophys. Union* 32(2), 231–237. <https://sci-hub.se/10.1029/tr032i002p00231>
- Christensen, O.B., Christensen, J.H. (2004). Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate, *Global and Planetary Change*, 44(1–4), 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.06.013>
- Conte, M., Giuffrida, A., Tedesco, S. (1989). The Mediterranean Oscillation. Impact on precipitation and hydrology in Italy. *Publications of the Academy of Finland*, Helsinki.
- Cook, B.I., Anchukaitis, K.J., Touchan, R., Meko, D.M., Cook, E.R. (2016). Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(5), 2060–2074. <https://doi.org/10.1002/2015jd023929>
- Eliasson, J. (1997). A statistical model for extreme precipitation. *Water Resources Research*, 33(3), 449–455. <https://doi.org/10.1029/96wr03531>
- Hershfield, D.M. (1961a). Rainfall Frequency Atlas of the United States, Technical Paper No. 40, *Weather Bureau, United States Department of Commerce*, Washington. <https://www.weather.gov/media/owp/oh/hdsc/docs/TP40.pdf>
- Hershfield, D.M. (1961b). Estimating the probable maximum precipitation, *Journal of Hydraulics Division: Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 87: 99–106.
- Koutsoyiannis, D. (1999). A probabilistic view of Hershfield's method for estimating probable maximum precipitation, *Water Resources Research*, 35(4), 1313–1322. <https://doi.org/10.1029/1999wr900002>
- Kryzhov, V.N., Gorelits, O.V. (2015). The Arctic Oscillation and its impact on temperature and precipitation in Northern Eurasia in the 20th Century, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 40, 711–721. <https://doi.org/10.3103/S1068373915110011>
- WMO (2009). Manual on estimation of probable maximum precipitation (PMP), *WMO*, Genova, 298 sayfa.
- Meinshausen, M., Nicholls, Z.R., Lewis, J., Gidden, M.J., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, J.G., Daniel, J.S., John, A., Krummel, P.B., Luderer, G., Meinshausen, N., Montzka, S.A., Rayner, P.J., Reimann, S., ... Wang, R.H. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500, *Geoscientific Model Development*, 13(8), 3571–3605. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
- Meyers, V.A. (1967). Meteorological estimation of extreme precipitation for spillway design floods. *U.S. Department of Commerce, Environmental Science Services Administration, Weather Bureau*, Washington.
- Nicholls, N., Gruza, G.V., Jouzel, J., Karl, T.R., Ogallo, L.A., Parker, D.E. (1996). Observed climate variability and change. *Cambridge University Press*, Cambridge, 133-192.
- Palutikof, J.P. (2003). Analysis of Mediterranean climate data: Measured and modelled, *In: Bolle, H.J. (ed): Mediterranean climate: Variability and trends*, Springer-Verlag, Berlin.
- Papalexiou, S.M., Montanari, A. (2019). Global and regional increase of precipitation extremes under global warming, *Water Resources Research*, 55(6), 4901–4914. <https://doi.org/10.1029/2018wr024067>
- Rigor, I.G., Wallace, J.M., Colony, R.L. (2002). Response of sea ice to the Arctic oscillation, *Journal of Climate*, 15(18), 2648–2663.
- Sarkar, S., Maity, R. (2020). Estimation of probable maximum precipitation in the context of climate change. *MethodsX*, 7, 100904. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100904>
- Sırdaş, S., Şen Z., Öztopal, A. (2013). Climate change expectations in the next half century of Turkey, *In: Dincer, I., Colpan, C.O., Kadioglu, F. (ed), Causes, Impacts and Solutions to Global Warming*, Springer. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-7588-0\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-7588-0_6)
- Sušelj, K., Bergant, K. (2006). Mediterranean oscillation index, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 02145, European Geosciences Union. <https://www.meetings.copernicus.org/www.cosis.net/abstracts/EGU06/02145/EGU06-J-02145.pdf>
- US Department of Commerce, N. (2016, July 19). What is Enso?. National Weather Service. <https://www.weather.gov/mhx/ensowhat>
- Wang, G., Wang, D., Trenberth, K.E., Erfanian, A., Yu, M., Bosilovich, M.G., Parr, D.T. (2017). The peak structure and future changes of the relationships between extreme precipitation and temperature, *Nature Climate Change*, 7(4), 268–274. <https://doi.org/10.1038/nclimate3239>
- Wiesner, C. (1970). Informal discussion. The estimation of probable maximum precipitation. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 47(2), 297–303. <https://doi.org/10.1680/iicep.1970.6621>
- Web 1, <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/projections-cmip6?tab=download> (15 Ekim 2024 tarihinde alınmıştır).
- Web 2, <https://www.worldclimateservice.com/2021/10/11/atlantic-multi-decadal-oscillation/> (15 Ekim 2024 tarihinde alınmıştır).