

DOI: 10.26650/JGEOG2023-1165191

COĞRAFYA DERGİSİ
JOURNAL OF GEOGRAPHY
2023, (46)

<https://iupress.istanbul.edu.tr/en/journal/jgeography/home>


Türkiye Maksimum Yağışlarının Polinom Regresyonuyla Tahmini

Prediction of Maximum Precipitation in Turkey with Polynomial Regression

Fatih DİKBAŞ¹ , Orhan KOÇ² 

¹Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

²İnşaat Yüksek Mühendisi, Aysan Raf Sistemleri A.Ş., Denizli, Türkiye

ORCID: F.D. 0000-0001-5779-2801; O.K.0000-0001-6168-5478

ÖZ

Küresel ısınma, atmosferdeki su yoğunluğunu yükseltmekte ve yıllık toplam yağış miktarları azalma eğilimi gösterse de tekil yağış olaylarının şiddetini bazı bölgelerde arttırmaktadır. Bu nedenle, gözlenmiş yağış değerlerine bağlı olarak gelecekte oluşabilecek maksimum yağışların tahmin edilmesi önem kazanmıştır. Yağışlarda beklenen değişkenliğin anlaşılması ve muhtemel aşırı yağış değerlerinin yerlerinin ve yıl içinde gerçekleşeceği dönemlerin tahmin edilmesi, sel ve baraj yıkılmaları gibi potansiyel doğal afetlerin etkin bir şekilde önlenmesine yönelik çalışmalara büyük katkı sağlanmaktadır. Bu çalışmada, polinom regresyonu kullanılarak gelecekteki maksimum yağışlar, yılın her ayı için Türkiye'deki 66 yağış gözlem istasyonu verilerine dayanılarak %95 güven düzeyinde tahmin edilmiştir. Geliştirilen yöntem kapsamında, gözlenmiş yağış değerleri her istasyonun her ayı için küçükten büyüğe sıralanarak verilere en uygun polinom belirlenmekte ve daha önce gözlenmiş tüm değerleri aşacak şekilde oluşması beklenen maksimum yağış değerleri ekstrapolasyonla belirlenmektedir. En uygun polinomların derecelerini ve katsayılarını belirleyerek beklenen maksimum yağış değerlerini tahmin etmek amacıyla geliştirilen yazılımla elde edilen sonuçlar, hangi aylarda hangi bölgelerin aşırı yağış ve sel riski taşıdığını göstermektedir. Ayrıca Türkiye çapında gelecekte gerçekleşmesi beklenen aylık maksimum yağış olaylarına ait haritalar her ay için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında geliştirilen PolReg yazılımı, makale ile birlikte ücretsiz olarak okuyucuların kullanımına sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Polinom Regresyonu, Aylık Toplam Yağış, Maksimum Yağış

ABSTRACT

Global warming is increasing the amount of atmospheric water and the magnitude of precipitation in some regions even though the annual total precipitation trend is decreasing. Consequently, the prediction of future maximum precipitation based on existing observations has gained importance. Understanding the expected variability in precipitation events and predicting the location and yearly periods of probable extreme precipitation are important for the efficient prevention of potential natural catastrophes like floods and dam failures. In this study, future extreme precipitation was predicted for each month of year at a 95% confidence level by using the precipitation data of 66 stations in Turkey. In the context of the developed method, the observed precipitations of each station for each month are sorted in ascending order and the best polynomial fitting to the data is determined, then the expected extreme precipitation values higher than all previous observations were determined by extrapolation. The results of the software developed for predicting the expected maximum precipitation values by determining the degrees and coefficients of the best-fitting polynomials for each month at each station show the months and regions with extreme precipitation and risks of flooding. Also, maps showing the predicted monthly extreme precipitation events throughout Turkey are generated for each month. The PolReg software developed as part of the study is freely presented together with the manuscript for readers' use.

Keywords: Polynomial Regression, Monthly Total Precipitation, Maximum Precipitation

Başvuru/Submitted: 22.08.2022 • **Revizyon Talebi/Revision Requested:** 20.11.2022 • **Son Revizyon/Last Revision Received:** 07.12.2022 •

Kabul/Accepted: 15.12.2022



Sorumlu yazar/Corresponding author: Fatih DİKBAŞ / f_dikbas@pau.edu.tr

Atıf/Citation: Dikbas, F, & Koc, O. (2023). Türkiye maksimum yağışlarının polinom regresyonuyla tahmini. *Coğrafya Dergisi*, 46, 53-65. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2023-1165191>



EXTENDED ABSTRACT

In hydrologic modelling, precipitation is an important component in maintaining the atmospheric balance. The magnitude of precipitation has been intensified in most regions of the world by the recent global warming caused by the water content increase in the atmosphere as indicated by both climate model simulations and observations. Consequently, precipitation values higher than all previously observed extreme precipitation values are also increasing with climate change. This situation makes it more important than ever to predict extreme weather events with the worldwide increase in the frequency and intensity of water-related disasters like floods and droughts and dwindling water supplies. Gaining knowledge of the climate variation and predicting the probable extreme precipitation values is also very essential in efficiently preventing potential natural disasters. Proper design of water structures and prevention of loss of lives and environmental damages are directly associated with accurate calculation of design rainfall. Due to these reasons, hydrological design and water resources management studies should consider the changing character of return periods of precipitation extremes.

A two-dimensional periodic behavior is generally observed in hydrologic data because of the seasonality associated with the hydrologic cycle. Precipitation generally shows significant variations throughout the year, but the observations in the sub-periods (months, seasons, etc.) tend to be in a definite range. In Turkey, minimum precipitations are generally observed in July-September (summer) period varying in a low range while the highest precipitations are experienced within the November-January (winter) period. The uncertain, nonstationary and sometimes chaotic behavior of precipitation makes the observation, quantification, estimation and forecasting of precipitation challenging even though the behavior is generally seasonal.

Polynomial regression is a powerful tool that can be used to describe trend curves to model complicated patterns of sorted temporal data. It can be visually observed that the time series graphs of sorted monthly total precipitation series generally depict a nonlinear behavior and the slope of the curve always increases towards the higher values. As a result, polynomial regression was selected as the method to estimate the future extreme values based on this property of sorted precipitation series.

In this study, future extreme precipitations were predicted for each month of the year at a 95% confidence level by using the precipitation data of 66 stations in Turkey. In the context of the developed method, the observed precipitations of each station for each month are sorted in ascending order and the best polynomial fitting to the data is determined, then the expected extreme precipitation values higher than all previous observations are determined by extrapolation. The prediction bounds for each monthly series are determined by using a 95% confidence level. The observations are located on two-dimensional matrices where months are in rows. The results of the software developed for predicting the expected maximum precipitation values by determining the degrees and coefficients of the best-fitting polynomials for each month at each station show the months and regions at risk of extreme precipitation and flooding. The forecasted extreme precipitation values have values exceeding all previous observations and provide crucial information, especially for consideration in water resource management projects. Also, maps showing the predicted monthly extreme precipitation events throughout Turkey were generated for each month. The presented method has a flexible structure in that new observations can be easily appended to the existing input dataset and the best-fitting polynomials might be updated accordingly. This allows for consideration of non-stationary precipitation series.

According to the obtained results, excessive precipitation might be expected in the Aegean and Mediterranean shorelines in January, February and March; in the Western Mediterranean in April; in Hatay, Ağrı and the Western Black Sea Region in June; in Hatay, Hakkari, Western Black Sea and Northern Marmara Regions in July, in Istanbul, Mid- and Western Black Sea and Southern Marmara Regions in August; in Marmara and Western Aegean Regions in September; in Marmara, Western Aegean and Western Mediterranean Regions in October and western Marmara, Aegean and the whole Mediterranean Regions in November and December. These findings provide important temporal and spatial estimations of extreme precipitation events in Turkey. One of the precipitation events confirming the results of the study occurred on August 10th-11th, 2021 in Bartın (Western Black Sea Region) which was recorded as an all-time high event. The PolReg software developed as part of the study is freely presented together with the manuscript to readers of the journal.

1. GİRİŞ

Sel, heyelan, taşkın ve kuraklık gibi doğal afetlerin en önemli sebeplerinden birisi, meydana gelen yağışların miktarıdır (Bahadır, 2014; İrcan & Duman, 2021; Sarış & Gedik, 2021). Aynı zamanda insan hayatı için çok önemli olan tarımsal sulamada, içme suyu biriktirmede, barajlardan elektrik üretiminde kullanılan suyun kaynağı da yağışlardır. Bu sebeple, suyun doğru yönetimi için gelecekte gözlenecek yağışların mümkün olduğunca doğru tahmin edilmesi ve bu tahminlere göre gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Değişkenliği anlamak ve muhtemel aşırı yağış değerlerini tahmin etmek, sel ve baraj yıkılmaları gibi potansiyel doğal afetlerin etkin bir şekilde önlenmesinde son derece önemlidir (Beguería & Vicente-Serrano, 2006; Block & Rajagopalan, 2007; Tian, Martinez, Graham, & Hwang, 2014). İklimde sürekli bir değişimin olduğu bilinmektedir (Gülten & Ataol, 2014; Knox, 1993) ve sonuç olarak hidrolojik çevrim ve buna bağlı yağış şekilleri de değişmektedir (Yılmaz, 2020; Zhang, Xu, Tao, Jiang, & Chen, 2009). Su kaynaklarıyla bağlantılı projelerde, geçmiş gözlemlerle birlikte geleceğe yönelik tahminler de dikkate alınarak tasarım yağışının doğru tespit edilmesi, su yapıları için uygun boyutların seçilmesini doğrudan etkiler ve can kaybı ve çevresel zararı önler. Dünyanın bazı bölgelerinde, iklim değişikliğinin etkisi ve son zamanlarda küresel ısınmanın neden olduğu anormal havanın etkisiyle yıllık toplam yağış değerlerinde azalmalar rapor edilmesine rağmen (Türkeş, Koç, & Sarış, 2007) sıcaklık arttıkça yağış şiddetlerindeki artışların yoğunlaştığı gözlenmektedir (Hou et al., 2014; Külekçioglu & Fıstıkoğlu, 2022; Reager & Famiglietti, 2009). Tarihi taşkın sıklığındaki değişiklikler üzerine bir araştırma, tahmini taşkın aşma olasılığının zamanla oldukça hızlı bir şekilde artabileceğini ortaya koymuştur (Porporato & Ridolfi, 1998). Suya bağlı felaketlerin sıklık ve yoğunluğunun hem Türkiye’de hem de dünya çapında artmasıyla (Erlat, 1996; Koç & İrdem, 2007; Leconte, Forget, Charnay, Wordsworth, & Pottier, 2013) diğer alanlarda olduğu gibi hidroloji alanında da maksimum değerlerin tahmini daha da önem kazanmıştır.

Hidrolojik değişkenler, hidrolojik döngü ile ilişkili mevsimsellik nedeniyle iki boyutlu periyodik bir davranış göstermektedir (Firat, Dikbaş, Koç, & Gungor, 2012). Örneğin, yağış genel olarak bir yıl boyunca önemli değişiklikler gösterir, ancak alt dönemlerdeki gözlemler (aylar, mevsimler, vb.) belirli bir aralık içerisinde olma eğilimindedir. Türkiye’de, Temmuz-Eylül döneminde, genel olarak minimum yağış, düşük aralıklarla değişirken, maksimum yağışlar Kasım-Ocak döneminde gerçekleşmekte ve daha yüksek değişkenlik göstermektedir.

Yüksek şiddetli yağışlar genellikle Akdeniz, Karadeniz ve Marmara bölgelerinde gözlemlenmektedir (Erlat, 1996). Yağış genellikle mevsimsel olmakla birlikte, belirsiz (Kent, Chadwick, & Rowell, 2015), durağan olmayan ve bazen kaotik davranış göstermektedir (Jayawardena & Lai, 1994; Sivakumar, 2000; Sivakumar, Liong, Liaw, & Phoon, 1999; Wilks, 2012). Yağışın iki boyutlu davranışı, veri serileri bir matrise yerleştirildiğinde gözlenebilir, böylece her satır her ayın gözlemlerini içerir (12 satır). Bu iki boyutlu yaklaşım, veri tabanlı modelleme çalışmalarında tek boyutlu yaklaşım üzerinde önemli avantajlar sağlamakta ve üç boyutlu tahmin, frekans temelli tahmin ve iki boyutlu korelasyon gibi yöntemlerin geliştirilmesini ve kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Bacanli, Dikbaş, & Baran, 2008; Dikbaş, 2018; Dikbaş, 2017).

Polinom regresyonu, sıralı zamansal verilerin karmaşık ilişkilerini modellemek için eğilim eğrilerini tanımlayabilir. Çeşitli hidrolojik veriler üzerindeki uygulamaları ile birlikte (Castro-Gama, Popescu, Li, Mynett, & van Dam, 2014; Jones, Spence, Bowman, Evers, & Molinari, 2014), yağış modellemesi için polinom regresyonunu kullanan sınırlı sayıda çalışma da literatürde mevcuttur (Acock & Pachepsky, 2000; Adnan, Ullah, & Shouting, 2016; Block & Rajagopalan, 2007; George, Janaki, & Parameswaran Gomathy, 2016; Goodale, Aber, & Ollinger, 1998; Hwang, Clark, Rajagopalan, & Leavesley, 2012; Stefanescu, Stefan, & Georgescu, 2014; Tian et al., 2014).

Bu çalışmada, Türkiye’nin farklı yerlerindeki 66 adet yağış gözlem istasyonunun aylık maksimum yağış yüksekliği (mm/gün) verilerine dayanılarak, gelecekte gerçekleşme olasılığı olan aşırı yağış olayları polinom regresyonu yöntemiyle tahmin edilmiştir. Gözlemler, her ay için bir satır olmak üzere küçükten büyüğe sıralanmış yağış verilerini içeren iki boyutlu matrislerde bulunur. Geliştirilen yöntemin, incelenen istasyonların gözlenmiş en yüksek yağış verileri veri setinden çıkarılarak test edilmesi sonucunda mevcut maksimumları başarılı şekilde tahmin ettiği belirlenmiş ve gelecekte oluşması olası maksimum yağış değerlerinin tahmini için kullanılmıştır. Beklenen maksimum yağış değerleri tüm istasyonlar için tüm aylar için hesaplanmıştır. Tahmin edilen maksimum yağış değerleri, önceki gözlemlerin tümünü aşan değerlere sahiptir ve özellikle su kaynakları yönetimi projelerinde hangi bölgede hangi aylarda maksimum yağışların oluşacağını öngörmesi açısından dikkate alınması gereken önemli bilgiler sağlamaktadır.



Şekil 1: 66 Adet istasyonun Türkiye haritası üzerindeki konumları.

Figure 1: The locations of the 66 stations on the map of Turkey.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. İncelenen İstasyonlar

Türkiye'nin çeşitli yerlerinden toplam 66 adet istasyonun aylık maksimum yağış (mm/gün) verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilerek her istasyonun eksik verileri beklenti maksimizasyonu yöntemi kullanılarak tamamlanmıştır. İncelenen istasyonların konumları Şekil 1'de

gösterilmiştir; yağış gözlemlerinin maksimum, minimum ve ortalama değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Elde edilen verilerin geliştirilmiş olan yazılımda kullanılabilmesi amacıyla, her ay bir satır olacak şekilde toplam 12 satırdan oluşan tablolar tüm istasyonlar için ayrı ayrı oluşturulmuştur.

Tablo 1: İncelenen istasyonlara ait aylık maksimum yağışların ortalama, minimum ve maksimum değerleri (mm/gün).
Table 1: The average, minimum, and maximum values of monthly maximum rainfall for the examined stations (mm/day).

	17020	17045	17046	17050	17054	17070	17072	17080	17084	17085	17089	17099	17111	
Ortalama	27.3	18.5	13.7	19.5	18.1	14.7	21.7	12.6	13.5	13.9	12.2	13.6	18.3	
Minimum	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Maksimum	161.1	93.4	75.8	128.5	111.3	57.5	118.0	73.7	58.4	60.9	61.5	125.9	127.8	
	17112	17114	17116	17120	17130	17145	17237	17238	17239	17265	17280	17282	17290	
Ortalama	21.7	22.5	20.5	13.6	12.0	23.9	18.5	14.3	17.7	21.1	15.4	15.2	26.5	
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Maksimum	110.0	248.0	114.4	92.0	88.9	169.0	105.6	91.0	76.7	105.9	71.6	69.2	231.6	
	17294	17297	17300	17310	17320	17372	17602	17606	17619	17622	17626	17646	17700	
Ortalama	33.4	26.2	41.7	35.6	33.1	36.8	25.7	31.7	29.6	21.7	20.3	11.3	16.6	
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Maksimum	374.6	146.2	331.5	205.7	168.6	432.1	95.6	126.3	145.8	90.1	90.7	53.2	99.9	
	17702	17720	17732	17734	17742	17760	17764	17768	17790	17796	17810	17836	17862	
Ortalama	14.2	9.7	11.7	11.8	22.1	11.4	20.0	16.0	21.9	12.6	15.3	11.7	14.5	
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Maksimum	116.6	70.3	64.3	51.2	172.5	47.4	67.9	74.7	119.5	53.1	63.1	57.0	66.5	
	17868	17870	17872	17874	17880	17882	17890	17950	17958	17960	17962	17966	17968	17980
Ortalama	14.0	13.3	17.1	24.0	14.0	24.8	17.5	22.4	22.0	25.8	29.2	13.2	12.6	11.6
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Maksimum	74.7	55.5	85.2	93.6	134.7	141.9	69.1	123.5	159.8	151.4	206.7	60.0	98.0	59.0

2.2. Polinom Regresyonu

Polinom regresyonu yöntemi, özünde çoklu doğrusal regresyonun özelleşmiş bir halidir (Meyers, Gamst, & Guarino, 2016). Polinom regresyonu yöntemi aşağıdaki matematiksel ifade ile tanımlanabilir:

$$y_i = a_0x_i^m + a_1x_i^{m-1} + a_2x_i^{m-2} + \dots + a_{m-2}x_i^2 + a_{m-1}x_i + a_m + \varepsilon_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

n : Polinom fonksiyonunun uygun olduğu gözlem sayısı

m : Gözlemlere uygun olan polinomun derecesi

y_i : Gözlemleri içeren cevap vektörünün i . elemanı (bağımlı değişken)

a_j : Uygun olan polinomun katsayısı ($j= 1, 2, \dots, m$)

ε_i : Rastgele hata (gözlem ile tahmin arasındaki fark)

x_i : Bağımsız değişkeni içeren vektörün i . elemanıdır.

Denklem 1, matris notasyonu ile aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^m & x_1^{m-1} & x_1^{m-2} \dots x_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^m & x_2^{m-1} & x_2^{m-2} \dots x_2^2 & x_2 & 1 \\ x_3^m & x_3^{m-1} & x_3^{m-2} \dots x_3^2 & x_3 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n^m & x_n^{m-1} & x_n^{m-2} \dots x_n^2 & x_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

Bu çalışmada amaç, mevcut yağış verilerini her ay için küçükten büyüğe sıralayıp, her ayın veri serisine en iyi uyan polinom belirlendikten sonra, elde edilen polinom kullanılarak gelecekte oluşması beklenen aşırı yağış değerlerini tahmin etmektir. Daha fazla eğilme noktasına sahip olan veri setleri, daha yüksek dereceli bir polinomla temsil edilebilmektedir. Örneğin, 2. dereceden bir polinomun yalnızca bir eğilme noktası olacaktır. Buna karşın, 5. dereceden bir polinomun ise 4 ya da daha az sayıda eğilme noktası vardır. Sıralanmış yağış verileri çoğunlukla eğrisel forma sahiptir ve doğrusallıktan uzaktır. Sıralanmış veri serilerinde yüksek yağış değerlerine sahip eğri kesimleri, daha düşük yağış değerlerine sahip olan kesimlere göre genellikle daha fazla eğime sahiptir ve bu nedenle yağış serilerini temsil etmek için düşük dereceli polinomlar genellikle yeterli olmamaktadır. Bu çalışmada tüm istasyonların veri setlerindeki her ay için 2. dereceden 8. dereceye kadar polinomlar 12 farklı istatistiksel performans ölçütü kullanılarak test edilmiş, her istasyonun her ayındaki sıralanmış veri serileri için en uygun polinomun derecesi ve katsayıları geliştirilen yazılımla belirlenmiştir.

2.3. Kullanılan İstatistiksel Performans Ölçütleri

İstatistiksel performans ölçütleri, bir istatistiksel tahmin metodunun belirli bir veri seti üzerindeki performansını değerlendirmek için metodun ürettiği tahminlerin gerçek sonuçlarla ne kadar örtüştüğünü ölçmemize yarayan yöntemlerdir. Bu çalışmada kullanılan istatistiksel performans ölçütleri aşağıda kısaca anlatılmıştır.

2.3.1. Ortalama Kare Hatası (MSE: Mean Squared Error):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \quad (3)$$

Regresyon için kullanılan en yaygın yöntemlerdendir. Burada y_i , i numaralı gözlem x_i (bağımsız değişken) için elde edilen tahmini (bağımlı değişken) simgeler. Tahmin edilen değerler gerçek değerlere ne kadar yakınsa MSE o kadar küçük olur; gerçek değerlerden ne kadar uzaklaşırsa MSE de o kadar büyük olur.

2.3.2. Normalize Ortalama Kare Hatası (NMSE: Normalized Mean Squared Error):

$$NMSE = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{Var(y)} \quad (4)$$

Normalize ortalama kare hatası (NMSE), öngörülen ve ölçülen değerler arasındaki genel sapmaları tahmin eder ve rastgele hataların bir göstergesidir. Yanlılığın aksine, sapmalar çıkarılmak yerine mutlak değer olarak toplanır. Bu nedenle NMSE, genellikle modeller arasındaki en çarpıcı farklılıkları gösterir. İncelenen model eğer çok düşük bir NMSE değerine sahipse hem konumda hem de zamanda iyi performans gösterir. Öte yandan, NMSE değerinin yüksek olması ise modelin tamamen yanlış olduğu anlamına da gelmez.

2.3.3. Ortalama Kare Hatasının Karekökü (RMSE: Root Mean Squared Error):

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - x_i)^2}{T}} \quad (5)$$

Bu yöntem, bir model tarafından öngörülen veya tahmin edilen değerler ile gözlenen değerler arasındaki farkları ölçülendiren bir

yöntemdir. RMSE, tahmin doğruluğunun bir ölçütüdür ve bir veri serisinin farklı modeller tarafından gerçekleştirilen tahminlerini karşılaştırmak amacıyla kullanılır. Ölçeğe bağımlı olduğu için farklı veri serilerinin karşılaştırılması amacıyla kullanılmaz.

2.3.4. Normalize Ortalama Kare Hatasının Karekökü (NRMSE: Normalized Root Mean Squared Error):

$$\text{NRMSE} = \frac{\text{RMSE}}{\text{Var}(y)} \quad (6)$$

RMSE'nin normalleştirilmesi ile elde edilen NRMSE, farklı ölçeklere sahip modeller arasında karşılaştırma yapılmasına olanak tanır.

2.3.5. Ortalama Mutlak Hata (MAE: Mean Absolute Error):

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} \quad (7)$$

İstatistiklerde, ortalama mutlak hata (MAE), iki sürekli değişken arasındaki farkın bir ölçüsüdür. Yukarıdaki denklemde x ve y aynı süreci ifade eden farklı değişkenlerdir. Bu değişkenlere; gözlemlere karşı tahmin edilenler, önceki zamana karşı sonraki zaman ve bir ölçüm tekniğine karşı alternatif ölçüm tekniği örnek olarak gösterilebilir.

2.3.6. Ortalama Yanlılık Hatası (MBE: Mean Bias Error):

$$\text{MBE} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{n} \quad (8)$$

Ortalama yanlılık hatası genellikle modeldeki ortalama yanlılığı tahmin etmek ve model yanlılığını düzeltmek için herhangi bir adım atılması gerekip gerekmediğine karar vermek amacıyla kullanılır. Ortalama yanlılık hatası (MBE) tahmindeki ortalama yanlılıkları yakalar. Bir değişkendeki (yağış değeri gibi) pozitif bir yanlılık veya hata, veri kümelerindeki değerlerin yüksek tahmin edildiğini belirtir.

2.3.7. Korelasyon Katsayısı (r):

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (9)$$

Korelasyon, olasılık kuramı ve istatistikte iki rassal değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve gücünü belirtir. Genel istatistiksel kullanımda korelasyon, bağımsızlık durumundan ne kadar uzaklaştığını gösterir. Farklı durumlar için farklı korelasyon katsayıları geliştirilmiştir. Bunlardan en iyi bilineni Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısıdır. İki değişkenin kovaryansının, yine bu değişkenlerin standart sapmalarının çarpımına bölünmesiyle elde edilir.

2.3.8. Determinasyon Katsayısı (d):

İstatistikte R² veya r² ile de belirtilen ve “R kare” olarak da bilinen Determinasyon katsayısı (d), bağımsız değişkenlerden tahmin edilebilen bağımlı değişkenlerdeki varyansın oranıdır.

$$d = r_{xy}^2 \quad (10)$$

2.3.9. Nash-Sutcliffe Model Etkinlik Katsayısı (E):

Etkinlik katsayısı (E), hidrolojik modellerin tahmin gücünü değerlendirmek için kullanılan bir ölçüttür. -∞ ile 1 aralığında değer alır. Bu ölçütte 1 değeri, gözlenen verilerle modelin mükemmel derecede uyumlu olduğunu ifade etmektedir.

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11)$$

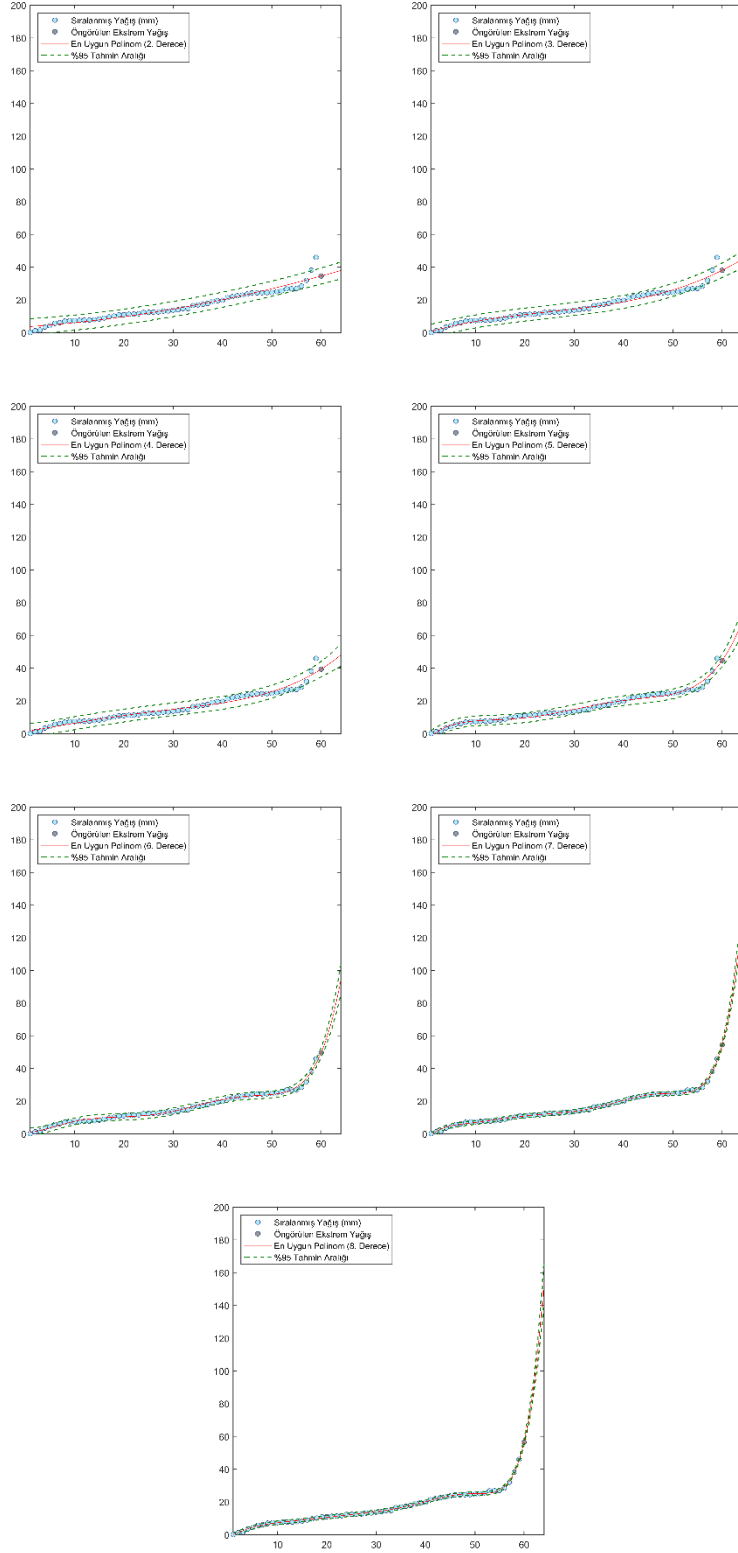
2.3.10. En Büyük Mutlak Hata (MaxAE: Maximum Absolute Error):

Bir veri setindeki tahmin edilen değerlerle, gözlem değerleri arasındaki farkların mutlak değerce en büyüğüdür.

2.3.11. Ortalama Mutlak Ölçekli Hata (MASE: Mean Absolute Scaled Error):

Ortalama mutlak ölçekli hata, istatistiklerde tahmin edilen değerlerin kesinliğinin bir ölçütüdür. Tahmin edilen değerlerin kesinliğini ölçmek için, bu değerlerin mevsimsel zaman serileri ve mevsimsel olmayan zaman serilerine ait olması durumlarına göre iki ayrı denklem kullanır.

Mevsimsel olmayan zaman serileri;



Şekil 4: Denizli istasyonu Mayıs ayı verileri için 2. dereceden 8. dereceye kadar en uygun polinomlar ve öngörülen yağışlar.
Figure 4: The most suitable polynomials ranging from the 2nd to the 8th degree and the projected rainfall data for the month of May at the Denizli station.

Pol.Drc.:	2	3	4	5	6	7	8
p1	0,0051	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
p2	0,2114	-0,0227	-0,0005	-0,0002	0,0000	0,0000	0,0000
p3	3,5436	0,8835	0,0068	0,0113	0,0007	0,0001	0,0000
p4		0,0428	0,4830	-0,2622	-0,0193	-0,0024	-0,0001
p5			1,3348	2,8681	0,2073	0,0492	0,0011
p6				-3,9973	-0,0970	-0,5565	-0,0073
p7					0,9544	3,5493	-0,0727
p8						-3,8474	1,7255
p9							-1,8744
Max	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00
EstMax	33,81	36,67	37,59	40,79	43,22	45,07	45,65
EstNextMax	34,63	38,13	39,43	44,76	49,71	54,51	56,48
PredIntU(n)	38,68	40,97	42,03	44,20	45,69	46,50	46,93
PredIntL(n)	28,95	32,37	33,15	37,38	40,75	43,65	44,38
PredIntU(n+1)	39,54	42,55	44,15	48,58	52,70	56,40	58,39
PredIntL(n+1)	29,73	33,71	34,71	40,94	46,72	52,62	54,58
Tüm Seriler İçin Uygunluk Ölçütleri:							
MSE	4,8926	3,4642	3,3321	1,7787	0,8545	0,2610	0,1937
NMSE	0,0569	0,0403	0,0388	0,0207	0,0099	0,0030	0,0023
RMSE	2,2119	1,8612	1,8254	1,3337	0,9244	0,5109	0,4401
NRMSE	0,2386	0,2007	0,1969	0,1438	0,0997	0,0551	0,0475
MAE	1,3296	1,2035	1,2717	0,9881	0,7345	0,3744	0,3560
MARE	0,7554	0,2150	0,3877	0,3244	0,2222	0,1946	0,0898
r	0,9706	0,9793	0,9801	0,9894	0,9949	0,9985	0,9989
d	0,9421	0,9590	0,9606	0,9790	0,9899	0,9969	0,9977
E	0,9421	0,9590	0,9606	0,9790	0,9899	0,9969	0,9977
MaxAE	12,1867	9,3305	8,4103	5,2058	2,7793	1,4264	1,3515
MASE	1,6801	1,5208	1,6069	1,2485	0,9281	0,4730	0,4498

Şekil 5: Denizli İstasyonu Mayıs ayı verileri kullanılarak elde edilen sonuç tablosu.

Figure 5: The result table obtained using the May data from the Denizli station.

Geliştirilen yazılım, elde edilen sonuçları Şekil 5'te Denizli istasyonunda Mayıs ayı için elde edilen sonuçlarda olduğu gibi çıktı dosyasına kaydeder. Çıktı dosyasında sırasıyla, gözlem serilerine en iyi uyum gösteren 2. dereceden 8. dereceye kadar polinomların katsayıları (p1-p9); raporlanan ay içinde gözlenmiş en yüksek yağış değeri (Max); en iyi uyan polinomlar kullanılarak, gözlenmiş en yüksek yağış değeri için belirlenen maksimum yağış tahmin değeri (EstMax); polinomlara ekstrapolasyon uygulanarak belirlenen ve gözlenmiş tüm yağışlardan daha yüksek olarak gerçekleşmesi beklenen yağış tahmini (EstNextMax); gözlenmiş maksimum yağış tahmini için kullanılan %95 güven düzeyindeki alt ve üst tahmin sınırları

(PredIntU(n) ve PredIntL(n)) ve öngörülen maksimum yağış için kullanılan %95 güven düzeyindeki alt ve üst tahmin sınırları (PredIntU(n+1) ve PredIntL(n+1)) bulunur. Bu değerlerin alt tarafında, belirlenen her polinom için, gözlem değerleri ile bu gözlem değerlerine karşı gelen polinom değerleri arasında hesaplanan ve detayları 2.3 bölümünde verilmiş olan 11 farklı istatistiksel uygunluk ölçütünün değeri yer alır. İkinci dereceden sekizinci dereceye kadar tüm polinomlar için hesaplanan bu istatistiksel performans ölçütlerinin en uygun değerleri yeşil, en uyumsuz değerleri de kırmızı fonla gösterilmiştir. Elde edilen istasyonun performans ölçütleri incelendiğinde en uygun çözümün 8. derece, en uyumsuz çözümün de 2. derece polinomla

elde edildiği görülmektedir ancak sonuçlar istasyonlara göre farklılık göstermekte ve bazı istasyonlar için daha düşük dereceli polinomlar en uygun çözümü verebilmektedir.

İncelenen Denizli istasyonu için Mayıs ayının 59 yıllık verilerine göre gözlenen en yüksek yağış olan 46 mm değeri, 6., 7. ve 8. derece polinomlar tarafından sırası ile 43.22, 45.07 ve 45.65 mm olarak tahmin edilmiştir (Şekil 5, EstMax satırı). Beklenen sonraki aylık maksimum yağış değeri de sırası ile 49.71, 54.51 ve 56.48 mm olarak öngörülmüştür. Hesaplanan istatistiksel performans ölçütlerine göre sıralanmış veri serisine en iyi uyan 8. Dereceden polinom kullanılarak öngörülen maksimum aylık yağış yüksekliği değeri Mayıs ayı için 56.48 mm olmaktadır. Bu işlem süreci, incelenen istasyonun diğer aylardaki veri serilerine de uygulanmakta ve Mayıs ayı için Şekil 5'te verilen tüm hesap sonuçları diğer aylar için de elde edilmektedir. Ayrıca, incelenen diğer istasyonların tüm verileri için yukarıda anlatılan tüm süreçler tekrarlanmakta ve her istasyon için sonuçlar yazılım tarafından otomatik olarak ayrı ayrı elde edilmektedir.

17237 Numaralı Denizli istasyonu için, gözlenmiş ve tahmin edilmiş en yüksek aylık yağış yüksekliği değerlerinin aşılma olasılıkları, en uygun dağılımlardan faydalanılarak yılın her ayı için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 2). En uygun dağılımların parametreleri ve 1960-2018 yılları aralığındaki 59 yılda gözlenen maksimum yağış değerleri ile gelecekte oluşması beklenen ekstrem değerlerin aşılma olasılıkları EasyFit yazılımıyla belirlenmiş ve Tablo 2'de sunulmuştur. Yazılım, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling ve Ki-Kare testlerini kullanarak en uygun dağılımları belirlemekte ve 55 farklı dağılım için test

yaparak dağılımları test skorlarına göre sıralamaktadır. Testlerde en yüksek skorları alan dağılımlar en uygun dağılım olarak değerlendirilmekte ve en uygun dağılımın parametreleri kullanılarak istenen değerler için aşılma olasılıkları belirlenmektedir. Tabloda görülen aşılma olasılığı değerleri ilgili gözlem ve tahminin 100 yıllık bir sürede ilgili ayda aşılma olasılığıdır. Örneğin, Denizli istasyonunda incelenen 59 yıllık süre içinde Ocak ayında gözlenmiş en yüksek yağış 76.4 mm'dir ve bu yağışın aşılma olasılığı % 2 iken aynı istasyonda Mart ayında gözlenen en yüksek yağış değerinin (77.6 mm) aşılma olasılığı % 0.1'dir. Gözlenmiş herhangi bir ekstrem değer için dönüş aralığı, modellemelerde dikkate alınan gözlem süresine çoğunlukla eşit değildir. Bu durum, sonuçları sunulan Denizli istasyonu için de geçerlidir ve bazı aylarda gözlenmiş gerçek değerlerin hesaplanan aşılma olasılıkları, dikkate alınan süre 59 yıl olmasına rağmen, oldukça düşüktür. Geliştirilen yazılımla tahmin edilen gelecekte oluşması beklenen ekstrem aylık toplam yağış değerleri için hesaplanan aşılma olasılığı değerleri de aşırı olayların dönüş olayları hakkında ön bilgi sağlamaktadır. Bazı tahminler için dönüş aralıkları çok uzun görünüyorsa da, incelenen periyotta gözlenen aşırı yağış olayları, tahmin edilen yağışların, özellikle artan küresel ısınmaya bağlı olarak yağış şiddetlerindeki artış nedeniyle, beklenenden daha erken gelebileceğini düşündürmektedir.

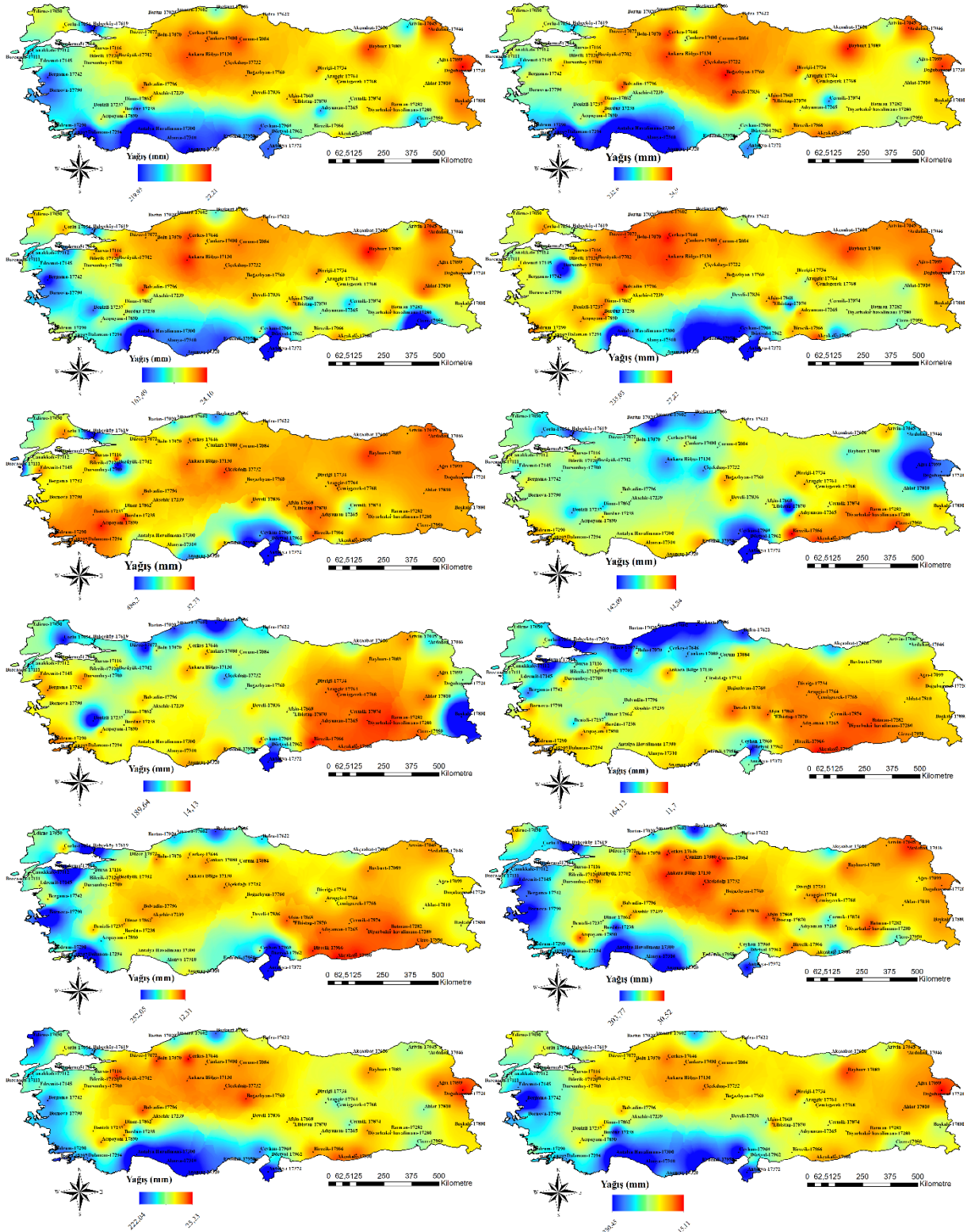
Tüm istasyonlar için, daha önce gözlenmiş tüm aylık yağış değerlerini aşacak şekilde gelecekte oluşması öngörülen aylık maksimum yağış yüksekliği değerleri kullanılarak her ay için ayrı ayrı tahmin haritası oluşturulmuş ve Şekil 6'da sunulmuştur. Haritalar sol üst köşede Ocak, sağ alt köşede Aralık ayı tahminleri olacak şekilde sıralanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Ocak,

Tablo 2: Denizli İstasyonunda gözlenmiş aylık toplam yağışların en uygun dağılımları, dağılım parametreleri ve gözlenmiş ve gelecekte gerçekleşmesi tahmin edilen ekstrem aylık toplam yağışların yılın her ayı için belirlenmiş aşılma olasılıkları.

Table 2: The best-fit distributions and distribution parameters for the observed monthly total rainfall at the Denizli station, along with the probabilities of exceeding the observed and forecasted extreme monthly total precipitation for each month of the year.

	En Uygun Dağılım	Parametreler	X1*	P(X>X1)	X2*	P(X>X2)
OCAK	Gen. Lojistik	$\kappa = 0.202, \sigma = 8.734, \mu = 24.476$	76.4	2.0%	84.7	1.3%
ŞUBAT	Lognormal (3P)	$\sigma = 0.344, \mu = 3.596, \gamma = -14.374$	72.8	0.6%	82.3	0.2%
MART	Lognormal (3P)	$\sigma = 0.432, \mu = 3.081, \gamma = -3.219$	77.6	0.1%	96.4	0.0%
NİSAN	Log-Lojistik (3P)	$\alpha = 5.187, \beta = 30.832, \gamma = -12.826$	46.4	3.3%	48.0	2.8%
MAYIS	Gen. Gamma (4P)	$\kappa = 2.066, \alpha = 0.857, \beta = 20.765, \gamma = -0.809$	46.0	0.3%	56.5	0.0%
HAZİRAN	Wakeby	$\alpha=0, \beta=0, \gamma=11.68, \delta=0.04$	62.0	0.8%	77.4	0.3%
TEMMUZ	Wakeby	$\alpha=11.594, \beta=0.249, \gamma=0.645, \delta=0.77$	105.6	0.3%	140.5	0.2%
AĞUSTOS	Dagum	$\kappa = 0.13, \alpha = 4.67, \beta = 22.316$	50.0	0.3%	66.2	0.1%
EYLÜL	Weibull	$\alpha=0.625, \beta=7.553$	36.6	6.8%	39.2	6.1%
EKİM	Wakeby	$\alpha = 41.345, \beta = 2.001, \gamma = 2.417$	61.7	0.9%	73.3	0.5%
KASIM	Gen. Lojistik	$\kappa = 0.078, \sigma = 6.632, \mu = 21.793$	54.9	1.5%	60.3	0.8%
ARALIK	Wakeby	$\alpha = 192.13, \beta = 10.793, \gamma = 20.147$	73.2	2.3%	76.0	1.8%

*X1: Gözlenmiş en yüksek aylık toplam yağış değeri (mm); X2:



Şekil 6: Türkiye’de yılın farklı aylarında (Ocak sol üst, Aralık sağ alt köşede) beklenen maksimum aylık toplam yağış değerleri. Çalışma kapsamında geliştirilen yazılım aşağıdaki linkten ücretsiz olarak indirilebilir ve araştırma amacıyla kullanılabilir. Yazılım, GNU Genel Kamu Lisansı kapsamında sunulmaktadır:

<https://www.dropbox.com/s/3owosgr966x90v3/PolRegTR.m?dl=0>

Figure 6: The expected maximum monthly total rainfall values for different months of the year in Turkey (January in the top left, December in the bottom right corner).

Şubat ve Mart aylarında özellikle Ege ve Akdeniz kıyı bölgelerinde; Nisan'da Batı Akdeniz'de, Mayıs'ta Hatay ve İstanbul civarında; Haziran'da yine Hatay'da ve ayrıca Ağrı'da ve Batı Karadeniz kıyılarında; Temmuz'da Hatay, Hakkari, Batı Karadeniz ve Kuzey Marmara'da; Ağustos'ta Orta ve Batı Karadeniz ile Güney Marmara ve İstanbul civarında; Eylül'de Marmara Bölgesinde ve Ege Bölgesinin batı kesimlerinde; Ekim'de Marmara ve Batı Ege ile birlikte Ayrıca Batı Akdeniz'de ve son olarak Kasım ve Aralık aylarında ise azalmakla birlikte batı Marmara ve Ege Bölgeleriyle birlikte artan şiddette Akdeniz Bölgesi'nin tamamında yüksek yağış değerlerinin oluşabileceği görülmektedir. Bu tahminler ayrıca hangi bölgede, hangi ayda, hangi şiddette yağış oluşabileceği konusunda da önemli tahminler sunmaktadır ve daha önce yapılan bilimsel çalışmalarda (Erlat, 1996; Koç & İrdem, 2007) elde edilen sonuçlarla uyum göstermekle birlikte aylık toplam yağışların hangi değerlere kadar yükselebileceği konusunda da öngörü sunmaktadır. İncelemelerde kullanılan veri seti 2018 yılına kadar yapılmış olan yağış gözlemlerini kapsamaktadır ve 2018 yılından sonra da ülkemizde aşırı yağış olayları ve taşkın olayları bazı bölgelerde daha önce hiç gözlenmemiş yağış değerlerine ulaşılacak şekilde gerçekleşmiştir. Özellikle 10-11 Ağustos 2021 tarihlerinde Bartın'da gerçekleşen yağışlar Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Standart Zamanlardaki Ekstrem Yağışlar (<https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/maksimum-yagislar.aspx>) listesine girmiştir ve çalışmamızda elde edilen sonuçlara göre Ağustos ayında en yüksek yağışların beklendiği bölge Bartın'ın da bulunduğu Batı Karadeniz Bölgesi'dir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye geneline yayılmış 66 farklı istasyonun aylık toplam yağış değerlerinden faydalanılarak, gelecekte oluşması olası maksimum yağış değerleri, tüm istasyonlarda yılın her ayı için tahmin edilmiştir. Bu amaçla, istasyonların verileri yılın her ayı için ayrı ayrı sıralanmış ve bu sıralanmış verilere en iyi uyan 2. dereceden 8. dereceye kadar polinomlar geliştirilen yazılımla belirlenmiştir. Belirlenen polinomlar arasında, incelenen veri setine en iyi uyan polinom da hesaplanan 11 farklı istatistiksel ölçütle tespit edilmiş ve bu polinomlardan faydalanarak şimdiye kadar gözlenmiş tüm yağış değerlerini aşacak şekilde gelecekte oluşması muhtemel toplam yağış değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen tahminler her ay için ayrı ayrı değerlendirilerek, hangi bölgede hangi ayda hangi şiddette yağışın oluşma ihtimali olduğunu gösteren haritalar oluşturulmuştur. Son yıllarda gözlenen aşırı yağışlar, elde edilen sonuçların gözlenen aşırı yağışları doğru şekilde öngördüğünü göstermektedir. Çalışmanın bulgularının, ilgili bölgelerde su

kaynaklarıyla ilgili çalışmalar yürüten kurumlara faydalı olacağı düşünülmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- F.D., O.K.; Veri Toplama- O.K., F.D.; Veri Analizi/Yorumlama- O.K., F.D.; Yazı Taslağı- F.D., O.K.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- F.D., O.K.; Son Onay ve Sorumluluk- F.D., O.K.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- F.D., O.K.; Data Acquisition- O.K., F.D.; Data Analysis/Interpretation- O.K., F.D.; Drafting Manuscript- F.D., O.K.; Critical Revision of Manuscript- F.D., O.K.; Final Approval and Accountability- F.D., O.K.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

KAYNAKÇA/REFERENCES

- Acock, M. C., & Pachepsky, Y. A. (2000). Estimating missing weather data for agricultural simulations using group method of data handling. *Journal of Applied Meteorology*, 39(7), 1176-1184. doi:Doi 10.1175/1520-0450(2000)039<1176:Emwdfa>2.0.Co;2
- Adnan, S., Ullah, K., & Shouting, G. (2016). Investigations into precipitation and drought climatologies in south central Asia with special focus on Pakistan over the period 1951-2010. *Journal of Climate*, 29(16), 6019-6035. doi:10.1175/JCLI-D-15-0735.1
- Bacanli, U., Dikbaş, F., & Baran, T. (2008). *Drought analysis and a sample study of Aegean Region*. Paper presented at the Sixth International Conference on Ethics and Environmental Policies, Padova.
- Bahadır, M. (2014). Samsun'da Meydana Gelen 4 Temmuz ve 6 Ağustos 2012 Taşkınlarının Klimatik Analizi. *Coğrafya Dergisi*, 0(29), 28-50.
- Beguiria, S., & Vicente-Serrano, S. M. (2006). Mapping the hazard of extreme rainfall by peaks over threshold extreme value analysis and spatial regression techniques. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45(1), 108-124. doi:10.1175/JAM2324.1
- Block, P., & Rajagopalan, B. (2007). Interannual variability and ensemble forecast of upper Blue Nile basin Kiremt season precipitation. *Journal of Hydrometeorology*, 8(3), 327-343. doi:10.1175/JHM580.1
- Castro-Gama, M. E., Popescu, I., Li, S., Mynett, A., & van Dam, A. (2014). Flood inference simulation using surrogate modelling for the Yellow River multiple reservoir system. *Environmental Modelling & Software*, 55, 250-265. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.02.002
- Dikbaş, F. (2018). A New Two-Dimensional Rank Correlation Coefficient. *Water Resources Management*, 32(5), 1539-1553. doi:10.1007/s11269-017-1886-0
- Dikbaş, F. (2017). A novel two-dimensional correlation coefficient for assessing associations in time series data. *International Journal of Climatology*, 37(11), 4065-4076. doi:https://doi.org/10.1002/joc.4998

- Erlat, E. (1996). Türkiye’de Günlük Yağışların Şiddeti Üzerine Bir İnceleme. *Ege Coğrafya Dergisi*, 9(1).
- Firat, M., Dikbaş, F., Koç, A. C., & Gungor, M. (2012). Classification of Annual Precipitations and Identification of Homogeneous Regions using K-Means Method. *Teknik Dergi*, 23(3), 6037-6050. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000306730200004
- George, J., Janaki, L., & Parameswaran Gomathy, J. (2016). Statistical Downscaling Using Local Polynomial Regression for Rainfall Predictions – A Case Study. *Water Resources Management*, 30(1), 183-193. doi:10.1007/s11269-015-1154-0
- Goodale, C. L., Aber, J. D., & Ollinger, S. V. (1998). Mapping monthly precipitation, temperature, and solar radiation for Ireland with polynomial regression and a digital elevation model. *Climate Research*, 10(1), 35-49. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0031870942&partnerID=40&md5=b0f1b3d5332ff4a32b548a26fe82ba72>
- Gülten, İ., & Ataoğlu, M. (2014). Türkiye’de Yıllık Ortalama Sıcaklıklar ile Yağışlarda Eğilimler ve NAO Arasındaki İlişkileri (1975-2009). *Coğrafya Dergisi*(28), 55-68.
- Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., . . . Iguchi, T. (2014). The global precipitation measurement mission. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), 701-722. doi:10.1175/BAMS-D-13-00164.1
- Hwang, Y., Clark, M., Rajagopalan, B., & Leavesley, G. (2012). Spatial interpolation schemes of daily precipitation for hydrologic modeling. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 26(2), 295-320. doi:10.1007/s00477-011-0509-1
- İrcan, M. R., & Duman, N. (2021). Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) Yöntemi ile Şanlıurfa İli Kuraklık Analizi. *Coğrafya Dergisi*(42), 1-18.
- Jayawardena, A. W., & Lai, F. (1994). Analysis and prediction of chaos in rainfall and stream flow time series. *Journal of Hydrology*, 153(1-4), 23-52. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90185-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(94)90185-6)
- Jones, W. R., Spence, M. J., Bowman, A. W., Evers, L., & Molinari, D. A. (2014). A software tool for the spatiotemporal analysis and reporting of groundwater monitoring data. *Environmental Modelling & Software*, 55, 242-249. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.01.020>
- Kent, C., Chadwick, R., & Rowell, D. P. (2015). Understanding Uncertainties in Future Projections of Seasonal Tropical Precipitation. *Journal of Climate*, 28(11), 4390-4413. doi:10.1175/JCLI-D-14-00613.1
- Knox, J. C. (1993). Large increases in flood magnitude in response to modest changes in climate. *Nature*, 361(6411), 430-432. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/361430a0>
- Koç, T., & İrdem, C. (2007). Türkiye’de yağışların şiddet bakımından zamansal ve alansal değişkenliği. *Türk Coğrafya Dergisi*(49), 1-42.
- Koç, O. (2019). *Polinomiyal regresyonla gelecekteki maksimum yağışların tahmini*. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütüphane, 2019.
- Küleçioğlu, T., & Fıstıkoğlu, O. (2022). İstasyon Bazlı Günlük Maksimum Yağışlar İle Büyük Ölçekli Atmosferik Parametreler Arasındaki İlişkilerin Araştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 24(72), 901-912.
- Leconte, J., Forget, F., Charnay, B., Wordsworth, R., & Pottier, A. (2013). Increased insolation threshold for runaway greenhouse processes on Earth-like planets. *Nature*, 504(7479), 268-271. doi:10.1038/nature12827
- Meyers, L. S., Gamst, G., & Guarino, A. J. (2016). *Applied Multivariate Research: Design and Interpretation*: SAGE Publications.
- Porporato, A., & Ridolfi, L. (1998). Influence of weak trends on exceedance probability. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 12(1), 1-14. doi:10.1007/s004770050006
- Reager, J. T., & Famiglietti, J. S. (2009). Global terrestrial water storage capacity and flood potential using GRACE. *Geophysical Research Letters*, 36(23). doi:10.1029/2009GL040826
- Sarış, F., & Gedik, F. (2021). Konya Kapalı Havzası’nda Meteorolojik Kuraklık Analizi. *Coğrafya Dergisi*(42), 295-308.
- Sivakumar, B. (2000). Chaos theory in hydrology: Important issues and interpretations. *Journal of Hydrology*, 227(1-4), 1-20. doi:10.1016/S0022-1694(99)00186-9
- Sivakumar, B., Liong, S. Y., Liaw, C. Y., & Phoon, K. K. (1999). Singapore rainfall behavior: Chaotic? *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(1), 38-48. doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:1(38)
- Stefanescu, V., Stefan, S., & Georgescu, F. (2014). Spatial distribution of heavy precipitation events in Romania between 1980 and 2009. *Meteorological Applications*, 21(3), 684-694. doi:10.1002/met.1391
- Tian, D., Martinez, C. J., Graham, W. D., & Hwang, S. (2014). Statistical Downscaling Multimodel Forecasts for Seasonal Precipitation and Surface Temperature over the Southeastern United States. *Journal of Climate*, 27(22), 8384-8411. doi:10.1175/JCLI-D-13-00481.1
- Türkeş, M., Koç, T., & Sarış, F. (2007). Türkiye’nin Yağış Toplamı ve Yoğunluğu Dizilerindeki Değişikliklerin ve Eğilimlerin Zamansal ve Alansal Çözümlemesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(1), 57-73.
- Wilks, D. S. (2012). Projecting “Normals” in a Nonstationary Climate. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(2), 289-302. doi:10.1175/JAMC-D-11-0267.1
- Yılmaz, E. (2020). Türkiye’de Thornthwaite İklim İndislerindeki Eğilimler. *Coğrafya Dergisi*(40), 163-185.
- Zhang, Q., Xu, C.-Y., Tao, H., Jiang, T., & Chen, Y. D. (2009). Climate changes and their impacts on water resources in the arid regions: a case study of the Tarim River basin, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24(3), 349-358. doi:10.1007/s00477-009-0324-0

