

Standartlaştırılmış yağış indeksi hesabında kullanılan dağılım fonksiyonu etkisinin ve kuraklık karakteristiklerinin araştırılması

Investigation of the effect of the distribution function used in the calculation of the standardized precipitation index and the drought characteristics

Okan Mert KATIPOĞLU^{*1,a}, Reşat ACAR^{2,b}

¹ Erzinçan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 24100, Erzinçan

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25100, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 20.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 06.05.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 18.05.2021

Öz

Yağışın tipi ve yapısı; yükseklik, yer şekilleri, bitki örtüsü, deniz akıntıları, denize yakınlık ve uzaklık gibi parametrelere göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle yağış verilerinin tek bir dağılım ile ifadesi oldukça zordur. Yapılan çalışmada yağış verilerine hidrolojide sıkça kullanılan Gamma, Lognormal, Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (GED), Weibull, Normal, Lojistik, Loglojistik dağılımları uydurularak elde edilen Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) ve Gamma SYİ değerlerinin hesaplanması ve bu değerlere run teorisi uygulanarak elde edilen kuraklık karakteristiklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yağış verilerine en iyi uyan olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenmesinde Kolmogorov-Smirnov (K-S), Anderson-Darling (A-D) ve Ki-kare (χ^2) testleri ve grafiksel metotlar kullanılmıştır. Analizler sonucunda, Fırat havzasındaki yağışları GED dağılımının, Gamma dağılımından daha iyi temsil ettiği ve hesaplanan SYİ değerlerinde ortalama %2 sapma meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca havzada şiddetli ve uzun süreli kuraklıklar dikkat çekmektedir. Bu sebeple havzada kuraklık önlemlerinin alınması, kuraklık azaltma stratejilerinin geliştirilmesi ve sürekli bir şekilde uygulanması, su tasarrufunun sağlanması, kurak dönemlerde sigorta görevi gören yeraltı sularının korunması, sulama sistemlerinin modernleşmesi ve iklim değişikliğine karşı tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Dağılım fonksiyonları, Kuraklık karakteristikleri, Runs teorisi, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ), Uygunluk testleri

Abstract

The type and structure of rainfall varies according to various parameters such as altitude, geographical formations, vegetation, sea currents, proximity and distance to the sea. Thus, it is very difficult to explain precipitation data with a single distribution. In the study, Standardized Precipitation Index (SPI) values were obtained by fitting Gamma, Lognormal, Generalized Extreme Value (GED), Weibull, Normal, Logistic, Loglogistic distributions to the precipitation data. It is aimed to compare the drought characteristics obtained by applying run theory to these SPI and Gamma SPI values. Kolmogorov-Smirnov (K-S), Anderson-Darling (A-D) and Chi-square (χ^2) tests and graphical methods were used to determine the probability density function that best fits the precipitation data. As a result of the analysis, it was specified that the GED distribution represented the precipitation in the Euphrates Basin better than the Gamma distribution and that there was an average deviation of 2% in the calculated SPI values. In addition, severe and prolonged droughts are remarkable in the Basin. For this reason, it is necessary to take drought measures in the basin, to develop and continuously implement drought reduction strategies, to save water, to protect groundwater that serves as insurance in dry periods, to modernize irrigation systems and to take precautions against climate change.

Keywords: Distribution function, Drought characteristics, Theory of Runs, Standardized Precipitation Index (SPI), Goodness of fit test

*a Okan Mert KATIPOĞLU; okatipoglu@erzincan.edu.tr; Tel: (0539) 864 60 25; orcid.org/ 0000-0001-6421-6087

^b orcid.org/ 0000-0002-0653-1991

1. Giriş

Yeşil alanda azalma, fosil yakıtla çalışan motorlu taşıtlar ve nüfusta artma havadaki karbondioksit (CO₂) oranının artışına neden olmaktadır. Bu artış küresel ısınma kaynaklı iklimsel değişimlere sebebiyet verebilmektedir (Öztürk, 2002). Dolayısıyla dünyada ve ülkemizde yaşanan taşkın ve kuraklık gibi doğal felaketlerin görülme sıklıkları ve şiddetlerinde artışlar meydana gelmektedir. Kuraklık; toplumsal refah, sağlık, tarım, turizm ve ekonomi gibi bir çok alanı olumsuz yönde etkilemesi açısından en önemli doğal afet arasında yer almaktadır. Kuraklığın diğer afetlerden en önemli farkı; daha fazla insanı etkilemesi ve takibinin zor olmasıdır (Pamuk vd., 2004; İçel, 2014).

Kuraklıklar genel olarak; meteorolojik kuraklık, hidrolojik kuraklık ve tarımsal kuraklık olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Meteorolojik kuraklık, bir bölgede uzun süreli (ay, mevsim veya yıl) yıllık yağışın normalden az olduğu bir durum olarak tanımlanır. Toprakta bitkinin ihtiyacı karşılayacak miktarda su bulunmaması olarak tanımlanan tarımsal kuraklık nem kaybı ve su kaynaklarında kıtlık olduğu zaman meydana gelir. Hidrolojik kuraklık yeraltı su kaynakları, yüzey suları veya yağış periyotlarının etkisi ile ilişkilidir (Kapluhan 2013). Uzun ve şiddetli seyreden hidrolojik ve tarımsal kuraklıkların ortaya çıkması doğrudan meteorolojik kuraklığın etkili olduğu söylenebilir. Kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde yağış değişkenliği çok fazla olduğu için (Shadeed ve Masri, 2007) bu iklim bölgelerinde kuraklık olayları daha büyük ekolojik ve ekonomik kayıplara neden olabilir.

Kuraklıkların izlenmesi ve görülebilecek olumsuz etkilere karşı önlem alınabilmesi için birçok kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Bu indeksler arasında Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) en çok kullanılan ve genel geçer kabul gören bir indekstir (Gümüş vd. 2016; Bacanlı ve Kargı, 2019; Yüce ve Musa, 2020). Bu indeks için ihtiyaç duyulan tek meteorolojik değişkenin yağış olması, uygulamasının kolay olması, güvenilir olması çeşitli zaman periyotlarında (1, 2, 3,..., 24 ay) hesaplanabilmesi yani meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkları hesaplayabilmesi nedeniyle tercih sebebidir (Edwards, 1997; Wu vd., 2001).

SYİ hesap prosedürünün temel adımı belirli bir zaman ölçeğinde toplanan yağış miktarının kümülatif olasılığını tahmin etmektir. Bu nedenle SYİ sonuçlarına olan güven, yağış verilerine uydurulan dağılıma bağlıdır (Wu vd., 2005; 2007;

Siens vd., 2012; Stagge vd., 2015). López-Moreno ve Vicente-Serrano (2008) gamma dağılımının her zaman en uygun seçenek olmayabileceğini gösteren kanıtlar sunmuştur. Ayrıca gamma dağılımı, yalnızca iki serbest parametreye sahip olduğundan, farklı zaman ölçeklerinde toplanan yağış verileri için en iyi uyum iyiliğini vermeyebilir (Wu vd., 2007).

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan öne çıkanları şu şekildedir; SYİ'yi ilk olarak McKee vd. (1993) tarafından geliştirildiği çalışmada, bölgesel kuraklıkları tanımlamak ve izlemek amacıyla kullanmıştır. Yeğnidemir (2005), İç Anadolu Bölgesi'nin SYİ değerlerini hesaplamış ve bölgesel kuraklık haritaları elde etmiştir. Shukla and Wood (2008) çalışmalarında, Kaliforniya'da bulunan Feather Havzasında Standartlaştırılmış Akım İndeksi (SAİ) ve Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) değerleri aracılığıyla kurak analizi yapmışlardır. Küçükyaman (2010) çalışmasında, Kovada gölünün kuraklık durumunu hidrolojik ve meteorolojik olarak incelemiştir. Oğuztürk (2010) çalışmasında, Kızılırmak Havzası'nda SYİ metodu ile kuraklık analizi yapılmıştır. SYİ değerlerine ait kuraklık karakteristikleri (kuraklık süresi, genliği ve şiddeti) ve bunların birbirleri ile olan ilişkileri araştırılmıştır. Naresh Kumar vd. (2011) çalışmalarında, Hindistan'daki kuraklığın zamansal ve mekânsal analizi için SYİ değerlerinden faydalanmışlardır. Temel (2019) çalışmasında, Gediz Havzası'nda kuraklıkları, hidrolojik açıdan Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) ve meteorolojik açıdan da SYİ ile değerlendirmiştir. Özfidaner ve Topaloğlu (2020) çalışmalarında, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde SYİ ile meteorolojik kuraklıkları analiz etmişlerdir. Topçu ve Karaçor (2021) çalışmasında Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SYEİ) ve Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) yöntemleri ile Erzurum istasyonunda kuraklık analizi ve trend analizi yapmışlardır.

SYİ değerlerinin hesaplanmasında dağılım fonksiyonun seçilmesi üzerine yapılan çalışmalardan önde gelenlere örnek olarak: Guttman (1999) farklı olasılık dağılımlarını denemiş ve Pearson tip III dağılımının SYİ hesaplaması için en iyi modeli sağladığı sonucuna varmıştır. Angelidis vd. (2012) çalışmalarında, farklı (1, 3, 6, 12 ve 24 ay) zaman periyotlarında yağış verilerine normal ve log-normal dağılımlar uydurarak SYİ değerlerini hesaplamışlardır. 12 veya 24 aylık SYİ hesabında kolaylık olması açısından, log-normal veya normal dağılımın

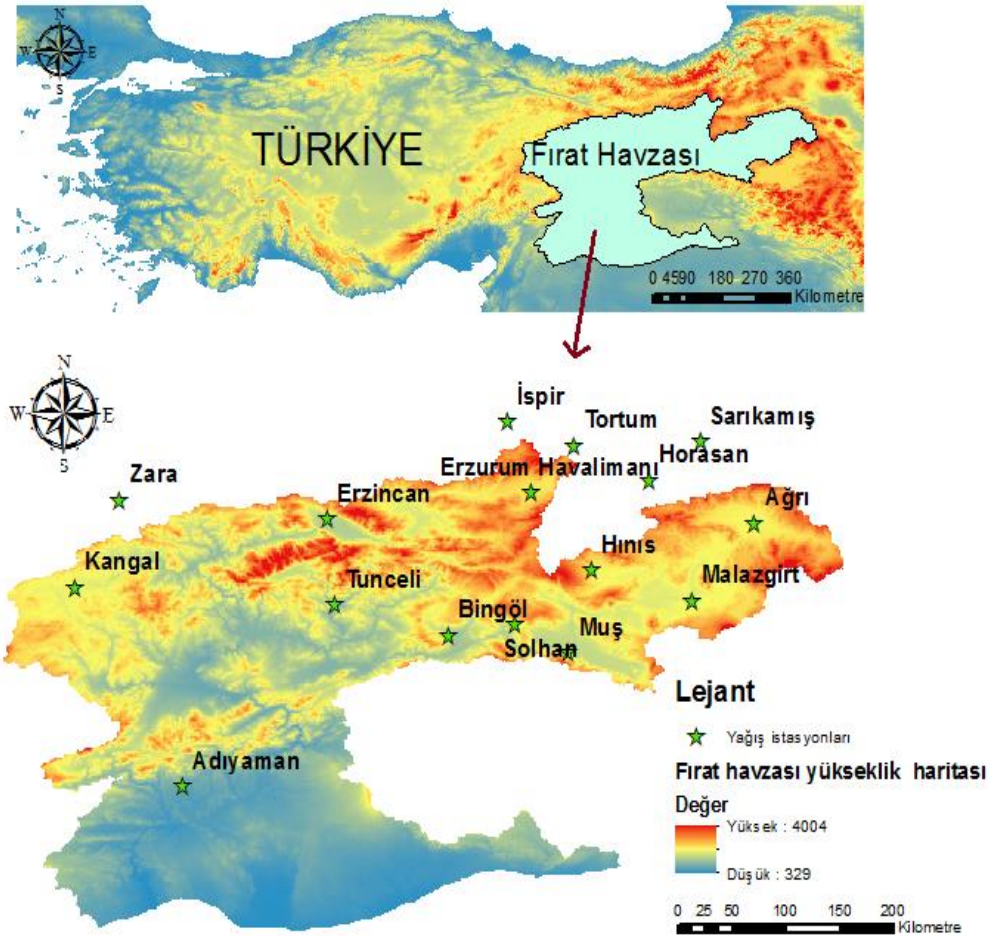
gamma yerine kullanılabilceği ve yakın sonuçlar ürettiği sonucuna varılmıştır. Tosunoğlu (2014) çalışmasında, SYİ hesabında kullanılan aylık ortalama yağış verilerine uydurulan gamma dağılımının yetersiz kaldığı için alternatif dağılımlar kullanılarak hesaplanmaların yapılması gerektiğini ifade etmiştir. Blain ve Meschiatti (2015) çalışmalarında, SYİ metodu için kullanılan 2 parametrelili gamma dağılımı, 1 ila 24 aylık zaman periyotlarında Rio Grande do Sul'daki Pelotas hava istasyonunda elde edilen yağış verilerini temsil etmede yeterli olmadığını göstermişlerdir.

Bu çalışmada en uygun dağılım fonksiyonu kullanılarak ve sadece gamma dağılımına göre SYİ değerleri hesaplanmış ve zamansal değişimleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen SYİ değerleri run teorisine tabi tutularak kuraklık karakteristikleri (kuraklık süre ve şiddet değerleri) elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen kuraklık karakteristikleri arasındaki ilişki korelasyon analizi ile incelenmiştir.

2. Materyal ve metot

2.1. Çalışma alanı ve veriler

Türkiye'nin en büyük drenaj alanına sahip olan Fırat Nehri, Keban yakınlarında Murat ve Karasu nehirlerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Fırat Nehri karma rejimli bir akarsu olup akımı yıl içerisinde değişkenlik göstermektedir. Nehrin ortalama yıllık akımı yaklaşık olarak 32 milyar metreküp civarındadır. Nisan ve Mayıs aylarındaki maksimum akımı toplam yıllık akımının %42'sine denk gelmektedir. Fırat Nehri havzasında akım değerleri değişkenlik göstermektedir. Kış aylarında yağışın kar şeklinde olmasından dolayı akım 200 m³/s iken, bu rakam ilkbaharda yağmur ve kar erimeleri ile 2000 m³/s'ye kadar çıkmaktadır. Temmuz ayında hızla azalan akım, Eylül-Ekim aylarında en az seviyeye inmektedir (Yıldırım, 2006). Ayrıca; Yukarı Fırat havzasında, 1937-1964 yılları arasında tutulan akım kayıtlarında 1961 yılında akım değeri 16.871 milyar m³'e düşerken, 1963 yılında ise 43.457 milyar m³'e yükseldiği kaydedilmiştir. 1969 yılı kayıtları suyun en fazla olduğu dönemi göstermektedir (Maden ve Kılıç, 2012).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan yağış gözlem istasyonlarına ait lokasyon haritası

Hazırlanan çalışmada, Fırat Havzası'nda ve havzaya yakın olan sürekli ve en az 30 yıllık veriye sahip (1966 ile 2017 yılları arası) olan 16 adet yağış gözlem istasyonu seçilmiştir. Çalışmada kullanılan yağış ve sıcaklık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan meteoroloji gözlem istasyonlarına ait konum haritası ise Şekil 1'de gösterilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan verilere ait bazı istatistiksel değerler Ek-1'de sunulmuştur.

2.2. Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ)

Dünya Meteoroloji Örgütü (DMÖ) tarafından önerilen SYİ meteorolojik kuraklığı değerlendirmek için kullanılan en güvenilir kuraklık indekslerinden biridir. Diğer kuraklık indeksleriyle karşılaştırıldığında, SYİ kolay kullanımı, teorik gelişimi, sağlamlığı, zamansal esnekliği ve sadece yağış verisi gerektirdiği için daha kullanışlıdır. SYİ değerinin hesaplanması temel olarak aşağıdaki adımları içerir: (1) aylık yağış zaman serisi üretir; (2) Yağışlara uyacak bir frekans dağılımı seçilir ve uydurulan frekans dağılımından kümülatif dağılımı oluşturulur; (3) SYİ değerini elde etmek için kümülatif olasılıklar ortalaması 0, standart sapması 1 olan standart normal dağılıma dönüştürülür (Lorenzo-Lacruz vd., 2010; McKee vd., 1993). Bu çalışmada, SYİ hesaplanırken yağış verilerine en uygun olasılık dağılım fonksiyonu kullanılmıştır.

2.3. Olasılık dağılım fonksiyonları uygunluk testleri

2.3.1. Kolmogorov-smirnov (K-S) testi

Gözlenen verilerin eklenik frekans dağılımının teorik bir dağılıma uygunluğunun kontrolünde kullanılan ikinci bir test olan Kolmogorov-Smirnov testinde kullanılan istatistik Denklem 1'de verilmiştir.

$$\Delta = \max |F(x_i) - F^*(x_i)| \quad (1)$$

burada $F^*(x_i)$, i/N formülüyle hesaplanan eklenik frekans dağılım ordinarlarıdır. $F(x_i)$ ise seçilen teorik eklenik dağılım fonksiyonunun aynı x_i değerlerine karşı gelen ordinarlarıdır. Buna göre Δ istatistiği, gözlenen ve teorik eklenik dağılımların arasındaki farkların en büyüğüdür. Δ istatistiğinin dağılımı rastgele değişkenin dağılımdan bağımsız olup, sadece örnekteki N eleman sayısına bağlıdır. Hesaplanan Δ istatistiği, Kolmogorov-Smirnov tablosundan okunan N 'nin çeşitli değerleri için aşılma olasılığı Δ_α değerinden küçükse dağılımın

uygunluğu hipotezi α anlamlılık düzeyinde kabul, aksi halde reddedilir (Bayazit ve Oğuz, 1994).

2.3.2. Anderson-darling (A-D) testi

Bu test, K-S testinden farklı olarak denenen dağılımın kritik değerini kullanır. Her dağılım için ayrı bir kritik değer hesaplanması gereklidir. Anderson-Darling testi dağılımın uç kısmında daha duyarlıdır (Adamson, 1979). Anderson-Darling istatistiği ise Denklem 2'de tanımlanmıştır.

$$A^2 = -N \cdot \sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{N} \{ \ln [F(Y_i)] + \ln [F(Y_{(N+1-i)})] \} \quad (2)$$

Burada;

F: Belirtilen dağılımın eklenik dağılım fonksiyonu,
Y_i: Sıralanmış verilerdir.

Anderson-Darling testi tek yönlü bir test olup, test istatistiği kritik değerden büyükse sıfır hipotezi reddedilir (Karahana ve Özkan, 2013).

2.3.3. Ki-kare (χ^2) testi

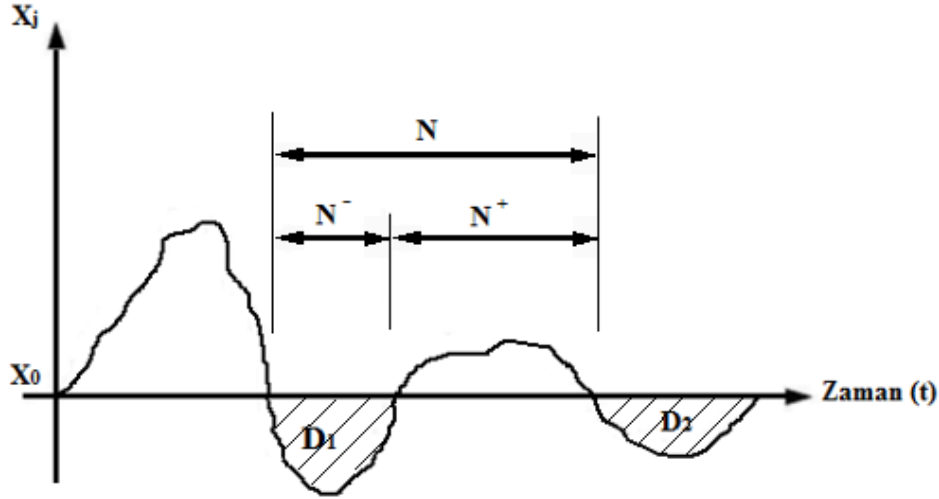
Ki-Kare test istatistiğini hesaplamak için veriler "k" gruba bölünür. Ki-Kare test istatistiği Denklem 3'e göre

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3)$$

Burada; O_i : gözlenen değeri, E_i : beklenen değeri göstermektedir. Ki-Kare testinde güvenilir bir tahminde bulunabilmek için beklenen frekanslar 5'ten az olmamalıdır. Bazı frekanslar 5'ten küçükse izleyen sınıftaki frekanslarla birleştirilmelidir. Hesaplanan Ki-Kare test istatistiği kritik değerden büyükse sıfır hipotezi reddedilir (Liu ve Setiono, 1995).

2.4. Run teorisi

Seçilen bir Δt zaman aralığı ile ölçülen bir X rastgele değişkeninin $x(t)$ stokastik sürecini göz önüne alalım. $X(t)$ 'nin sürekli olarak x_0 'ın üstünde kaldığı süre pozitif gidiş (sulak dönem), altında kaldığı süre negatif gidiş (kurak dönem) denir. X'i bir ölçekte ölçülen yağış ya da akarsuda ölçülen akım olarak alıp bu kavramları kuraklığın analizine uygulayabiliriz. Negatif gidiş kurak bir döneme karşılık gelir. N^- negatif gidiş uzunluğu kurak dönemin süresini, bu süre boyunca x_0 ile $x(t)$ arasında kalan su hacmi (Şekil 2'de taralı alana karşılık gelen hacim) olan D negatif gidiş toplamı kurak dönemdeki su eksikliğini gösterir (Sırdaş ve Şen, 2010; Yevjevich, 1967).



Şekil 2. Gidiş karakteristiklerinin tanımı

D_j , j 'inci kuraklığın X_0 kesim seviyesi altındaki eksikliklerin toplamı olarak tanımlanmış olup Denklem 4 ile hesaplanmaktadır. Bu değer ayrıca kuraklığın şiddetini de ifade etmektedir (Sırdaş ve Şen, 2010; Yevjevich, 1967).

$$D_j = \sum_{i=1}^m X_0 - X_j \quad (4)$$

3. Bulgular

Kuraklık, su kaynakları üzerinde zararlı etkilere neden olabilecek doğal bir tehlikedir. Kuraklığı izlemek için, bir göstergenin kullanılması ve ıslak ve kurak dönem eğiliminin belirlenmesi, kuraklık analizinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada 1966 ile 2017 zaman periyodu için seçilen 16 Meteoroloji Gözlem İstasyonuna ait yağış değerleri kullanılarak en uygun dağılım ve sadece gamma dağılımı kullanılarak SYİ değerleri hesaplanmıştır.

3.1. SYİ değerlerinin hesaplanması

En uygun dağılımın belirlenmesinde mühendisler, araştırmacılar ve çeşitli dallardaki bilim insanlarının kullandığı "Easyfit" yazılımından faydalanılmıştır. Bu yazılım verilere çok sayıda dağılımı otomatik veya manuel olarak uydurmasına ve saniyeler içinde en iyi modeli seçilmesine izin veren bir veri analiz ve simülasyon yazılımıdır. Bu çalışmada söz konusu yazılım aracılığıyla A-D, K-S ve χ^2 uyum iyiliği testleri yapılarak yağışlara en iyi uyan dağılım belirlenmiştir. Testler yazılım tarafından %95 güven aralığında (0.05 anlamlılık seviyesi) otomatik olarak yapılarak seçilmiştir. En uygun dağılımı belirlenmesinde, hidrolojide sıkça kullanılan gamma, lognormal, GED, weibull, normal, lojistik, loglojistik dağılımları

kullanılmıştır. Uygulanan testlere göre 1 aylık, 3 aylık ve 12 aylık yağış toplamalarına en iyi uyan dağılımlar Şekil 3-5'te gösterilmiştir. En uygun dağılımın belirlenmesi Easyfit yazılımının gösterdiği sıra (rank) değerleri, test istatistikleri ve olasılık yoğunluk fonksiyonları karşılaştırılarak yapılmıştır.

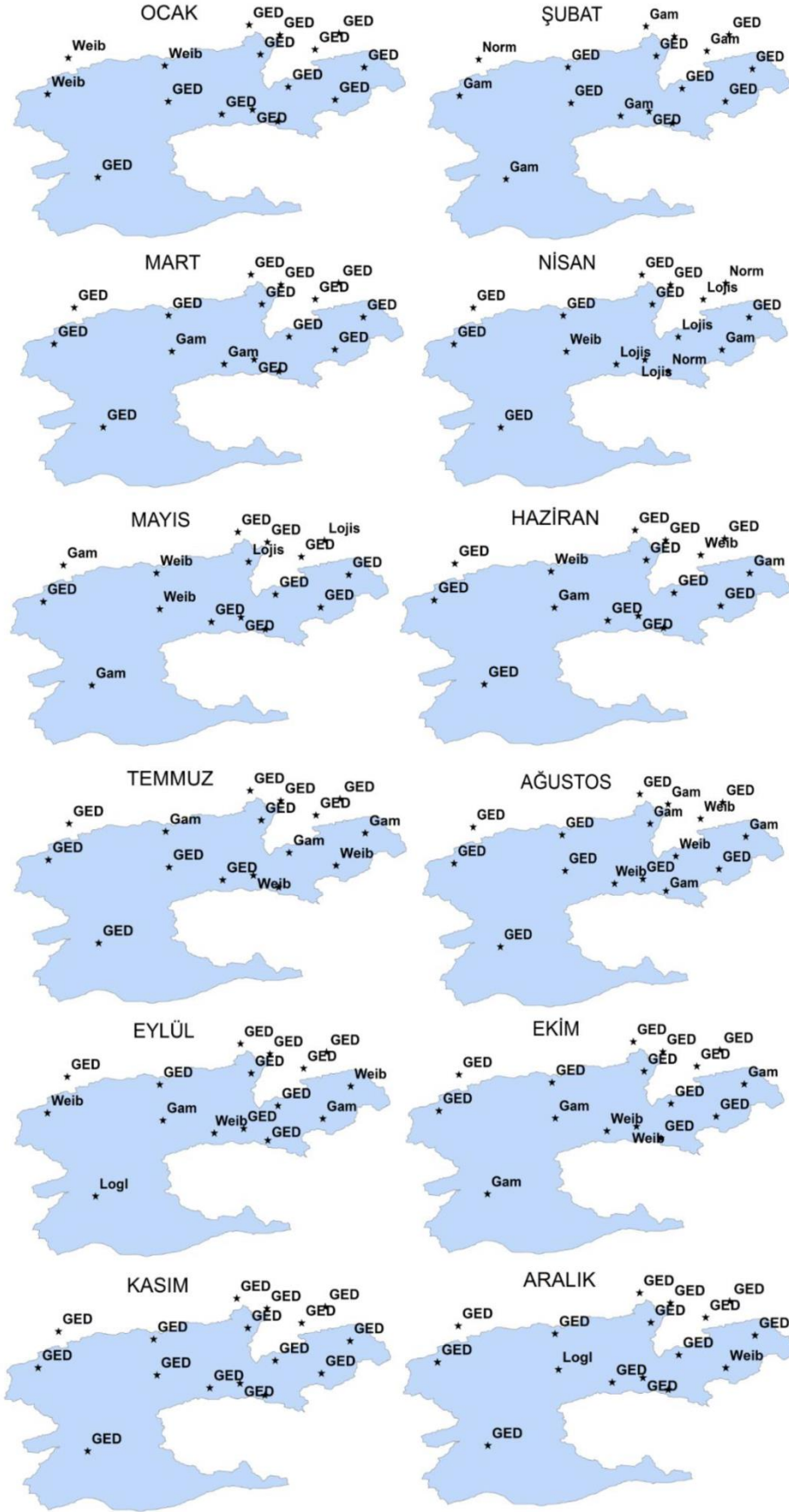
Seçilen istasyonlara uydurulan dağılımlar incelendiğinde 1 aylık, 3 aylık ve 12 aylık yağış toplamalarına en iyi uyan dağılım GED olarak bulunmuştur. Aylık yağış serilerine sırasıyla GED, gamma ve weibull, 3 aylık yağış serilerine GED, lojistik ve gamma, 12 aylık yağış serilerine ise GED, lojistik, gamma dağılımlarının en uygun olduğu görülmüştür.

Tablo 1'de tüm istasyonlardaki aylık, 3 aylık ve 12 aylık yağış toplamalarına (16*12=192 adet) en iyi uyan dağılımların yüzdeleri gösterilmiştir.

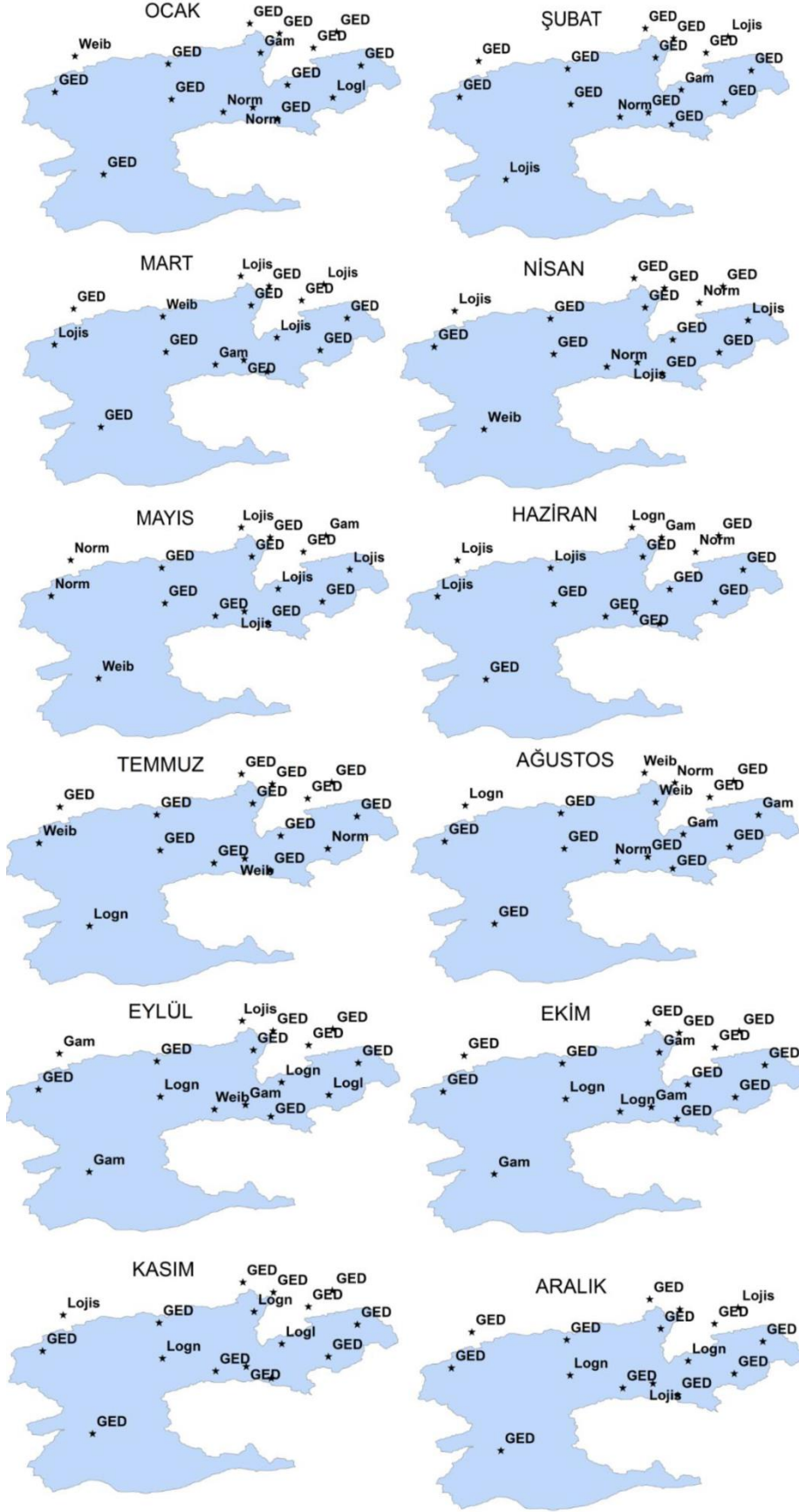
Tablo 1. Seçilen istasyonlardaki yağış verilerine en iyi uyan dağılım yüzdeleri

En Uygun Dağılım Yüzdeleri (%)			
Dağılım türü	Aylık	3 Aylık	12 Aylık
GED	70.83	63.54	50.52
Weibull	10.42	4.69	6.25
Gamma	12.50	6.77	8.33
Log-lojistik	1.04	1.56	3.65
Lojistik	3.13	10.94	19.79
Log-normal	0.52	5.73	7.81
Normal	1.56	6.77	3.65

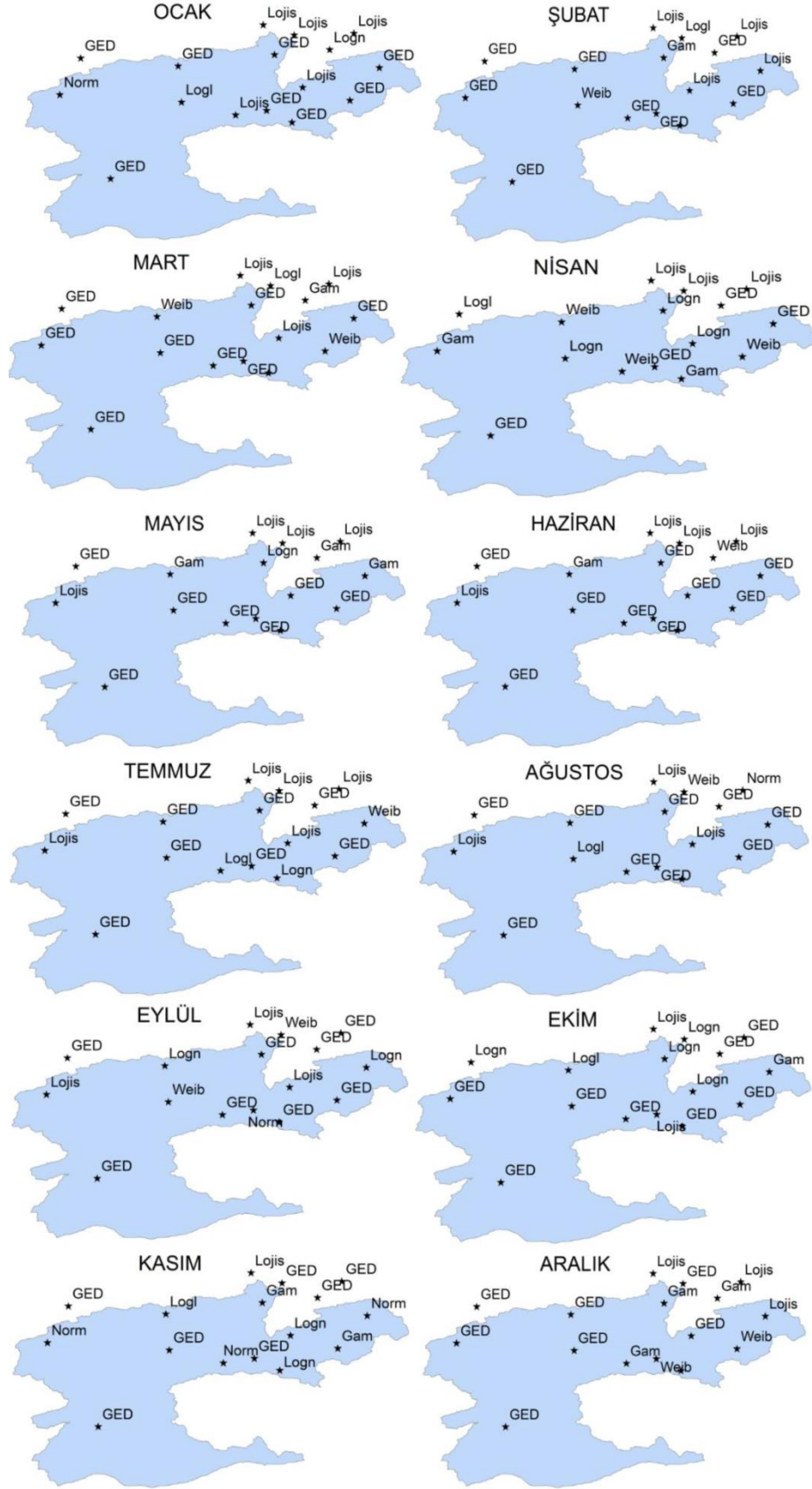
Not: kalın karakterler en çok görülen dağılımı göstermektedir.



Şekil 3. Aylık toplam yağış verilerine uyan en iyi dağılımların haritalanması (Kısaltmalar: Genelleştirilmiş Ekstrem Değer: GED, Weib: Weibull, Gam: Gamma, Logl: Loglojistik, Lojis: Lojistik, Logn: Log-normal, Norm: Normal)

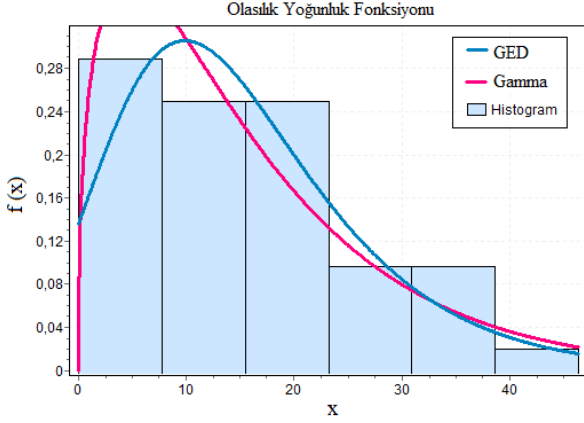


Şekil 4. 3 aylık toplam yağış verilerine uyan en iyi dağılımların haritalanması (Kısaltmalar: Genelleştirilmiş Ekstrem Değer: GED, Weib: Weibull, Gam: Gamma, Logl: Loglojistik, Lojis: Lojistik, Logn: Log-normal, Norm: Normal)

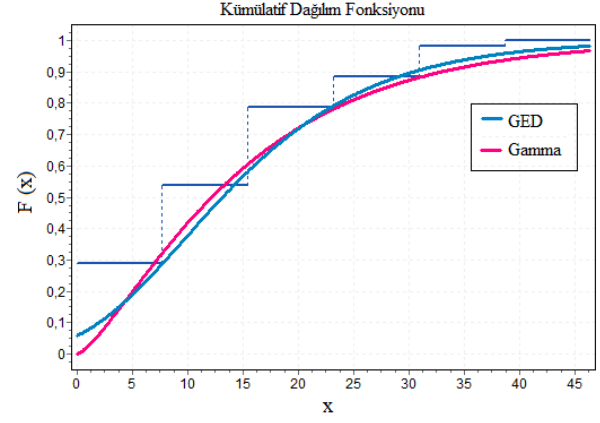


Şekil 5. 12 aylık toplam yağış verilerine uyan en iyi dağılımların haritalanması (Kısaltmalar: Genelleştirilmiş Ekstrem Değer: GED, Weib: Weibull, Gam: Gamma, Logl: Loglojistik, Lojis: Lojistik, Logn: Log-normal, Norm:Normal)

Şekil 6 ve 7’de yağış verilerine uydurulan GED ve gamma dağılımının grafiksel olarak karşılaştırılması sunulmuştur. Erzincan istasyonu eylül ayına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif dağılım fonksiyonları karşılaştırıldığında GED dağılımının yağışları gamma dağılımından daha iyi temsil ettiği görülmektedir.

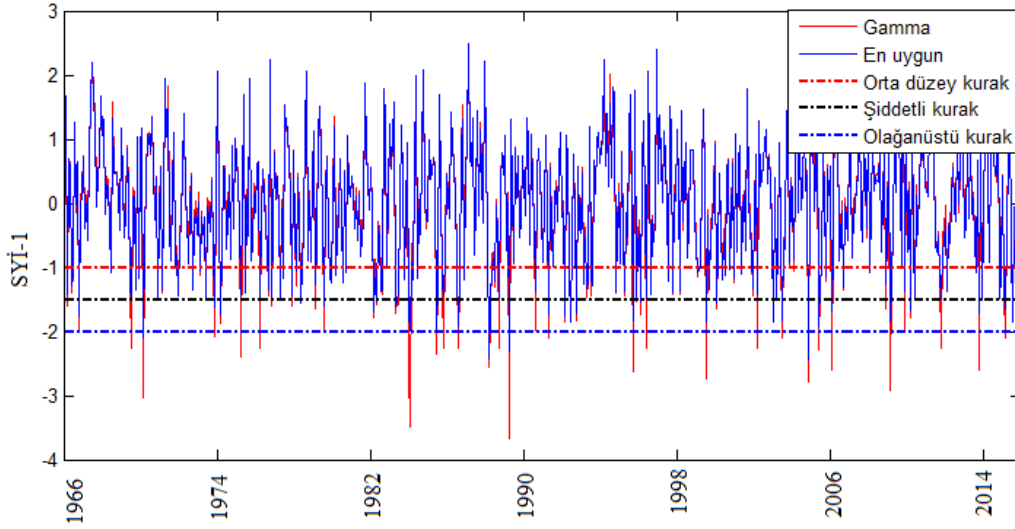


Şekil 6. Erzincan istasyonunda gözlenen aylık toplam yağış yüksekliklerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu

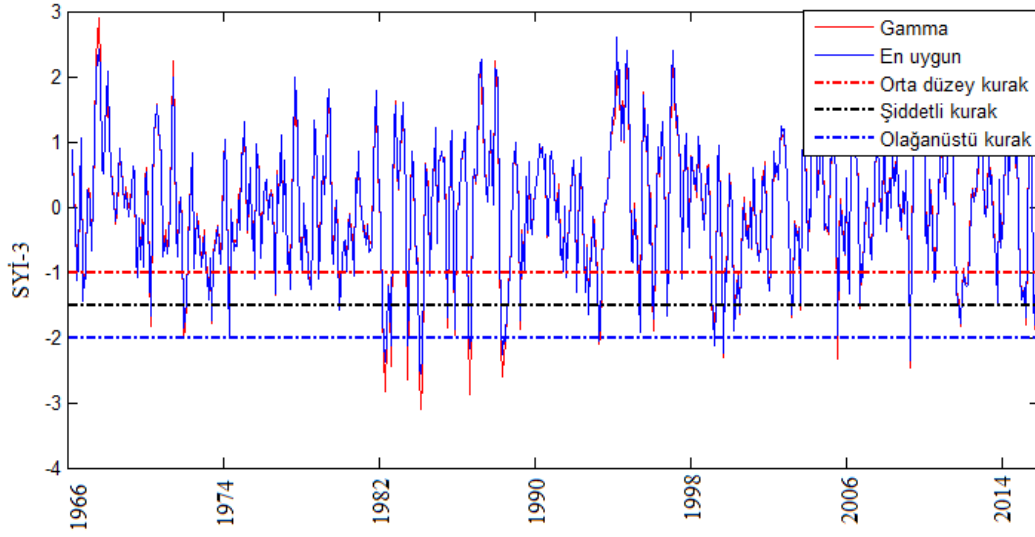


Şekil 7. Erzincan istasyonunda gözlenen aylık toplam yağış yüksekliklerinin kümülatif dağılım fonksiyonu

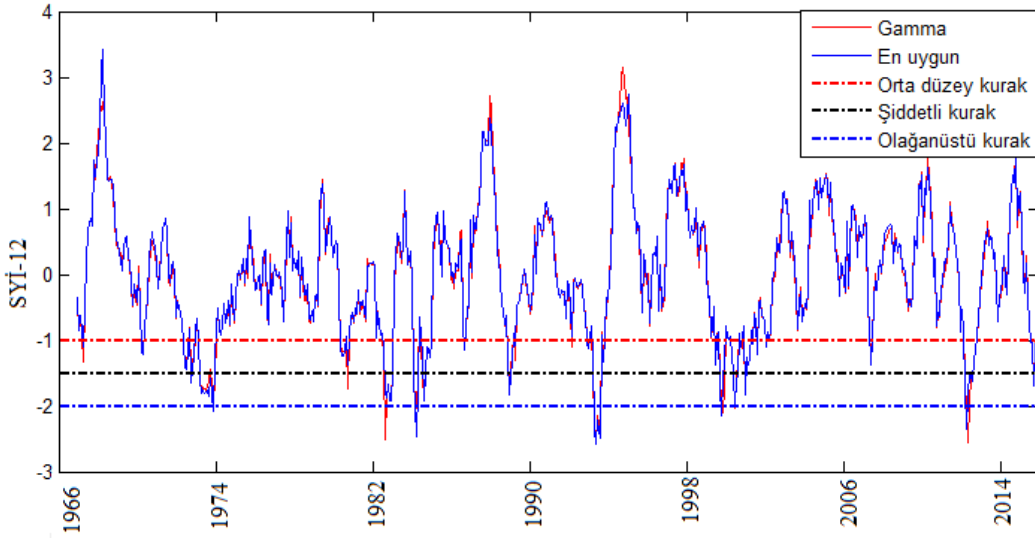
Çalışmada kullanılan tüm yağış istasyonları için 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları için SYİ değerleri hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Örnek olması açısından Erzincan yağış gözlem istasyonu üzerinde, seçilen zaman periyotlarındaki kritik kuraklık sınıfları (Hafif, Orta düzey, Şiddetli ve Olağanüstü) gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde çok sayıda hafif ($-1.0 < SYİ \leq 0$), orta düzey ($-1.5 < SYİ \leq -1.0$) ve şiddetli ($-2.0 < SYİ \leq -1.5$) kuraklık görülürken olağanüstü ($-2.0 \leq SYİ$) kuraklıklara da rastlanmıştır (Şekil 8-10).



Şekil 8. Erzincan meteoroloji istasyonuna ait aylık SYİ değerlerinin zamanla değişimi.



Şekil 9. Erzincan meteoroloji istasyonuna ait 3 aylık SYİ değerlerinin zamanla değişimi.



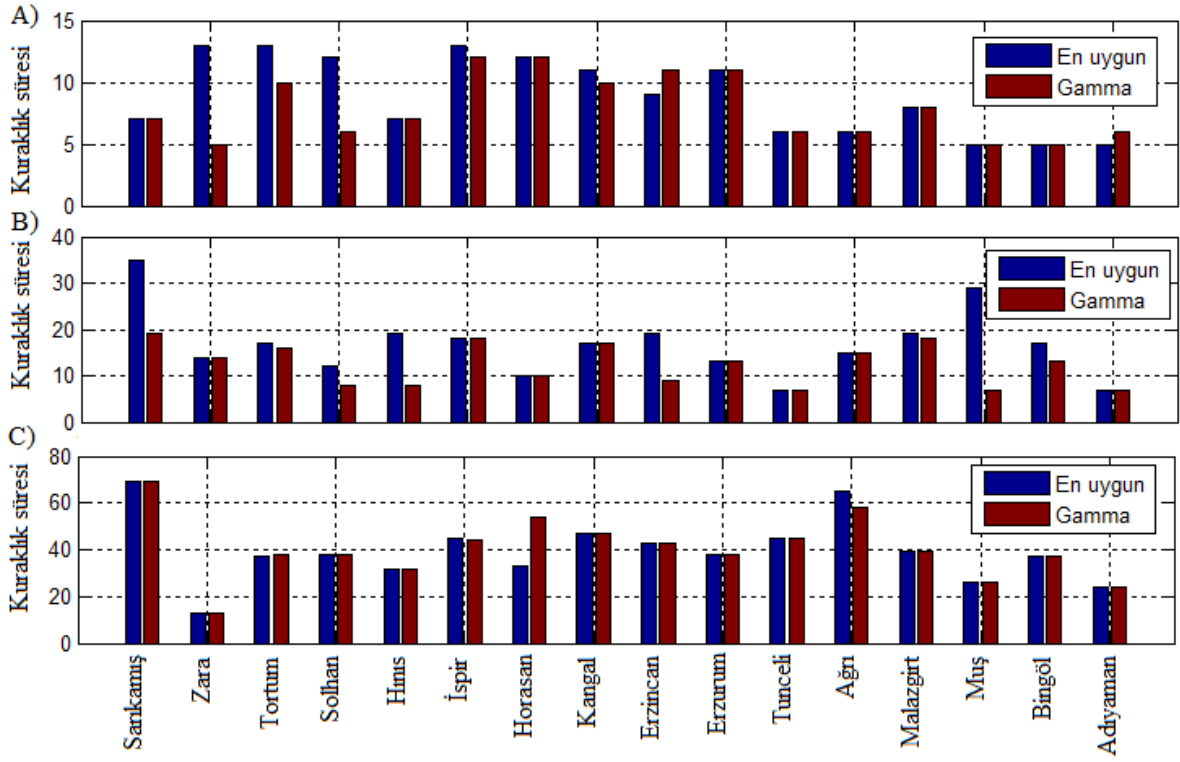
Şekil 10. Erzincan meteoroloji istasyonuna ait 12 aylık SYİ değerlerinin zamanla değişimi

EK-2'de Fırat havzasında kullanılan yağış serilerine ait SYİ değerlerine run teorisi uygulanması ile elde edilen maksimum kuraklık süre ve şiddet değerleri gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kuraklık periyodu uzadıkça maksimum kuraklıkların süre ve şiddetinde artış görülmüştür. Aylık kuraklıklar incelendiğinde en şiddetli kuraklıklar 19.05 ve 24.03 ile İspir istasyonunda görülmüştür. 3 aylık kuraklıklar incelendiğinde en şiddetli kuraklık 47.15 ve 40.54 ile Sarıkamış istasyonunda görülmüştür. 12 aylık kuraklıklar incelendiğinde en şiddetli kuraklık 114.58 ve 129.62 ile Sarıkamış istasyonunda görülmüştür.

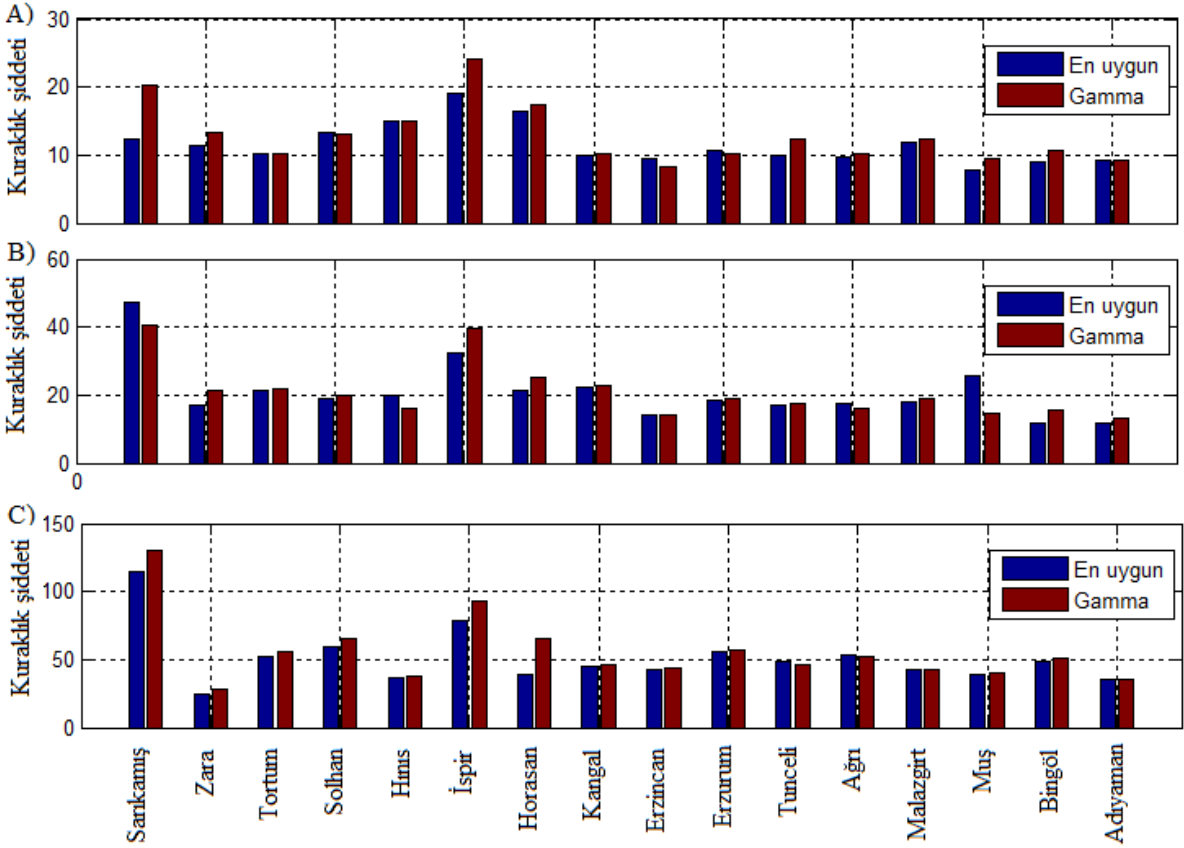
Şekil 11'de gamma SYİ ve en uygun dağılıma göre elde edilen SYİ değerlerine run teorisi uygulanması ile elde edilen maksimum kuraklık süreleri gösterilmiştir. Bu süreleri karşılaştırıldığında 29

kuraklık süresinin gamma SYİ ve en uygun SYİ'ye göre eşit olduğu görülmektedir. Ayrıca en uygun SYİ ile hesaplanan 18 kuraklık süresinin ise gamma SYİ'den daha büyük olduğu görülmektedir. Maksimum kuraklık süreleri karşılaştırıldığında ise Sarıkamış, İspir, Horasan ve Kangal istasyonlarında genellikle kuraklıkların uzun sürelerde olduğu görülmüştür.

Şekil 12'de gamma SYİ ve en uygun dağılıma göre elde edilen SYİ değerlerine run teorisi uygulanması ile elde edilen maksimum kuraklık şiddetleri gösterilmiştir. Bu şiddet değerleri incelendiğinde, gamma SYİ ile hesaplanan 36 adet kuraklık şiddetinin en uygun dağılıma göre hesaplanan SYİ'den daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca en şiddetli kuraklıklar Sarıkamış, İspir ve Horasan istasyonlarında görülmüştür.



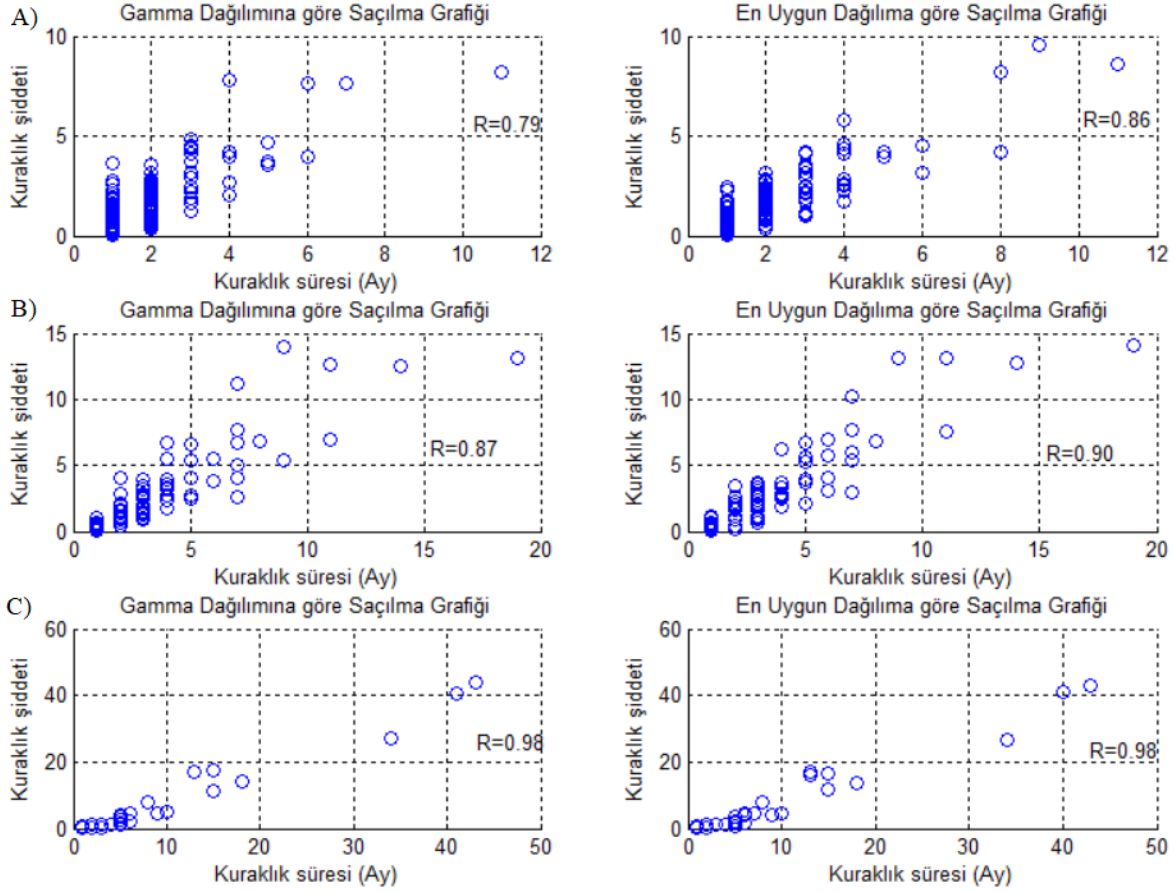
Şekil 11. Maksimum kuraklık sürelerinin karşılaştırılması A) Aylık zaman periyodu, B) 3 aylık zaman periyodu, C) 12 aylık zaman periyodu



Şekil 12. Maksimum kuraklık şiddetlerinin karşılaştırılması A) Aylık zaman periyodu, B) 3 aylık zaman periyodu, C) 12 aylık zaman periyodu

Şekil 13'te aylık, 3 aylık ve 12 aylık zaman periyodunda kuraklık süre ve şiddetlerinin saçılma diyagramları ve pearson korelasyon katsayıları (R) gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde, kuraklık süre ve şiddetleri arasında pozitif yönlü ve yüksek ilişkilerin bulunduğu görülmektedir. Zaman

periyodunu artması ile ilişkinin gücünün arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca aylık ve 3 aylık zaman periyodunda en uygun dağılıma göre elde edilen kuraklık karakteristikleri arasındaki ilişki gamma SYİ değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 13. Erzincan istasyonuna ait en uygun ve gamma dağılımına göre elde edilen kuraklık karakteristiklerinin saçılma diyagramları ve korelasyon katsayıları: A) Aylık zaman periyodu, B) 3 aylık zaman periyodu, C) 12 aylık zaman periyodu

4. Tartışma

SYİ değerlerinin hesaplanması için yağış verilerine gamma dağılımı uydurulmaktadır. Ancak, yağış değerlerinin istatistik özellikleri bölgeden bölgeye ve aydan aya farklılık göstermektedir. Bunun için yağış verilerine en iyi uyan dağılımın belirlenerek daha doğru ve güvenilir SYİ değerleri elde edilebilmektedir. Guttman (1999), gözlenen bir yağış serisini tanımlamak için farklı olasılık dağılımlarının kullanılması durumunda farklı SYİ değerlerinin elde edilebileceğini savunmuştur. Angelidis vd. (2012) yaptıkları çalışmalarında SYİ değerinin hesaplanması için sadece gamma dağılımının yetersiz kaldığını ve alternatif dağılımların kullanılması gerektiğini ifade etmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar doğrultusunda bu çalışmanın konusu olan SYİ'nin

çeşitli dağılımlara göre hesaplanarak karşılaştırılma gerekliliği doğmuştur. Yağış değerlerine çeşitli istatistiksel testler aracılığıyla olasılık yoğunluk fonksiyonu uydurulduğunda GED dağılımının gamma dağılımından daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucun literatürdeki çalışmalar ile büyük ölçüde örtüştüğü düşünülmektedir.

Özcan vd. (2013) çalışmalarında, 7 adet meteorolojik istasyonunun yağış verilerini Kolmogorov-Smirnov (K-S) ve Ki kare (χ^2) gibi uygunluk testleri kullanılarak hangi dağılım fonksiyonunun daha iyi temsil ettiğini araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda yağış verilerinin genellikle GED dağılımına uyduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışma GED dağılımını yağışları etkili bir şekilde modellemesi açısından örtüşmektedir.

Blain vd. (2015); Brezilya, Pelotas Rio Grande do Sul Eyaleti hava istasyonunda SYİ hesabında kullanılan yağış serisine Lilliefors testi uygulamışlardır. Test sonucunda, 3 parametrelili dağılımların yağış verilerini 2 parametrelili dağılımlardan daha iyi temsil ettiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada ise 3 parametrelili GED dağılımının 2 parametrelili dağılımlardan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Yapılan çalışma Blain vd. (2015)'yi destekler nitelikte olduğu tespit edilmiştir.

Oruç (2017) çalışmasında, 2012-2014 yılları arasında, 3 aylık periyodundaki indeks değerlerine göre -1.5 şiddetinde kuraklıklar tespit edilmiştir. Şekil 8-10'daki SYİ değerlerinin zamansal değişimi Oruç (2017) ile karşılaştırıldığında büyük ölçüde örtüştüğü görülmektedir.

Güngen (2019) çalışmasında, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde SYİ değerleri analiz edilmiş ve yaklaşık olarak %65 oranında normal kuraklık şartlarının, %5 oranında ise çok şiddetli kuraklıkların hüküm sürdüğü tespit edilmiştir. Özfidaner ve Topaloğlu (2020) çalışmalarında, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yıllık yağış verileri analiz edilerek 1 ve 12 aylık meteorolojik kuraklıkları belirlenmişlerdir. 1 ve 12 aylık periyotta normal ve şiddetli kuraklıkların meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca çok şiddetli kuraklıklar ile karşılaşmamıştır. Daha önce yapılan çalışmalar Fırat havzasındaki kuraklık durumu ile benzerlik göstermektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada Fırat havzası üzerinde bulunan 16 adet yağış gözlem istasyonları kullanılarak SYİ değerleri çeşitli dağılımlara göre hesaplanmış ve kuraklık karakteristikleri run teorisi ile elde edilmiştir. SYİ değerleri hesaplanırken çeşitli zaman periyotlarında kullanılan yağış zaman serilerine en uygun dağılım ve sadece gamma dağılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu indeks değerlerinde göre kuraklık süre ve şiddet değerlerinin sütun diyagramları, saçılma diyagramları çizilmiş ve pearson korelasyon katsayıları ile ilişkileri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Aylık, 3 aylık ve 12 aylık zaman ölçeğindeki yağış serilerini en iyi GED dağılımının temsil etmektedir. Standartlaştırılmış yağış indeksi hesaplanırken, yağış verilerine sadece gamma dağılımının uydurulması yerine alternatif dağılımlarında denenerek

indeksin daha hassas biri şekilde hesaplanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

- Kuraklık analizi ve erken uyarı sistemlerinde yaygın şekilde kullanılan 2 parametrelili gamma dağılımına dayalı SYİ hesap prosedürünün yeniden değerlendirmesi ve en uygun dağılıma göre SYİ değerleri hesaplanarak modellerin iyileştirilmesi gerektiği ortaya çıkarılmıştır.
- Kuraklık karakteristikleri istasyon bazlı değerlendirildiğinde, maksimum kuraklık süre ve şiddetleri genellikle Sarıkamış ve İspir istasyonunda görülürken minimum kuraklık süre ve şiddetleri genellikle Muş, Bingöl, Adıyaman istasyonlarında görülmüştür. Bu durum havzanın günlük olması, yükselti faktörü, karasallık etkisi ve su yapılarının bölge iklimine etkileri, sıcaklık ve yağış durumu ile açıklanabilmektedir.
- SYİ'nin en uygun dağılıma göre hesaplanması ile gamma dağılımına göre hesaplanması sonucunda kuraklık indekslerinde ortalama %2 sapma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Kuraklık süre ve şiddetleri arasında yüksek korelasyonun ($R > 0.7$) bulunduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Adamson, P. (1979). Probability distributions of best fit to South African flood data. *Water SA*, 5(2), 70-76.
- Angelidis, P., Maris, F., Kotsovinos, N. and Hrisanthou, V. (2012). Computation of drought index SPI with alternative distribution functions. *Water Resources Management*, 26(9), 2453-2473. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0026-0>
- Bayazıt, M. ve Oğuz, B. (1994). İstatistik. Birsen Yayınevi, İstanbul, 211s.
- Bacanlı, Ü. G. ve Kargı, P. G. (2019). Uzun ve kısa süreli periyotlarda kuraklık analizi: Bursa örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 166-174. <https://doi.org/10.21324/dacd.429391>
- Blain, G. C. and Meschiatti, M. C. (2015). Inadequacy of the gamma distribution to calculate the Standardized Precipitation Index. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(12), 1129-1135. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi>

- Edwards, D. C. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Air force inst of tech wright-patterson afb oh.
- Guttman, N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 35(2), 311-322. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x>
- Gümüş, V., Başak, A. ve Oruç, N. (2016). Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) yöntemi ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklık analizi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 1(1), 36-44.
- Güngen, Y. (2019). Standart yağış indisi (SYİ) ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kuraklık analizi. Yüksek Lisans Tezi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- İçel, G. (2014). Mersin'de meteorolojik ve hidrometeorolojik afetler. Electronic Turkish Studies, 9(11), 263-282.
- Kapluhan, E. (2013). Türkiye'de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi. Marmara Coğrafya Dergisi, (27), 487-510.
- Karahan, H. ve Özkan, E. (2013). Ege bölgesi standart süreli yıllık maksimum yağışları için en uygun dağılımlar. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 19(3). <https://doi.org/10.5505/pajes.2013.29392>
- Küçükyaman, D. (2010). Kovada Gölü'nün hidrolojik ve meteorolojik kuraklık analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Liu, H. and Setiono, R. (1995). Chi2: Feature selection and discretization of numeric attributes. Paper presented at the Proceedings of 7th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence. <https://doi.org/10.1109/TAI.1995.479783>
- López-Moreno, J. I. and Vicente-Serrano, S. M. (2008). Positive and negative phases of the wintertime North Atlantic Oscillation and drought occurrence over Europe: a multitemporal-scale approach. Journal of Climate, 21(6), 1220-1243. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1739.1>
- Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., García-Ruiz, J. M. and Cuadrat, J. M. (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). Journal of Hydrology, 386(1-4), 13-26. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.001>
- Maden, T. E. ve Kiliç, S. (2012). Irak'ta su kaynakları sorunu ve yönetimi. Middle Eastern Analysis/Ortadoğu Analiz, 4(43), 84-97.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17(22), 179-183.
- Naresh Kumar, M., Murthy, C. S., Sesha Sai, M. V. R. and Roy, P. S. (2012). Spatiotemporal analysis of meteorological drought variability in the Indian region using standardized precipitation index. Meteorological Applications, 19(2), 256-264. <https://doi.org/10.1002/met.277>
- Oğuztürk, G. (2010). Kızılırmak Havzası'nda SYİ ile kuraklık analizi ve YSA yöntemi ile kuraklık tahmini. Yüksek lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Oruç, N. (2017). Güneydoğu Anadolu Bölgesinin kuraklık analizi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Pamukkale.
- Özcan, O., Musaoğlu, N., Bookhagen, B. ve Örmeci, C. (2013). Uydu ve yersel yağış verilerinin noktasal frekans analizi ile mekansal değerlendirmesi. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara.
- Özcan, O., Bookhagen, B. ve Musaoğlu, N. (2017). Ekstrem yağış olaylarının Fırat Havzası'ndaki hidrolojik bileşenlerin yıllar arası değişimi üzerine etkisi. Ege Coğrafya Dergisi, 26(1), 35-47.
- Özfidaner, M. ve Topaloğlu, F. (2020). Standart yağış indeksi yöntemi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kuraklık analizi. Toprak Su Dergisi, 9(2), 130-136. <https://doi.org/10.21657/topraksu.767002>
- Öztürk, K. (2002). Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(1), 47-65.
- Pamuk, G., Özgürel, M. ve Topçuoğlu, K. (2004). Standart yağış indisi (SPI) ile Ege bölgesinde kuraklık analizi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 41(1), 99-106.
- Shadeed, S. and Almasri, M. (2007). Statistical analysis of long-term rainfall data for a Mediterranean semi-arid region: a case study from Palestine. In Sustainable Development and Management of Water in Palestine, International Conference on Palestine Water, Amman, Jordan.
- Sırdaş, S. ve Şen, Z. (2010). Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması. İTÜ dergisi, 2(2), 95-103.

- Sienz, F., Bothe, O. and Fraedrich, K. (2012). Monitoring and quantifying future climate projections of dryness and wetness extremes: SPI bias. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(7), 2143-2157. <https://doi.org/10.5194/hess-16-2143-2012>
- Stage, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F. and Stahl, K. (2015). Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13), 4027-4040. <https://doi.org/10.1002/joc.4267>
- Shukla, S. and Wood, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical research letters*, 35(2). <https://doi.org/10.1029/2007GL032487>
- Topçu, E. ve Karaçor, F. (2021). Erzurum istasyonunun standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi ve bütünleşik kuraklık indeksi kullanılarak kuraklık analizi. *Politeknik Dergisi*, 24(2), 565-574. <https://doi.org/10.2339/politeknik.682168>
- Temel, İ. (2019) Gediz Havzasında kuraklık analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tosunoğlu, F. (2014). Türkiye'deki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların atmosferik salınımlarla olan ilişkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Wu, H., Hayes, M. J., Weiss, A. and Hu, Q. (2001). An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China Z Index and the statistical Z Score. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(6), 745-758. <https://doi.org/10.1002/joc.658>
- Wu, H., Hayes, M. J., Wilhite, D. A. and Svoboda, M. D. (2005). The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(4), 505-520.
- Wu, H., Svoboda, M. D., Hayes, M. J., Wilhite, D. A. and Wen, F. (2007). Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(1), 65-79. <https://doi.org/10.1002/joc.1371>
- Yeğnidemir, K. (2005). İç Anadolu Bölgesi'nin standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) metodu ile kuraklık analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Yevjevich, V. M. (1967). Objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts, *An. Hydrology papers (Colorado State University)*; no. 23.
- Yüce, M. İ. ve Eşit, M. (2020). Ceyhan havzasının kuraklık risk haritasının SPI ve SPEI metotları ile belirlenmesi. *Su Kaynakları*, 5(2), 24-33.
- Yıldırım, A. (2006). Karakaya barajı ve doğal çevre etkileri. *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, 6, 32-39.

Ekler

EK-1. Çalışmada kullanılan yağış istasyonlarına ait bazı istatistik bilgiler

İstasyon	İstatist.	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Adıy	Max	367.1	233.0	348.5	223.9	146.8	51.1	10.5	16.9	44.7	162.8	232.8	331.6
	Min	7.0	1.0	4.9	3.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.3
	Ort.	136.7	98.0	89.6	66.8	39.9	8.1	1.8	1.5	6.4	46.3	76.8	131.3
Bingöl	Max	421.1	298.1	284.4	333.5	238.9	91.6	39.1	43.4	64.4	220.9	236.6	377.8
	Min	1.3	25.6	36.1	12.8	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.6	3.4
	Ort.	136.3	132.4	128.8	119.4	75.2	21.5	6.2	5.6	13.5	67.4	106.5	130.9
Muş	Max	214.7	255.3	197.2	235.4	226.6	77.7	30.0	57.5	73.4	189.9	227.6	219.9
	Min	1.1	18.9	17.3	21.6	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.4	2.5
	Ort.	91.8	97.0	104.1	106.6	69.2	27.8	7.9	8.5	15.9	62.1	88.0	89.5
Malaz.	Max	82.6	93.2	109.2	165.8	175.1	76.2	39.5	25.8	75.9	129.3	126.3	118.1
	Min	3.2	0.8	6.5	13.2	3.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	1.5
	Ort.	33.9	36.8	50.4	73.2	70.8	29.7	11.2	5.2	15.2	47.9	44.4	38.3
Ağrı	Max	149.6	254.5	96.9	141.4	151.6	143.7	76.3	55.6	72.6	160.7	126.5	110.6
	Min	2.4	3.9	3.2	15.5	15.7	0.0	0.2	0.2	0.2	1.5	0.0	2.1
	Ort.	40.7	46.8	49.3	71.8	73.8	42.7	20.1	13.3	19.8	55.9	46.7	44.0
Tunceli	Max	540.2	210.1	285.6	320.2	271.4	72.0	21.0	59.6	87.3	216.7	237.0	336.0
	Min	1.1	2.6	19.2	14.9	4.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2	5.0
	Ort.	128.1	102.5	107.0	106.1	71.2	18.1	4.9	6.7	17.0	62.2	96.2	124.4
Hınıs	Max	159.1	171.6	163.0	177.3	191.0	96.4	49.4	44.0	60.0	184.3	127.1	155.1
	Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Ort.	49.7	58.1	71.7	81.5	68.4	30.4	13.6	10.7	16.7	52.4	55.0	54.4
Erzurum	Max	55.7	90.0	122.6	147.7	129.0	112.6	92.6	63.0	81.4	210.8	81.0	52.8
	Min	1.7	1.2	1.2	8.8	14.9	2.9	0.8	0.0	0.0	2.3	2.6	5.0
	Ort.	19.7	22.5	32.0	53.6	69.6	44.6	24.9	17.5	22.4	49.3	31.1	21.1
Erzinc.	Max	74.9	62.7	100.4	95.9	138.2	64.1	81.0	26.2	46.4	130.9	124.3	89.8
	Min	1.0	4.2	1.0	8.7	11.9	3.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	2.8
	Ort.	27.6	29.1	41.7	53.6	55.0	29.2	12.0	7.1	15.1	44.0	37.1	28.0
Kangal	Max	83.7	127.1	164.2	117.0	139.1	132.2	62.9	65.3	86.4	118.9	156.9	108.2
	Min	3.9	1.4	2.3	10.1	12.7	0.3	0.0	0.0	0.2	2.2	0.7	2.8
	Ort.	37.7	34.1	41.7	59.6	58.5	34.8	8.5	8.6	13.6	33.0	35.5	39.5
İspir	Max	96.2	117.8	110.2	139.6	128.4	84.0	58.1	53.8	72.6	126.5	142.7	129.9
	Min	0.0	0.0	3.4	5.6	11.8	3.8	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
	Ort.	31.6	34.2	40.6	57.6	60.8	41.9	24.1	16.5	22.5	42.3	43.0	39.7
Tort.	Max	71.1	89.8	96.9	127.4	168.3	130.2	96.4	113.7	57.6	99.6	108.3	85.9
	Min	0.3	3.4	1.6	8.8	19.2	9.4	0.0	0.0	0.0	3.5	0.5	0.9
	Ort.	25.6	28.1	39.8	54.4	66.0	56.1	37.0	24.9	21.5	42.3	36.1	28.3
Horas.	Max	46.0	63.6	73.7	115.1	117.5	91.7	84.1	62.4	51.6	97.1	77.2	54.7
	Min	0.6	2.6	1.1	8.2	10.2	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1
	Ort.	20.8	23.2	33.4	49.3	65.9	43.7	25.8	18.4	17.2	38.9	31.3	24.0
Sarıka.	Max	225.0	98.2	139.2	156.2	166.6	146.9	118.3	138.5	86.4	119.6	135.6	82.2
	Min	0.0	0.0	0.0	18.6	10.8	0.8	0.0	0.0	0.2	0.4	0.4	0.0
	Ort.	37.3	38.2	52.6	73.4	88.0	66.5	46.1	32.6	26.9	51.6	43.4	36.1
Zara	Max	103.1	104.8	135.3	147.3	169.8	121.6	45.6	67.9	71.1	114.9	171.4	109.8
	Min	6.0	3.4	1.2	0.0	23.6	1.9	0.0	0.0	0.1	2.0	1.7	7.1
	Ort.	46.1	40.2	52.6	79.8	73.5	40.8	10.7	9.4	20.3	46.0	49.9	50.2
Solhan	Max	182.5	183.2	181.2	300.7	171.5	111.6	48.5	49.4	52.7	195.4	208.0	202.4
	Min	2.0	10.5	21.6	12.9	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Ort.	66.9	76.9	88.9	104.1	69.9	25.3	7.5	5.4	12.6	64.6	74.0	74.0

EK-2. Fırat havzasında hesaplanan maksimum kuraklık karakteristikleri

İstasyon	Kuraklık Periyodu	En uygun dağılıma göre		Gamma dağılımına göre	
		Süre (Ay)	Şiddet	Süre (Ay)	Şiddet
Sarıkmış	Aylık	7	-12.33	7	-20.29
	3 Aylık	35	-47.15	19	-40.54
	12 Aylık	69	-114.58	69	-129.62
Zara	Aylık	13	-11.51	5	-13.26
	3 Aylık	14	-16.81	14	-21.37
	12 Aylık	13	-24.90	13	-27.89
Tortum	Aylık	13	-10.26	10	-10.10
	3 Aylık	17	-21.17	16	-21.95
	12 Aylık	37	-52.68	38	-55.93
Solhan	Aylık	12	-13.23	6	-13.16
	3 Aylık	12	-19.10	8	-19.82
	12 Aylık	38	-59.22	38	-65.50
Hınıs	Aylık	7	-14.89	7	-14.98
	3 Aylık	19	-20.14	8	-16.03
	12 Aylık	32	-36.79	32	-37.65
İspir	Aylık	13	-19.05	12	-24.03
	3 Aylık	18	-32.17	18	-39.58
	12 Aylık	45	-78.09	44	-93.59
Horasan	Aylık	12	-16.52	12	-17.48
	3 Aylık	10	-21.27	10	-25.04
	12 Aylık	33	-39.5	54	-65.31
Kangal	Aylık	11	-9.88	10	-10.17
	3 Aylık	17	-22.48	17	-23.02
	12 Aylık	47	-44.98	47	-46.07
Erzincan	Aylık	9	-9.55	11	-8.16
	3 Aylık	19	-14.05	9	-14.03
	12 Aylık	43	-43.16	43	-43.72
Erzurum	Aylık	11	-10.67	11	-10.11
	3 Aylık	13	-18.71	13	-19.11
	12 Aylık	38	-55.55	38	-56.87
Tunceli	Aylık	6	-10.06	6	-12.42
	3 Aylık	7	-17.06	7	-17.36
	12 Aylık	45	-49.08	45	-46.29
Ağrı	Aylık	6	-9.71	6	-10.20
	3 Aylık	15	-17.47	15	-16.21
	12 Aylık	65	-53.97	58	-51.95
Malazgirt	Aylık	8	-11.85	8	-12.37
	3 Aylık	19	-18.10	18	-18.83
	12 Aylık	39	-42.24	39	-43.01
Muş	Aylık	5	-7.91	5	-9.41
	3 Aylık	29	-25.76	7	-14.84
	12 Aylık	26	-39.59	26	-40.44
Bingöl	Aylık	5	-8.99	5	-10.56
	3 Aylık	17	-11.76	13	-15.38
	12 Aylık	37	-49.15	37	-50.75
Adıyaman	Aylık	5	-9.24	6	-9.19
	3 Aylık	7	-11.91	7	-13.35
	12 Aylık	24	-35.31	24	-34.80

Not: Kalın karakterler en şiddetli kuraklıkları ifade etmektedir.