

Yeşilirmak Havzasında Düşük Akarsu Akımlarının Analizi

Sümeyye Özkan¹, Turgay Partal^{1,*}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55270, Samsun.

Özet

Kuraklık genel olarak bir bölgedeki yağışların kaydedilmiş normal seviyelerin önemli derecede altına düşmesiyle toprak ve su kaynaklarını olumsuz etkilemesi şeklinde tanımlanmaktadır. Kuraklık analizi için genellikle günlük düşük akım indisleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada Yeşilirmak havzasında bulunan E14A002, E14A014, E14A018, D14A062 ve D14A106 nolu Kale, Sütluçe, Gömeleönü, Artova ve Alpu Dereköyü istasyonlarındaki akım gözlem istasyonlarına ait günlük verilerden oluşan 7 ve 30 günlük düşük akım verilerinden faydalanılmıştır. 31 yıllık veriler kullanılarak önce debi süre grafikleri çıkartılmış ve bu grafikler üzerinden Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} debileri okunarak düşük akımlar belirlenmiştir. Daha sonra 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür debileri 7 ve 30 günlük düşük akımlar için tahmin edilmiştir. Literatürde düşük akımlarda sıklıkla göz önüne alınan Normal, Lognormal ve Gumbel olasılık dağılımları kullanılmıştır. En uygun olasılık dağılımını belirlemek için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi yapılmıştır. Bütün dağılımlar %90 ve %95 istatistik anlam düzeyinde test edilmiştir. Son olarak da veriler Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho trend analizine sokulmuş olup 7 günlük düşük akımlar için Sütluçe ve Artova istasyonlarında istatistiksel önemli azalan trend görülmüştür.

Anahtar Sözcükler

Düşük Akım, İstatistiksel Veri Analizi, Olasılık Dağılımı, Trend Analizi, Yeşilirmak Havzası

Low Streamflow Analysis in Yeşilirmak Basin

Abstract

Drought is generally defined as precipitation that drops significantly below recorded normal levels, negatively affecting soil and water resources in a region. Daily low flow indices are usually used for drought analysis. In this study, 7 and 30-day flow data consisting of daily data of flow observation stations at Kale, Sütluçe, Gömeleönü, Artova and Alpu Dereköyü stations in Yeşilirmak basin, numbered E14A002, E14A014, E14A018, D14A062 and D14A106, were used. By using 31 years of data, flow rate continuous graphs were drawn first, and low flows were determined by reading Q_{90} , Q_{95} , and Q_{99} flow rates over these graphs. Then, recurrent flow rates of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years were estimated for 7-day and 30-day low flows. Normal, Lognormal, and Gumbel probability distributions, which are frequently examined in the literature at low flows, are used. The Kolmogorov-Smirnov test was performed to determine the optimal probability distribution. All distributions tested at the 90% and 95% statistical significance levels. Finally, the data were included in the Mann-Kendall and Spearman's Rho trend analysis, and a significant decrease was observed at the Sütluçe and Artova stations for seven days of minimum flow.

Keywords

Minimum Flow, Probability Distribution, Statistical Data Analysis, Trend Analysis, Yeşilirmak Basin

1. Giriş

Su insan yaşamı için en önemli kaynaklardan biridir. Son yüzyılda dünya nüfusunda ki büyük artışa paralel olarak su kaynaklarının ihtiyacı ve kullanımı çok fazla artmıştır. Bu yüzden su ihtiyacının dünyanın çeşitli yerlerindeki milyarlarca insanın yaşamsal faaliyetleri için yeterli seviyede olmaması ve dünya nüfusunun çoğunluğunun da yeterli su altyapısına sahip olamaması nedeniyle önümüzdeki yıllarda tüm dünya için su krizi ve kuraklığın artacağı gerçeği kaçınılmazdır.

Kuraklık hidrolojik döngüde önemli dengesizliklere ve bunun sonucunda da su kıtlığına, akarsularda akım miktarının azalmasına ve yer altı suları ve topraktaki nemin tükenmesine yol açar. Kuraklık, etkisini yavaş ve uzun zaman içinde gösteren, tahmin edilmesi zor ama sonuçları tehlikeli ekonomik etkisi ise yavaş görülen ama önemli sonuçlar doğuran (işme ve sulama suyu temininde sıkıntı gibi) ve yaşamsal faaliyetlerimizi önemli ölçüde etkileyen doğal bir afettir. Bu yüzden son derece ciddiye alınması gerekmekte olup akarsulardaki düşük akım ve hidrolojik kuraklığın takip edilmesi, ekolojik yaşam ve ekonomik hayatın sürdürülebilmesi için önem taşımaktadır. Kuraklığın meteorolojik kuraklık olarak başlayıp, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik kuraklık ile devam ettiği bilinmektedir (Sırdaş, 2002). Meteorolojik kuraklık yağış esaslıdır ve uzun bir süre yağışın normal değerlerinin altına düşmesi olarak tanımlanmaktadır. Hidrolojik kuraklık ise uzun süre devam eden yağış azlığı sonucunda yerüstü ve yer altı sularındaki azalmayı ifade eder. Aynı zamanda hidrolojik kuraklık akarsuda belli bir dönem boyunca akımın yetersiz ve normal seviyenin altında olmasıdır.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (362) 3121919 Faks: +90 (362) 4576094

E-posta: sumeyyee.ozkann@gmail.com (Özkan S), turgay.partal@omu.edu.tr (Partal T)

Gönderim Tarihi / Received : 25/07/2023

Kabul Tarihi / Accepted : 11/12/2023

Kuraklığın sosyo-ekonomik tanımı ise meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık sonucundaki ekonomik dengeyle ilişkilendirilir. İlişkilendirilir. Tarımsal kuraklıkta ise bitki kökünde bitkinin faydalanabileceği su miktarındaki azalma söz konusudur. Yağışlardaki azalma ile başlayan kuraklığın son aşamasında, üretimin ihtiyacı karşılayamadığı durumlarda sosyo-ekonomik kuraklık ortaya çıkmaktadır (Dracup vd.,1980; Sırdaş, 2002; Kapluhan, 2013).

Hidrolojik kuraklığın açıklanabilmesi için düşük akım değerlerine ihtiyaç vardır. Düşük akım veya yüksek akım, bir akarsuyun özelliklerinin ve rejiminin belirlenmesinde önemli olan kavramlar olup akımların ortalama yıllık döngüdeki salınımlarını açıkça ortaya koymaktadır (Sarış, 2016). Düşük akım için günlük akım verilerine hidrolojik ve istatistik analiz olmak üzere iki farklı analiz metodu uygulanabilmektedir. Düşük akımların hidrolojik analizinde istasyonlardan alınan akım verilerinin 1,3,7,10,14,30... günlük ortalama akım debileri elde edilmekte ve bu debilerin debi süre grafikleri çıkartılmaktadır. Bu grafiklerden literatürde düşük akım analizinde sıklıkla kullanılan Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} debileri okunarak düşük akımlar belirlenir. İstatistik analizde ise 1,3,7,10,14,30... günlük ortalama akımların en düşüklerine olasılık dağılımları uygulanır. Bu amaçla birçok farklı olasılık dağılımı kullanılmaktadır. Düşük akımlarla ilgili yapılan çalışmalarda genel olarak 7 günlük ve 10 yıllık minimum akımlar ($Q_{7,10}$) kullanılmıştır. Bu değer 10 yılda bir görülen 7 günlük ortalama minimum akım debisi demektir. Bu çalışmada da 7 günlük minimum akım tercih edilmiştir.

Kuraklık dünyada gittikçe etkisini artırmış ve düşük akımların incelenmesi gittikçe önemli olmuştur. Düşük akımların hidrolojik ve istatistik analizindeki ilk çalışmalar Gumbell (1958) tarafından yapılmıştır. Bunun devamını Matalas (1963) izlemiştir. Bu çalışmalarda Weibull dağılımı momentler yöntemi ile ve Pearson Tip III dağılımı ise maksimum olabilirlik parametre tahmin yöntemleri ile analiz edilmiştir. Mahnamfar (2012) çalışmasını İran Havzası üzerinde gerçekleştirmiştir. 12 istasyonda K-S testi sonucunda 2 parametrelili Weibull ve Genel Lojistik dağılımı tüm istasyonların verilerine uygunken PPCC testinde sadece iki ve üç parametrelili Lognormal, Pearson tip III ve Logpearson tip III dağılımları üzerinde çalışmasını yapmıştır. Bunun sonunda 3 parametrelili Lognormal dağılım, Pearson tip III ve Logpearson tip III dağılımlarının uygun olduğunu görmüştür Düşük akım ve kuraklık çalışmaları Türkiye’de de pek çok çalışma alanında incelenmiştir. Önöz ve Bulu (1996) Trakya bölgesinde düşük akımları incelemek için Lognormal dağılımı ve Weibull dağılımı kullanmıştır. Özen (2001) çalışmasında Türkiye’deki 11 akarsuyu kullanmış ve bunlara Lognormal, Weibull ve Üstel dağılımları uygulamıştır. Seçilen istasyonlara olasılık çizgisi korelasyon katsayısı (PPCC) testini uyguladığında ise 11 istasyonun 2 tanesinde Lognormal dağılımın, 7 tanesinde Weibull dağılımın ve 2 tanesinde de Üstel dağılımın uygun olduğunu görmüştür. Durak (2000) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz havzalarında seçilen istasyonlarda Weibull dağılımının ve Üstel dağılımının gözlemlenen düşük akım değerlerine uyduğu görülmüştür. Yıldırım (2012) yaptığı çalışmada Fırat Havzasını incelemiş ve 5 adet istasyondan 34 yıllık ölçülmüş verileri kullanmıştır. Bu çalışmada 2 parametrelili Weibull ile 3 parametrelili Weibull, Pearson tip III, Logpearson tip III ve Genel Ekstrem Değer olasılık dağılımlarını kullanmıştır. Bu verilere PPCC testi uyguladığında ise en uygun dağılımın Pearson tip III dağılımı olduğunu görmüştür. Zaman (2016) debi süreklilik eğrisi yardımıyla zamanın yüzde 30’unda mevcut olan debileri belirleyerek hidroelektrik potansiyelini Doğu Karadeniz Havzası için belirlemiştir. Aksoy vd. (2018), Ceyhan, Meriç, Gediz ve Seyhan havzaları için düşük akım frekans analizi yapılmıştır. Çalışmalarında birçok dağılımı (2- ve 3-parametrelili Gamma, Lognormal ve Weibull dağılımı ile Genel Ekstrem Değer dağılımı) kullanmış olup, çoğunlukla 3 parametrelili Lognormal ve Weibull dağılımının uygun olduğunu bulmuşlardır. Demir ve Tona (2021) Samsun Kürtün nehrinde debi süreklilik eğrisi yardımıyla minimum debileri belirlemiştir. Debi süreklilik eğrileri minimum akımlar yanında zamanın farklı yüzdelerinde mevcut akımların belirlenmesi amacıyla da kullanılabilirler

Bu çalışmada Yeşilirmak Havzası üzerinde bulunan 5 akım gözlem istasyonuna ait günlük akım verileri incelenerek düşük akım analizi ve trend analizleri yapılmıştır. 7 ve 30 günlük debi süreklilik grafiklerinden düşük akımlar belirlenmiş ve ayrıca olasılık dağılımları kullanılarak belli dönüş aralıklarındaki düşük akım debilerinin bulunması amaçlanmıştır. Bunun yanında bu akımların seçilen olasılık dağılımlarına uygunluğu gösterilmiştir. Son olarak da 7 ve 30 günlük düşük akımların trendlerini belirlemek için Mann-Kendall ve Spearman’ın Rho trend analizleri kullanılmıştır.

2. Yöntemler

2.1. Debi Süreklilik Eğrisi

Debi miktarının zamana göre değişimini gösteren grafiğe debi süre eğrisi (çizgisi) denir (Saka & Yüksek, 2017). Debinin belli bir değere eşit veya o değerden büyük olduğu zaman yüzdesi hesaplanarak yatay eksene zaman yüzdeleri yani aşılma olasılıkları, düşey eksene ise debiler yazılırsa debi süreklilik çizgisi elde edilir (Yıldırım, 2012). Debiler önce büyükten küçüğe doğru sıralanır. Sonra bu akım verilerinin en küçüğüne 1 değeri verilerek tüm değerlerin en sonuna kadar sıra numaraları artırılarak son değere kadar yazılır. Yapay sıralı akım verilerinin toplam kaç veri sayısı olduğu (N) belirlenir. Ardından veri sayısı ve sıra numaralarına bağlı olarak denklem 1 yardımıyla tüm veriler için yüzdeler hesaplanarak grafik oluşturulur (Demir, 2020; Şen, 2009)

Debi süreklilik eğrisi belirli bir zamanın yüzdesinde akarsudaki o debinin bulunma ihtimalini vermektedir. Mesela debi süreklilik çizgisindeki %50 aşılma yüzdesine denk gelen debi değeri yılın bir gününde aşılma olasılığı %50 olan debi değil, yılın %50 sinde aşılma olasılığı olan debi değeri anlamına gelir. Belirli bir zaman diliminde akarsuda mevcut olan debi, debi süreklilik çizgisi belirlendikten sonra bu çizgiden okunabilir.

Literatürdeki düşük akım potansiyeli olarak gösterilen Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} değerlerini bulmak için bu grafikteki %90, %95 ve %99 değerlerine karşılık gelen değerler okunarak Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} akım değerleri bulunur. Akımın eşit olma ve aşılma olasılığı, zaman yüzdesi olarak aşağıdaki denklemden bulunur.

$$P=100 * [M/(N+1)] \quad (1)$$

Burada M, sıraya dizilmiş debilerin sıra numarasını, N ise toplam veri sayısını göstermektedir.

2.2. Günlük minimum akımların elde edilmesi

7 günlük minimum akımlar o yıldaki birbirini izleyen verilerin 7 günlük ortama akımların en küçük değeridir. $(Q_1+Q_2+\dots+Q_7)/7$, $(Q_2+Q_3+\dots+Q_8)/7$, $(Q_3+Q_4+\dots+Q_9)/7, \dots$ değerleri sırasıyla bir yıl için hesaplanıp bu değerlerin en düşüğü o yılın 7 günlük minimum akım değeri olarak alınır (Önöz & Bulu, 1996). Benzer olarak $(Q_1+Q_2+\dots+Q_{30})/30$, $(Q_2+Q_3+\dots+Q_{31})/30$, $(Q_3+Q_4+\dots+Q_{32})/30, \dots$ işlemleri de aynı şekilde yapılarak önce o yılın 30 günlük ortalama debileri bulunur. O yıla ait 30 günlük ortalama debilerin en küçüğü yine 30 günlük minimum akım değeri olarak alınır.

2.3. Olasılık Dağılım Fonksiyonları

Bu çalışmada 7 ve 30 günlük düşük akımlar için aşağıda verilen olasılık dağılım fonksiyonları belirlenmiştir. Çalışılan akarsu verileri içerisinde kuruyan akarsular bulunması halinde olasılık dağılım fonksiyonları elde edilirken akarsuyun kuruduğu dönemde hesaba katılması gerekir (Aksoy vd., 2017). Bu nedenle 7 ve 30 günlük düşük akım serileri içerisinde varsa sıfır akımlar çıkarıldıktan sonra kalan süre 10 yıldan uzun olması hali için olasılık dağılım fonksiyonları belirlenmiştir. Sıfır akımlar toplam olasılık yasaları kullanılarak hesaba katılmıştır (Crocker vd., 2003).

Buna göre $P(X \neq 0)$ düşük akım verilerinde sıfırdan farklı akımların oranı olup bu oranı k ile gösterirsek,

$$1 - F(x) = k(1 - Fi(x)) \quad (2)$$

yazılabilir. Burada, $F(x)$ ele alınan düşük akım serisinde olasılık dağılımının sıfır akımlar dahil olmak üzere eklenik frekansını, $Fi(x)$ ise sıfır akımlar hariç olmak üzere eklenik frekansını vermektedir. Düşük akımlarda dönüş aralığı T olmak üzere yeni eklenik frekans aşağıdaki gibidir.

$$Fi(x) = \frac{1}{T} \frac{1+k}{k} \quad (3)$$

Eklenik frekans negatif olamayacağından, yukardaki denklem aşağıdaki koşulu sağlarsa geçerli olur.

$$k \geq \frac{T-1}{T} \quad (4)$$

Bu koşula göre negatif bir eklenik frekans hesaplanması halinde söz konusu dönüş aralığı T için, düşük akımın sıfır olduğunu gösterir (Aksoy vd., 2017).

2.3.1. Normal Dağılım

Literatürde taşkın ve kuraklık analizi için en çok kullanılan dağılımların başında gelir. Normal dağılım aynı zamanda Gauss dağılımı olarak da bilinir. Bu dağılımın iki parametresi olup bunlar dağılımın standart sapma (σ) ve ortalamasıdır (μ). Normal dağılım simetrik olduğu için çarpıklık katsayısı 0'dır. Normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem 2 ile hesaplanır.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}} \quad (5)$$

Normal dağılım eklenik olarak elde edilemediği için sayısal integrasyon hesaplamaları yapılarak tablo hazırlanır. Tabloyu hazırlayabilmek için aşağıdaki dönüşümle standart değişken hale getirilir. Denklem (3) rastgele değişkeni standart değişken haline getirilmek için kullanılan formülü vermektedir.

$$Z = \frac{(x-\mu_x)}{\sigma_x} \quad (6)$$

2.3.2. Lognormal Dağılım

Normal dağılım kolay kullanabildiği ve dağılımın özellikleri de iyi bilindiği için çarpık dağılmış değişkenleri normal dağılıma uygun duruma getirmek için bir dönüşüm gerçekleştiririz. Logaritmik dönüşüm bu sebep için en çok kullandığımız dönüşümdür. X değişkeninin logaritması alınır (Y=lnX) y değişkeninin normal dağılıma uyduğu kabul edilir (Durak, 2000). Lognormal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma_x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} \quad (7)$$

denklemleri ile verilmektedir (Özen, 2001). Lognormal dağılımın parametreleri ise normal dağılımla aynıdır. Akımların tek tek logaritmaları ($y_i = \ln x_i$) alındıktan sonra bu değerlerin yine aynı şekilde ortalama ve standart sapmaları hesaplanır ve μ_y ve σ_y dağılımın parametreleri olarak alınır.

2.3.3. Gumbel Dağılımı

Diğer adı Ekstrem değer tip I olarak geçer. Bu dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp\left[-\frac{x-\xi}{\beta} - \exp\left(-\frac{x-\xi}{\beta}\right)\right] \quad (8)$$

denklemleri ile verilir. Bu ifade β ve ξ değerleri ölçek ve yer parametreleridir. Gumbel dağılımı 2 parametrelidir. Çarpıklığı sabit olup yaklaşık 1,14' tür. Lognormal dağılımın çarpıklık katsayısının 1,14 olduğu hali Gumbel dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonuna çok benzemektedir (Demir, 2020; Keskin & Demir, 2022). Dağılımın β ve ξ parametreleri aşağıdaki denklemlerden elde edilir.

$$\sigma_x = 1,283 \cdot \beta; \quad \mu_x = \xi + 0,5772 \cdot \beta \quad (9)$$

2.3.4. Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi

Gözlenen verilerin eklenik frekans dağılımının teorik bir dağılıma uygunluğunda kullanılan K-S testinin Gumbel dağılımı kontrolünde önce istasyonların minimum akım değerleri büyüklük sırasına göre küçükten büyüğe dizilip

$$F^*(x_i) = i/N \quad (10)$$

Değerleri hesaplanır. N toplam yıl (veri) sayısıdır. Gumbel dağılımının parametrelerine bağlı olarak

$$F(x_i) = \exp[-\exp(-(x_i - \mu)/\alpha)] \quad (11)$$

Değerleri hesaplanır. Hesaplanan $F^*(x_i)$ ve $F(x_i)$ karşılaştırılarak tüm veriler için $F^*(x_i)$ ve $F(x_i)$ 'nin farklarının mutlak değerlerinin en büyüğü alınır

$$\Delta_{\max} = \max [F(x_i) - F^*(x_i)] \quad (12)$$

Normal dağılım için $F(x_i)$ değeri aşılma olasılıklarıdır. Normal ve Gumbel dağılım için tablodan Δ_{\max} değerlerine bakılarak bu değer seçilen α anlamlılık düzeyinin kritik değerinden küçükse hipotez kabul edilir aksi takdirde dağılım reddedilir. K-S testi verilerin sınıflara ayrılmasını gerektirmediği için bilgilerin tamamının kullanılmasına izin verir. Bu bakımdan özellikle küçük veriler için uygundur ve üstünlük taşır (Bayazit & Oğuz, 1994).

2.4. Trend Analizi

2.4.1. Mann-Kendall testi

Mann-Kendall testi için ilk olarak "S" yani M-K test istatistiği toplam değeri hesaplanmalıdır. Bunun için öncelikli olarak elimizdeki zaman serisi $i=1$ den $N-1$ ' e kadar x_i veri sütünü ve $j=i+1$ den N ' e kadar x_j veri sütünü olarak sıralanır. Daha sonra, x_i veri sütünü x_j veri sütünü kullanılarak denklem 10 yardımıyla "S" değeri hesaplanır. Bu işlemler sonucunda tüm veri çiftlerinin farkı ($x_j - x_i$) ile pozitif ve negatif değerlerinin sayısının toplamı bulunmuş olur (Yagbasan vd., 2020; Demir & Tona, 2021).

$$\text{Sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{Eğer } x_i < x_j \\ 0; & \text{Eğer } x_i = x_j \\ -1; & \text{Eğer } x_j < x_i \end{cases} \quad (13)$$

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (14)$$

Veri sayısı “N” olmak üzere $N > 10$ ise seriler için varyans hesaplanır ve yaklaşık olarak normal dağılıma uygun olduğu kabul edilir. Varyans hesaplandıktan sonra Denklem 12 yardımıyla “Z” değeri hesaplanır. Hesaplanan Z değeri belirlenen olasılık düzeylerine karşılık gelen normal dağılım tablosundaki standart Z değerleriyle karşılaştırılır (Yu vd., 1993).

$$Z = \begin{cases} \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{Eğer } S > 0 \\ 0; & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (15)$$

Normal dağılımın Z değerlerine bakılarak trendin durumu ortaya konur. Hesaplanan Z değeri α anlamlılık düzeyine karşılık gelen normal dağılımın $Z(1-\alpha/2)$ değerinden büyük ise (H_0) kabul edilmemektedir. Bir başka deyişle zaman içinde bir eğilimin olduğu sonucuna varılmaktadır. Benzer şekilde Z değeri dağılım çizgisindeki $Z(1-\alpha/2)$ değerinden küçükse (H_0) kabul edilmektedir ve zaman içerisinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilimin olmadığı anlaşılmaktadır. Z değeri negatif çıkarsa azalan trend, pozitif çıkarsa artan trend olduğu sonucu çıkarılır (Demir & Tona, 2021).

2.4.2. Spearman'ın Rho testi

İki gözlem serisi arasında istatistik olarak anlamlı bir korelasyon olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir testtir. Verilerin küçükten büyüğe veya büyükten küçüğe sıralanmasından sonra her bir gözlemin R_{xi} sıra numarası belirlenir. H_0 hipotezine göre x_i değerleri üniform dağılım gösterir. Karşıt H_1 hipotezine göre ise x_i değerleri zamanla artar veya azalır. Gözlemin sırası (i) ile sıra numarası R_{xi} arasında test istatistiği aşağıdaki gibi belirlenir (İçağa, 1994).

$$r_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (R_{xi} - i)^2}{(n^3 - n)} \quad (16)$$

Burada n veri sayısı olmak üzere $n > 30$ için r_s dağılımı normal dağılıma yaklaşacağından normal dağılım tabloları kullanılabilir. r_s test istatistiği z aşağıdaki denklemden bulunur.

$$z = r_s \sqrt{n - 1} \quad (17)$$

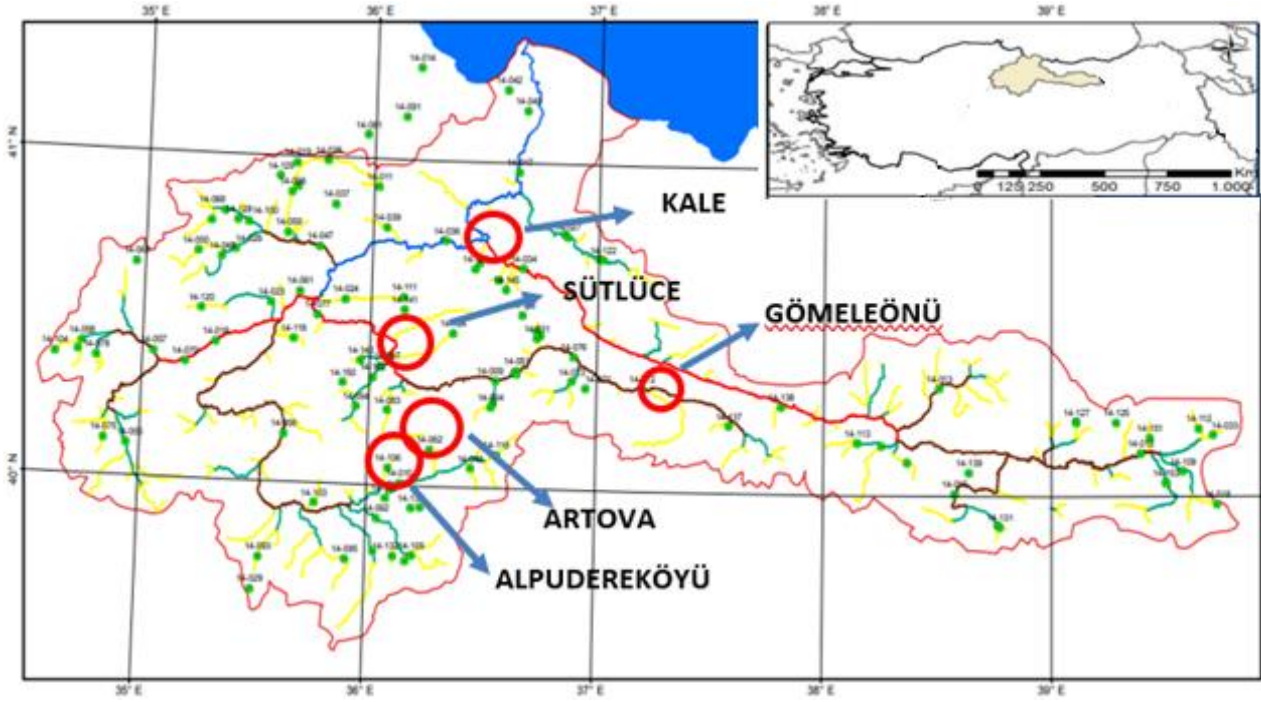
Hesaplanan z değeri α anlamlılık düzeyine karşılık gelen normal dağılımın $Z_{\alpha/2}$ değeri ile kıyaslanarak trend olup olmadığına karar verilir.

3. Çalışma Alanı

Çalışmada düşük akarsu akımlarının analizi için Devlet Su İşleri tarafından işletilen Yeşilirmak Havzası üzerinde bulunan E14A002, E14A014, E14A018, D14A106 ve D14A062 nolu Kale, Sütlüce, Gömeleönü, Artova ve Alpu dereköyü istasyonları kullanılmıştır (Şekil 1). İlgili veriler Devlet Su İşleri Samsun 7. Bölge Müdürlüğünden alınmıştır. Kullanılan veriler Kale ve Sütlüce istasyonu için 1990-2020 yılları arası Gömeleönü, Artova ve Alpu dereköyü istasyonları için 1985-2015 yılları arası olmak üzere yine 31 yıl üzerinden çalışılmıştır. Yeşilirmak Nehri, Sivas'ın kuzeyinde Köse dağ eteklerinden doğmakta ve çeşitli akarsularla birleşerek Samsun İli Çarşamba İlçesi'nde Civa Burnu'ndan Karadeniz'e dökülmektedir. Yeşilirmak Nehri yaklaşık 519 km uzunluğu ile Türkiye'nin en uzun ikinci nehridir. Kale istasyonu Tokat ili Erbaa ilçesine 16 km uzaklıktaki Kale köyüne 500 m mesafededir. Sütlüce istasyonu Turhal-Amasya karayolunun 7 Km sinde Sütlüce köyünün önündedir. Gömeleönü istasyonu ise Tokat ili Almus ilçesinden 35 km mesafede bulunmaktadır. Alpu dereköyü istasyonu Sulusaray ilçesine 5 km mesafedeki Alpu dere köyünün 1.5 km mesafesindedir. Artova istasyonu ise Artova-Sarsı yolunun 1.km'sinde yer almaktadır. Bu istasyonlar seçilirken özellikle memba kısmında Baraj veya HES'lerden etkilenmemiş olmasına dikkat edilmiş olup mevcut verilerinde eksiklik olmayan istasyonların seçilmesine çalışılmıştır. Havzada çok sayıda istasyon yer almasına rağmen doğallığını koruyan ve seçilen zaman aralığında eksik verisi olmayan istasyon sayısı sınırlıdır. Kullanılan istasyonlara ait temel bilgiler Tablo 1' de verilmiştir. Kale istasyonu yağış alanı 33904 km² ile en yüksek değere sahip istasyondur. Yağış alan çok büyük olan istasyonlar yanında yağış alanı çok küçük istasyonlar da seçilerek hem ortalama akımı yüksek hem de ortalama akımı düşük olan istasyonlarda düşük akımlar incelenmiştir.

Tablo 1: İstasyonlara ait temel bilgiler

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (K)	Boylam (D)	Yağış Alanı (km ²)	Gözlem Süresi (yıl)	Ortalama yıllık akım (m ³ /s)	Standart sapma (m ³ /s)
E14A002	Kale	40°46'48"	36°30'45"	33904.0	1990-2020	130,99	15,37
E14A014	Sütlüce	40°26'3"	36°7'5"	5409.2	1990-2020	15,56	1,79
E14A018	Gömeleönü	40°18'42"	37°7'43"	1608.0	1985-2015	17,91	0,63
D14A062	Artova	36°15'0"	40°7'0"	21,5	1985-2015	0,10	0,01
D14A106	Alpudereköyü	36°5'0"	40°3'0"	70	1985-2015	0,36	0,01

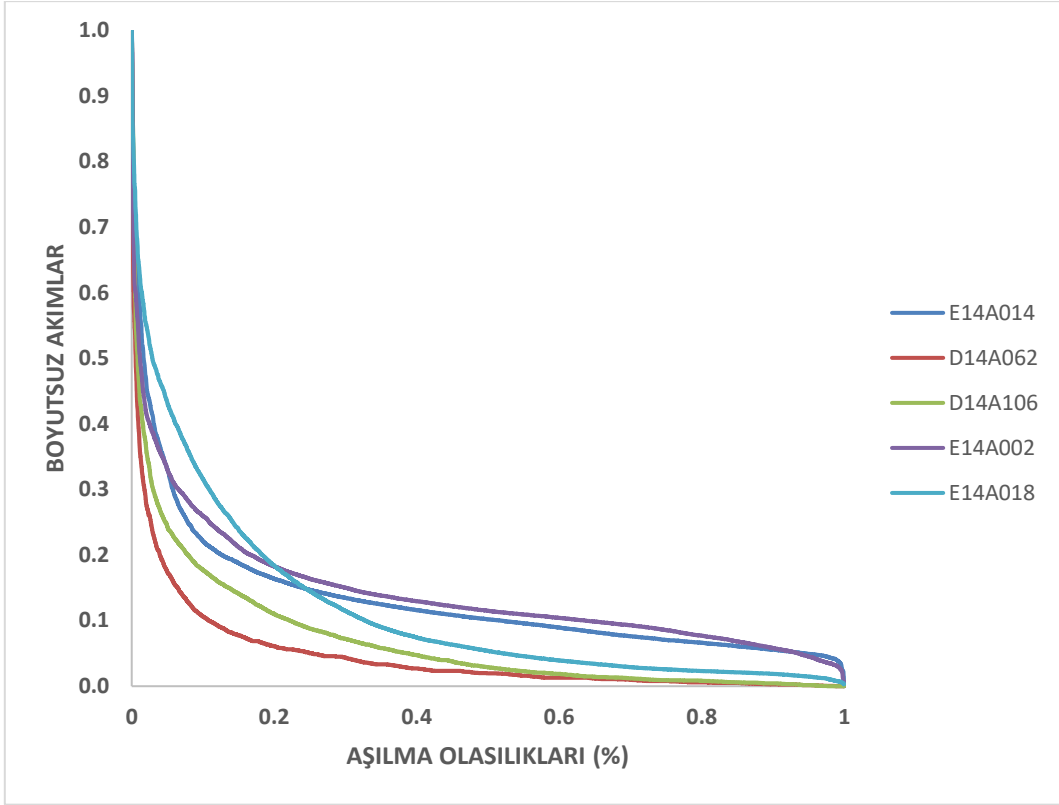


Şekil 1: Yeşilirmak havzasının haritada gösterimi ve kullanılan akım gözlem istasyonları

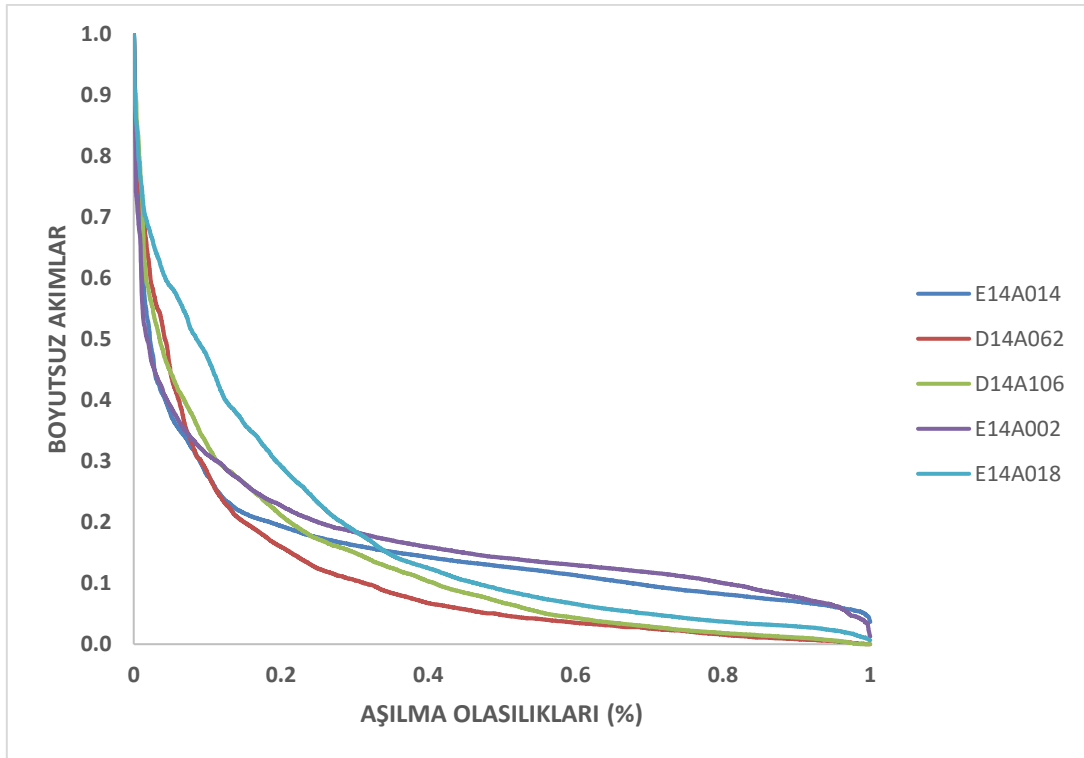
4. Bulgular

4.1. Düşük Akımların bulunması

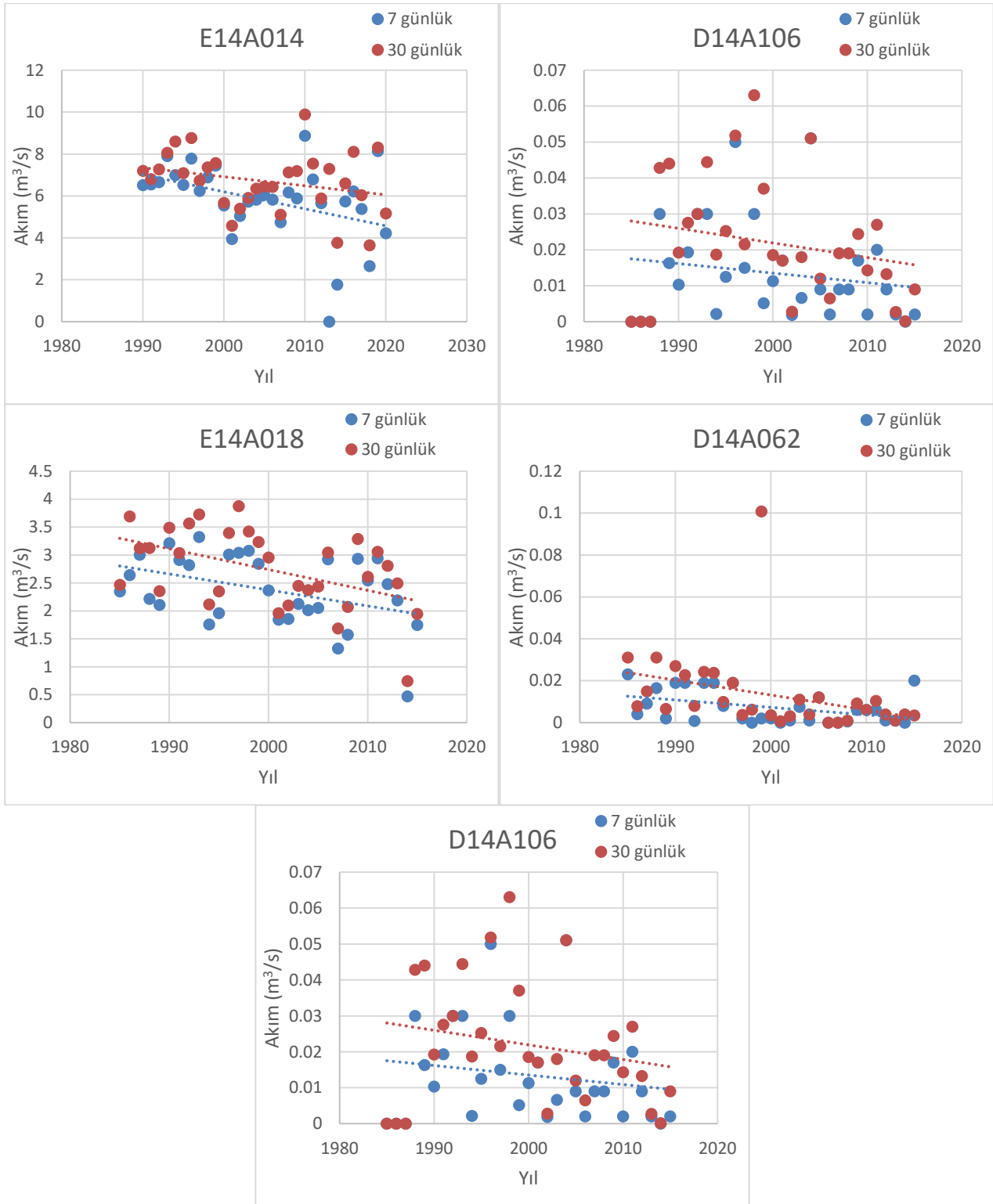
AGİ'lerde kaydedilmiş E14A014, E14A002, E14A018, D14A062 ve D14A106 no'lu Sütlüce, Kale, Gömeleönü, Artova ve Alpudereköyü istasyonlarına ait 31 yıllık günlük akım verileri kullanılarak 7 ve 30 günlük ortalama akımlar belirlenmiştir. Daha sonra debi süre grafikleri çıkartılmış ve bu grafikler yardımıyla akarsuların düşük akım göstergesi kabul edilen Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} debileri okunarak akarsuların düşük akım debileri belirlenmiştir. İstasyonlara ait 7 ve 30 günlük düşük akımlar için boyutsuz debi süre grafikleri Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Boyutsuz debi süreklilik grafikleri düşey ekseninde debilerin maksimum debiye bölünmesi ile elde edilmiştir. Bu grafiklerden okunan Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} debi değerleri ise Tablo-2 ve Tablo-3'de verilmiştir. Buna göre E14A014 Sütlüce istasyonunda 7 günlük akımlar için Q_{90} değeri 6,65 m³/s, Q_{95} değeri 5,88 m³/s ve Q_{99} değeri 4,71 m³/s dir. Bunun anlamı Sütlüce istasyonunda tüm zamanlardaki 7 günlük akımların yüzde 99'u 4,716 m³/s debisinin üzerindedir. Artova ve Alpudereköyü istasyonlarında akımların oldukça düşük olduğundan dolayı 7 günlük Q_{99} debilerinin sıfır olduğu görülmektedir (Tablo 2). Ayrıca tüm istasyonlar için 7 ve 30 günlük düşük akımların yıllara göre değişimleri Şekil 4'de gösterilmektedir. Şekil 4'de doğrusal eğilim çizgileri tüm istasyonlarda düşük akımların azalma yönünde olduğunu göstermektedir.



Şekil 2: 7 günlük düşük akımlar için boyutsuz debi süreklilik grafikleri



Şekil 3: 30 günlük düşük akımlar için boyutsuz debi süreklilik grafikleri



Şekil 4: İstasyonlara ait 7 günlük ve 30 günlük düşük akım debilerinin yıllara göre değişimi (kesikli çizgi doğrusal eğilimleri göstermektedir)

Tablo 2: 7-günlük debi süreklilik çizgilerinden elde edilen Q_{90}, Q_{95} ve Q_{99} akım değerler (m^3/s)

İSTASYON NO	Q_{90}	Q_{95}	Q_{99}
E14A014	6,65	5,88	4,71
E14A002	54,11	42,05	28,64
E14A018	2,96	2,31	1,22
D14A062	0,007	0,004	0
D14A106	0,02	0,009	0

Tablo 3: 30-günlük debi süreklilik çizgilerinden elde edilen Q_{90}, Q_{95} ve Q_{99} akım değerler (m^3/s)

İSTASYON NO	Q_{90}	Q_{95}	Q_{99}
E14A014	6,99	6,12	5,15
E14A002	59,95	49,46	31,09
E14A018	3,30	2,57	1,28
D14A062	0,01	0,01	0,001
D14A106	0,03	0,01	0

4.2. Düşük akım dağılımlarının uygunluk testi

Momentler yardımıyla dağılımların parametreleri Bölüm 2 de verilen formüller kullanılarak bulunmuştur. Dağılımların uygunluğunu test etmek için Kolmogorov-Smirnov testinden faydalanılmıştır. Dağılımlarda tüm istasyon için parametreler kullanılarak $F(x)$ fonksiyonu hesaplanıp maksimum değerleri bulunmuştur. O istasyona karşılık gelen Δ 'nın $\alpha=0,05$ ve $\alpha=0,1$ anlamlılık düzeyi için kritik değerinden küçük olup olmadığına bakılarak karşılaştırma yapılmıştır. Eğer $\Delta < \Delta_c$ ise o dağılım istasyon verilerine uygun olduğu seçilen α değerinde kabul edilir. Hem 7 hem de 30 günlük düşük akım verileri için uygunluk testleri yapılmıştır. Olasılık dağılım fonksiyonlarının belirlenmesinde sıfır akımlar çıkarıldıktan sonra gözlem süresi en az 10 yıl olan düşük akım değerleri kullanılmıştır. Buna göre E14A002 istasyonu için bütün dağılımlar hem 0,05 hem de 0,1 anlamlılık düzeyinde uygun çıktığı görülmüş olup bütün dağılımlar için en uygun istasyon olduğu tespit edilmiştir. D14A106 istasyonu için Normal ve Gumbel dağılımlarında ve E14A018 istasyonu için ise Normal dağılımda her iki anlam düzeyinde test kabul edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4: Kullanılan istasyonlara ait veriler için %90 ve %95 güven düzeyi için uygunluk testi sonuçları

İstasyon No	Dağılım Tipi	Δ_{max}	7 günlük		30 günlük	
			90%	95%	90%	95%
E14A002	Normal Dağılım	0,115	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
	Log Normal Dağılım	0,114	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
	Gumbel Dağılım	0,069	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
E14A014	Normal Dağılım	0,154	Ret	Kabul	Ret	Kabul
	Log Normal Dağılım	0,234	Ret	Ret	Ret	Ret
	Gumbel Dağılım	0,221	Ret	Ret	Ret	Ret
E14A018	Normal Dağılım	0,113	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
	Log Normal Dağılım	0,147	Ret	Kabul	Ret	Kabul
	Gumbel Dağılım	0,152	Ret	Kabul	Ret	Kabul
D14A062	Normal Dağılım	0,236	Ret	Ret	Ret	Ret
	Log Normal Dağılım	0,217	Ret	Ret	Kabul	Kabul
	Gumbel Dağılım	0,226	Ret	Ret	Ret	Ret
D14A106	Normal Dağılım	0,145	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
	Log Normal Dağılım	0,196	Ret	Ret	Ret	Kabul
	Gumbel Dağılım	0,100	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul

4.3 Farklı Olasılık Dağılımlarıyla Çeşitli Dönüş Aralıklarında Düşük Akım Debilerinin Bulunması

Bölüm 2'de verilen formüller kullanılarak ve Bölüm 4.2. deki uygunluk testi sonuçlarına göre 7 ve 30 günlük minimum debilere çeşitli olasılık dağılımları uygulanmıştır. Bölüm 4.2. de her istasyon için 0,05 anlamlılık seviyelerine göre KABUL veren dağılımlar için düşük akımlar bulunmuştur.

Kuruyan akarsularda düşük akımlar için toplam olasılık yasasına göre sıfır akımların oranı hesaba katılarak düşük akımlar belirlenmiştir. Denklem 4 ile verilen koşulu sağlamayan dönüş aralıkları için düşük akımlar sıfır olarak alınmıştır. Kullanılan dağılımlar 2 parametrelili Normal, Lognormal ve Gumbel dağılımıdır. D14A062 no'lu istasyon için tüm dağılımlar RET verdiği için düşük akımlar bulunmamıştır. Bu olasılık dağılımların yardımıyla 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıklarında 7 günlük ve 30 günlük minimum debiler tahmin edilmiştir (Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7). Bu değerlere bakıldığında en küçük debi değerlerinin genel olarak Lognormal dağılımında elde edildiği görülmüştür. Ancak 100 yıl dönüş aralığı için Normal dağılım daha düşük debiler göstermiştir. Sıfır akımların hesaba katılması ile D14A062 Artova ve D14A106 Alpu Dereköyü istasyonlarında 50 yıl ve 100 yıl dönüş aralıklarında düşük akımlar sıfır olarak kabul edilmiştir. 25 yıllık dönüş aralığı için E14A002 istasyonunda 7 günlük düşük akım normal dağılım için 14,4 m³/s, Lognormal dağılım için 16,16 m³/s ve Gumbel dağılımı için 17,89 m³/s akım değerleri bulunmuştur. Bu değerler debi süreklilik eğrisinde zamanın yüzde 99 unda görülen en küçük debi (28,69 m³/s) değerinden çok daha düşüktür.

Tablo 5: Normal dağılıma göre hesaplanmış çeşitli dönüş aralıkları için 7 ve 30 günlük düşük akım değerleri (m³/s)

Tekerrür Periyodu	Normal Dağılım									
	E14A014		E14A002		E14A018		D14A062		D14A106	
	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün
Q_2	5.79	6.70	41.38	57.83	2.37	2.74	-	0.01	0.01	0.02
Q_5	4.28	6.05	28.47	50.76	1.84	2.40	-	0	0.002	0.01
Q_{10}	3.49	5.71	21.71	47.06	1.56	2.23	-	0	0.001	0.01
Q_{25}	2.64	5.35	14.49	43.11	1.26	2.04	-	0	0.001	0.006
Q_{50}	2.10	5.12	9.88	40.58	1.07	1.92	-	0	0	0
Q_{100}	0	0	5.58	38.22	0.90	1.81	-	0	0	0

Tablo 6: Lognormal dağılıma göre hesaplanmış çeşitli dönüş aralıkları için 7 ve 30 günlük düşük akım değerleri (m³/s)

Tekerrür Periyodu	Lognormal Dağılım									
	E14A014		E14A002		E14A018		D14A062		D14A106	
	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün
Q_2	-	-	37.74	53.18	2.25	2.62	-	0,01	-	0,008
Q_5	-	-	25.12	46.12	1.65	2.31	-	0,004	-	0,003
Q_{10}	-	-	20.30	42.81	1.40	2.16	-	0,003	-	0,002
Q_{25}	-	-	16.16	39.53	1.18	2.02	-	0,002	-	0,001
Q_{50}	-	-	13.98	37.57	1.06	1.93	-	0	-	0
Q_{100}	-	-	12.20	35.83	0.95	1.85	-	0	-	0

Tablo 7: Gumbel dağılıma göre hesaplanmış çeşitli dönüş aralıkları için 7 ve 30 günlük düşük akım değerleri (m³/s)

Tekerrür Periyodu	Gumbel Dağılımı									
	E14A014		E14A002		E14A018		D14A062		D14A106	
	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün
Q_2	-	-	28.94	56.53	1.86	2.67	-	-	0.011	0.021
Q_5	-	-	27.43	50.20	1.80	2.37	-	-	0.001	0.014
Q_{10}	-	-	22.50	47.49	1.59	2.25	-	-	0.001	0.011
Q_{25}	-	-	17.89	44.97	1.40	2.13	-	-	0.001	0.008
Q_{50}	-	-	15.21	43.52	1.29	2.06	-	-	0	0
Q_{100}	-	-	12.86	42.27	1.20	2.00	-	-	0	0

4.4. Trend Analizi Sonuçları

Bu bölümde 7 ve 30 günlük yıllık minimum akımların Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho trend analizleri %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan trend analizi sonucunda 7 ve 30 günlük akımların tamamında azalan eğim bulunmuştur. İki test yöntemi de benzer sonuçlar vermiştir. 7 günlük düşük akımlarda Mann Kendall testine göre E14A014 Sütluce istasyonu için $z=-2,38$ ve D14A062 Artova istasyonu için $z=-2,35$ elde edilerek istatistiksel olarak önemli azalan trend belirlenmiştir (Tablo 8). Spearman Rho testinde ise Mann-Kendall testine göre farklı olarak E14A018 Gömeleönü istasyonunda da istatistiksel olarak önemli azalan trend belirlenmiştir ($z=-1,98$).

30 günlük minimum akımlara ait trend analizi sonucunda ise E14A018 Gömeleönü ve D14A062 Artova istasyonu için istatistiksel olarak önemli azalma trendi belirlenmiştir (Tablo 9). Ayrıca, Şekil 4'deki doğrusal eğilim çizgileri de tüm istasyonlarda düşük akımların azalma yönünde olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar havzada düşük akımlarda azalma olduğunu net şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 8: İstasyonlara ait 7 günlük minimum akımların Trend analizi sonuçları ($Z_{kritik, \alpha = 0,05} = \pm 1,96$)

İstasyon No	İstasyon Adı	Ölçüm Aralığı	Mann-Kendall testi			Spearman'ın Rho testi	
			S	Z	Trend	z	Trend
E14A014	Sütlüce	1990-2020	-141	-2,38	Azalan trend	-2,49	Azalan trend
E14A002	Kale	1990-2020	-86	-1,44	Trend yok	-1,62	Trend yok
E14A018	Gömeleönü	1985-2015	-111	-1,87	Trend yok	-1,98	Azalan trend
D14A062	Artova	1985-2015	-139	-2,35	Azalan trend	-2,07	Azalan trend
D14A106	Alpudereköyü	1985-2015	-54	-0,90	Trend yok	-0,61	Trend yok

Tablo 9: İstasyonlara ait 30 günlük minimum akımların Trend analizi sonuçları ($Z_{kritik, \alpha = 0,05} = \pm 1,96$)

İstasyon No	İstasyon Adı	Ölçüm Aralığı	Mann-Kendall testi			Spearman'ın Rho testi	
			S	Z	Trend	z	Trend
E14A014	Sütlüce	1990-2020	-75	-1,26	Trend yok	-1,45	Trend yok
E14A002	Kale	1990-2020	-70	-1,17	Trend yok	-1,14	Trend yok
E14A018	Gömeleönü	1985-2015	-143	-2,41	Azalan trend	-2,47	Azalan trend
D14A062	Artova	1985-2015	-196	-3,31	Azalan trend	-3,27	Azalan trend
D14A106	Alpudereköyü	1985-2015	57	-0,95	Trend yok	-1,14	Trend yok

5. Sonuçlar ve Öneriler

Ülkemizde akarsularımızın çoğunda yaz aylarında yağış azlığı veya insan faktörleri gibi sonuçlar neticesinde kurumuştur. Artan kirlilikle birlikte kullanılabilir su miktarı da azalarak tehlikeye girmektedir. Bu sebeplerden dolayı akarsulardaki su kalitesini artırmak ve gerekli suyu çekebilmek için düşük akım çalışmaları yapılmalıdır.

Bu çalışmada hem gözlenmiş değerlerden elde edilen debi süreklilik denklemleri hem de istatistiksel dağılımlardan faydalanılarak düşük akım değerleri elde edilmiştir. Yeşilirmak Havzası'nda Sütlüce, Kale, Gömeleönü, Artova ve Alpudereköyü istasyonları için 7 ve 30 günlük düşük akımlarının hidrolojik analizleri yapılarak zamanın yüzde 90, 95 ve 99 undan az görülebilecek kritik kuraklık debileri bulunmuştur. Ayrıca düşük akımlar için olasılık dağılımlarından Normal, Lognormal ve Gumbel dağılımları kullanılarak çeşitli dönüş aralıklarında düşük akım tahminleri yapılmış ve uygunluk testleri ile hangi dağılımın uygun olduğu kontrol edilmiştir. Ortalama akımı yüksek olan istasyonlar yanında ortalama akımı düşük olan istasyonlarda analiz edilmiştir. Kuruyan akarsulardaki sıfır akımlarda hesaba katılarak olasılık dağılımları Toplam olasılık yasasına göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre genel olarak Lognormal dağılımın daha düşük debiler verdiği ancak uzun dönem (100 yıl) için Normal dağılımın düşük değerler verdiği görülmüştür. İstasyonların verilerinin dağılım uygunluk testine göre %95 anlam düzeyi için genel olarak Normal dağılıma uyduğu görülmüştür. Önceki çalışmalarda ise Özen (2001) Türkiye'deki 11 akarsuyu kullanmış ve bunlara Lognormal, Weibull ve Üstel dağılımları uygulamış olup, 11 istasyonun 2 tanesinde Lognormal dağılımın, 7 tanesinde Weibull dağılımın ve 2 tanesinde de Üstel dağılımın uygun olduğunu görmüştür. Yine Aksoy vd (2018) ise çoğunlukla 3 parametrelili Lognormal ve Weibull dağılımının uygun olduğunu bulmuşlardır. Buna göre Lognormal dağılımın düşük akımları temsil etmekte uygun olduğu düşünülebilir.

Çalışmada 7 ve 30 günlük minimum debilerin trend analizi yapılmıştır. Mann-Kendall testine göre 7 günlük minimum akımlar için Sütlüce ve Artova istasyonunda ve 30 günlük minimum akımlar için Gömeleönü ve Artova istasyonunda istatistiksel önemli azalan trend belirlenmiştir. Spearman'ın Rho testinde benzer sonuçlar vermekle birlikte farklı olarak 7 günlük düşük akımlar için Gömeleönü istasyonunda da azalan trend belirlenmiştir. Ayrıca genel olarak tüm istasyonlarda negatif z değeri belirlenmiştir. Buna göre Yeşilirmak havzasındaki minimum akımlarda zaman içinde azalma görülmüştür. Bu azalmanın etkisiyle akarsularda özellikle yaz aylarında kurumalar beklenebilir. Bu çalışmada olasılık dağılımları ile yüksek periyotlarda beklenen en düşük akımlar belirlenmiş sonrada trend analizi ile düşük akımların zamansal değişimi belirlenerek gelecekte beklenen düşük akımların daha da azalmasının öngörülebileceği ortaya konmuştur. Bu sonuçlar özellikle su kaynaklarının planlanması ve kuraklığa karşı önlemler alınması açısından faydalı olabilecektir. Düşük akımlarda yağışın etkisi, türünün ve şiddetinin değişmesi, miktarının azalması gibi faktörler etkilidir. Düşük akımlar akarsuda daha çok kurak yaz dönemlerinde kendini gösterir.

Kurak dönemler ise toprak nemi, yer altı suyu ve baraj işletmesi açısından önemlidir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında ileride havzada kuraklıkla ilgili sorunlar yaşanma ihtimali görülmektedir. Gelecekte akarsulardaki hidrolojik çalışmalara önem verilerek, suyu etkin kullanmak ve önlemler almak için çalışmalara başlanmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan verilerin temininde gösterdiği kolaylık nedeniyle DSİ Genel Müdürlüğüne ve Samsun 7.Bölge Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Aksoy, H., Eriş, E., Önöz, B., Çetin, M., Yüce, M. İ., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. İ., Eşit, M., Yıldırım, İ., & Karakuş, E. Ü. (2018). Düşük akımların frekans analizi ve çevresel akış ile ilişkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 9(1), 503–514.
- Aksoy, H., Eriş, E., Önöz, B., Çetin, M., Yüce, M.İ., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H.İ., Eşit, M., Yıldırım, İ., & Karakuş, E.Ü. (2017, 4–6 Ekim). *Kuruyan akarsularda düşük akımların frekans analizi* [Bildiri sunumu]. IX. Ulusal Hidroloji Kongresi, Diyarbakır, Türkiye.
- Bayazit, M., & Oğuz, B. (1994). *Mühendisler için istatistik*. Birsen Yayınevi.
- Crocker, K. M., Young, A. R., Zaidman, M. D., & Rees, H. G. (2003). Flow duration curve estimation in ephemeral catchments in Portugal. *Hydrological Science Journal*, 48(3), 427–439. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.3.427.45287>
- Demir, V. (2020). *Samsun Mert Havzasında bir ve iki boyutlu modeller ile taşkın alanlarının belirlenmesi* [Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Demir, V., & Tona, U. A. (2021). Debi-süreklilik eğrisi yardımıyla taban akımının hesaplanması: Samsun Kürtün Irmağı örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 24, 502–507. <https://doi.org/10.31590/ejosat.916024>
- Dracup, J. A., Lee K. S., & Paulson, E. G. (1980). On the definition of droughts. *Water Resources Research*, 16(2), 297-302. <https://doi.org/10.1029/WR016i002p00297>
- Durak, S. (2000). *Düşük akım hidrolojisi ve Ege Bölgesi uygulaması* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- İçağa, Y. (1994). *Analysis of trends in water quality using nonparametric methods*. [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Gumbell, E. J. (1958). *Statistics of extremes*. Columbia University Press.
- Keskin, A., & Demir, V. (2022). Yeterince akım ölçümü olmayan nehirlerde taşkın debisinin hesaplanması ve taşkın modellemesi (Samsun, Mert Irmağı örneği). *Geomatik*, 7(2), 149-162. <https://doi.org/10.29128/geomatik.918502>
- Kapluhan, E. (2013). Türkiye’de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 27, 487–510.
- Mahnamfar, F. (2012). *Iran’ın karun üst havzasındaki düşük akımların analizi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Matalas, N. C. (1963). *Probability distributions of low flows* (Professional Paper 434-A). United States Government Printing Office. <https://pubs.usgs.gov/pp/0434a/report.pdf>
- Önöz, B., & Bulu, A. (1996). Trakya Bölgesinde Düşük Akımların Frekans Analizi. *İ.M.O Teknik Dergi*, 7, 1243–1254.
- Özen, B. (2001). *Türkiye’deki nehirlerin düşük akımlarına en uygun olasılık dağılım fonksiyonlarının araştırılması* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Saka, F., & Yüksek, Ö. (2017). Regionalisation of discharges having certain exceedance probabilities and Eastern Black Sea Basin sample. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 335–342. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.322154>
- Sarış, F. (2016). Porsuk çayı havzasında düşük akım analizi. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 33, 73-81.
- Sırdaş, S. (2002). *Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması* [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Şen, Z. (2009). *Taşkın afet ve modern hesaplama yöntemleri*. Su Vakfı Yayınları.
- Yagbasan, O., Demir, V., & Yazıcıgil, H. (2020). Trend analyses of meteorological variables and lake levels for two shallow lakes in central Turkey. *Water*, 12(2), Article 414. <https://doi.org/10.3390/w12020414>
- Yıldırım, O. (2012). *Fırat Havzası’nda düşük akımların analizi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Yu, Y. S., Zou, S., & Whittemore, D. (1993). Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150(1), 61–80. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90156-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90156-4).
- Zaman, G. T. (2016). *Doğu Karadeniz Havzasında debi süreklilik eğrileri yardımıyla brüt hidroelektrik potansiyel tahmini ve türbin seçimi* [Yüksek lisans tezi, Gümüşhane Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>