

Seyhan Havzası'nda düşük akımların analizi

Selman BAYSAL^{1*}, S. Utku YILMAZ², F. Sencer KAÇAR³, Bihrat ÖNÖZ⁴

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl., Terzioğlu Yerleşkesi, Çanakkale.

²İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl., Maslak Kampüsü, İstanbul.

³Türk-Alman Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl., Beykoz, İstanbul.

⁴Işık Üniversitesi, Müh. ve Doğa Bil. Fak. İnşaat Müh. Böl., Şile Kampüsü, İstanbul.

Geliş Tarihi (Received Date): 07.05.2025

Kabul Tarihi (Accepted Date): 23.05.2025

Öz

Bu çalışmada Seyhan Havzası'nda yer alan istasyonlarda düşük akım analizi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda kısa, orta ve uzun vadeli kuraklık tespiti için $d = 1, 7, 10$ ve 15 günlük yıllık ortalama minimum debi değerleri kullanılarak düşük akım frekans analizi yapılmıştır. İki parametrelili Log-Normal (LN2), Gamma (G2), Weibull (W2), Üstel (E2), Gumbel (GEV-I), Lojistik (L2) dağılımları ile üç parametrelili GEV (GEV-III), Log-Normal (LN3), Pearson Tip III (P3), Log-Pearson Tip III (LP3) ve Genel Lojistik (GL3) dağılımları kullanılarak farklı dönüş aralıklarına sahip düşük akım tahminleri gerçekleştirilmiştir. Kolmogorov-Smirnov (K-S) uygunluk testi ile farklı istatistiksel dağılımların mevcut zaman serilerine uygunluğu tespit edilmiştir. Elde edilen düşük akımlardaki eğimin (trend) belirlenmesi için Mann-Kendall (MK), Trend-Free Pre-Whitening (TFPW) ve yenilikçi trend analizi (ITA) testleri uygulanmıştır. Çalışmada altı farklı istasyon ölçümleri kullanılarak elde edilen bulgular, Seyhan Havzası'nda en iyi tahminlerin LN2, P3, GEV-III ve LN3 dağılımları ile elde edildiğini göstermiştir. Seçilen anlamlılık düzeyinde üç istasyonda azalan trend bulunmuş olup, anlamlı bir trend tespit edilemeyen diğer istasyonlarda ITA testleri ile azalan bir eğilim belirlenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, bu istasyonlarda özellikle son 10-15 yıllık süreçte ölçülen debilerin önemli miktarda azaldığı ve dolayısıyla küresel iklim değişikliği de göz önüne alındığında kuraklık riskinin olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Seyhan Havzası, düşük akım analizi, kuraklık riski.

*Selman BAYSAL, selmanbaysal@comu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-5917-3542>

S. Utku YILMAZ, yilmazselaha@itu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-4789-6663>

F. Sencer KAÇAR, furkan.kacar@tau.edu.tr, <https://orcid.org/0009-0000-1764-8207>

Bihrat ÖNÖZ, bihrat.onoz@isikun.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-4531-2476>

Low flow analysis in the Seyhan Basin

Abstract

In this study low-flow analysis was conducted at various measurement stations within the Seyhan Basin. Low-flow frequency analysis was performed to estimate the drought risks in the short, medium, and long term using annually-averaged minimum discharge values corresponding to durations of $d = 1, 7, 10$, and 15 days. Low-flow estimates for different return periods were obtained using both two-parameter distributions, namely Log-Normal (LN2), Gamma (G2), Weibull (W2), Exponential (E2), Gumbel (GEV-I), and Logistic (L2), and three-parameter distributions, namely Generalized Extreme Value (GEV-III), Log-Normal (LN3), Pearson Type III (P3), Log-Pearson Type III (LP3), and Generalized Logistic (GL3). The goodness-of-fit between the various probability distributions and observed time series was investigated using the Kolmogorov-Smirnov (K-S) test. To observe trends in the low flows estimated by these distributions, various statistical tests were applied, including the Mann-Kendall (MK), Trend-Free Pre-Whitening (TFPW), and innovative trend analysis (ITA). The results obtained using measurements from six different stations indicate that the most accurate estimations for the Seyhan Basin were obtained using the P3, GEV-III, and LN3 distributions. At the designated significance level, a decreasing trend was observed at three stations. For the remaining stations where no statistically significant trend was identified, ITA tests revealed a negative trend. Based on these findings, it can be concluded that the flow rates measured at these stations have substantially decreased, suggesting a potential drought risk in the region.

Keywords: *Seyhan Basin, low-flow analysis, drought risk.*

1. Giriş

Belirli bir bölgede, su miktarında normal düzeye göre uzun bir süre boyunca görülen eksiklik olarak tanımlanan kuraklık, ekstrem durumları ifade etmektedir [1]. Düşük akımlar ise, kuraklık çalışmalarında kullanılan ve her akım yılında görülebilen normalden düşük değerlere sahip akımlar olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, akarsu havzalarında düşük akımların hidrolojik ve istatistiksel anlamda incelenmesi ve bu akımların olasılık dağılımlarının belirlenmesi, mevcut su kaynaklarının verimli kullanımı, kuraklık riskinin belirlenmesi ve ekosistemlerin korunması açısından büyük önem arz etmektedir [2].

Hidrolojide düşük akımların incelenmesinde kullanılan yöntemler, genellikle düşük debilerin frekans, süre ve şiddet yönünden analiz edilmesini ve gelecekteki düşük akım risklerinin belirlenmesini hedefler. Özellikle iklim değişikliği etkilerinin giderek önem kazandığı günümüzde, düşük akımların istatistiksel ve zamana bağlı değişim analizi yöntemleri kritik bilgiler sağlamaktadır. Düşük akımların incelenmesinde istatistiksel dağılımlara bağlı debi tahminleri, trend analizi, gidişler (runs) analizi ve kuraklık indeksleri gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan düşük akım frekans analizi, belirli sürelerdeki düşük akımların istatistiksel özelliklerinin belirlenmesini, böylece düşük akımların ve kurak dönemlerin olasılık temelli öngörülebilmesini mümkün kılması

nedeniyle [3, 4] özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde hem ekosistem sürdürülebilirliği hem de tarımsal ve kentsel su temini açısından oldukça önemli bir analizdir [5, 6].

Düşük akım analizlerinde farklı coğrafi ve iklimsel koşullara sahip bölgelerde Log-Normal, Weibull, Pearson Tip III ve Genel Ekstrem Değer (GEV) gibi çeşitli istatistiksel dağılımlar kullanılmaktadır [7]. Türkiye’de gerçekleştirilen birçok çalışma düşük akımların genellikle iki ve üç parametrelili olasılık dağılımlarına uyduğunu ortaya koymaktadır. Önöz ve Bayazıt [8] 16 farklı nehirde düşük akımları incelemiş ve Weibull dağılımının log-normal dağılıma göre verileri daha iyi temsil ettiğini ortaya koymuşlardır. Eriş vd. [9] çalışmasında farklı bölgelerdeki akış zaman serilerini farklı olasılık dağılımları için incelemiş ve verilerin çoğunlukla 3 parametrelili Log-Normal (LN3) ve Weibull dağılımlarına uyduğunu göstermişlerdir. Yılmaz vd. [10], Seyhan Havzası’nda farklı istasyonlarda gerçekleştirdikleri düşük akım ve kuraklık analizleri sonucunda 2 parametrelili Log-Normal (LN2) ve Weibull dağılımlarının düşük akımları en iyi temsil ettiğini göstermişlerdir. Öte yandan, Türkiye’de son yıllarda yapılan çalışmalarda, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde düşük akımların ciddi oranda azalan bir trende sahip olduğu tespit edilmiştir [18-20].

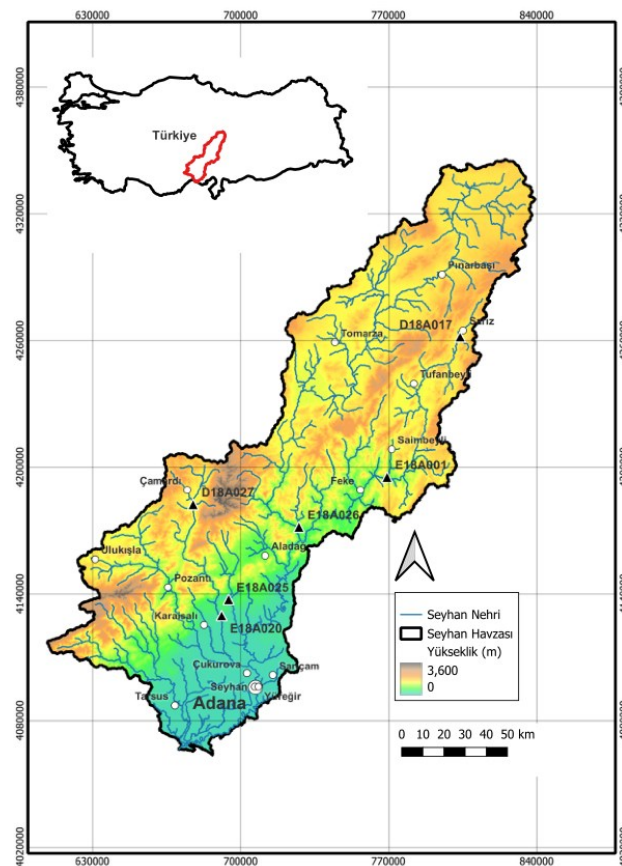
Uygun dağılım fonksiyonunun seçiminde performans ölçütlerinin doğru belirlenmesi kritik rol oynamaktadır. Bu bağlamda, dağılım fonksiyonlarının ölçülen düşük akım verilerine uygunluğunu değerlendirmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov (K-S) ve Anderson-Darling (A-D) gibi testlerin kullanılması önerilmektedir [9, 11-13].

Hidrolojik verilerdeki zamansal eğilimlerin (trendlerin) belirlenmesi, düşük akım karakteristiklerinin uzun vadeli değişimini değerlendirmek açısından önemlidir. Parametrik olmayan Mann-Kendall trend testi ve Yue ve Wang [14] tarafından seri korelasyonunun varlığında kullanılması önerilen Trend-Free Pre-Whitening (TFPW) yaklaşımları sıkça kullanılan trend analizi yöntemleridir. Ayrıca Şen [15] tarafından geliştirilen ve parametrik olmayan yenilikçi trend analizi (Innovative Trend Analysis, ITA), görsel bir trend analizi olup verilerin dağılımından ve otokorelasyonundan etkilenmemesi sebebiyle oldukça tercih edilmektedir. Mann-Kendall testi, parametrik olmayan doğası nedeniyle birçok çalışmada kullanılırken, TFPW yöntemi seri korelasyonunun etkisini ortadan kaldırarak daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır [16, 17].

Bu çalışmada amaç, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve mülga Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) günlük ortalama akım gözlem verilerinden yararlanılarak Türkiye’nin önemli su kaynaklarından biri olan Seyhan Havzası’nda yer alan E18A001, D18A017, E18A020, E18A025, E18A026 ve E18A027 numaralı ölçüm istasyonlarında (Şekil 1 ve Tablo 1) bir düşük akım analizi gerçekleştirmektir. Bu akım gözlem istasyonları için $d = 1, 7, 10$ ve 15 günlük minimum yıllık ortalama debiler kullanılarak hem iki hem de üç parametrelili dağılımlar ile düşük akım tahminleri yapılmıştır. Elde edilen tahmin dağılımlarının gözlenen düşük akım verilerine uygunluğunu değerlendirmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov (K-S) uygunluk testleri yapılmıştır. Son olarak, Mann-Kendall, TFPW ve ITA trend testleri ile verilerin trend analizleri gerçekleştirilmiştir. Tüm çalışma boyunca açık kaynak kodlu R® ve MATLAB® yazılımlarından yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçların, bölgesel su yönetimi stratejilerine ve çevresel sürdürülebilirlik politikalarına bilimsel zemin sağlaması beklenmektedir.

Tablo 1. Bu çalışmada incelenen gözlem istasyonlarına ait bilgiler (Bu veriler, DSİ resmî internet sayfasında yer alan *Akım Gözlem Yıllıkları*’ndan alınmıştır).

İstasyon numarası ve adı	Yağış alanı (km ²)	Yaklaşık Yükselti (m)	Gözlem süresi	Ortalama debi (m ³ /s)	En düşük debi (m ³ /s)
E18A001 Göksu - Himmetli	2596.8	665	1988 – 2011	26.53	8.63
D18A017 Sarız Suyu - Darıdere	202.7	1548	1997 – 2011	1.52	0.07
E18A020 Körkün Suyu – Hacı Köp.	1440.8	167	1988 – 2015	10.94	0.59
E18A025 Eğlence Deresi - Eğribük	544,5	222	1988 – 2015	8.19	0.95
E18A026 Zamanti Nehri - Ergenüşağı	8698.1	360	1988 – 2015	59.36	10.10
E18A027 – Zamanti Nehri - Değirmenocağı	7718.0	740	1988 – 2015	22.69	0.88



Şekil 1. Seyhan Havzası'nın coğrafi konumu ve çalışmada incelenen gözlem istasyonları (istasyon numaralarındırmasında DSİ güncel *Akım Gözlem Yıllıkları* notasyonu kullanılmış olup, “D” DSİ ölçümlerini, “E” ise mülga EİE akım gözlem istasyonlarını belirtmektedir).

2. Metot

Düşük akım frekans analizinin amacı, belirli bir sürede meydana gelen minimum akımların istatistiksel dağılımını analiz ederek, belirli düşük akım olaylarının tekrarlanma olasılığını tahmin etmektir. Bu bağlamda, incelenen kuraklık türüne göre farklı minimum

ortalama akım serileri kullanılmaktadır. Örneğin $d = 1$ günlük minimum akımlar yıl içindeki en düşük debi değerini ifade etmekte olup şiddetli-kısa süreli veya ani hidrolojik kuraklık tespitinde sıkça kullanılırken, $d = 7$ ve $d = 10$ günlük minimum akımlar ise genellikle orta vadeli hidrolojik kuraklık veya zirai kuraklık analizleri ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca, uzun süreli hidrolojik kuraklıkların tespitinde $d = 15$ günlük minimum akımlar kullanılmakta olup elde edilen veriler bölgesel su kaynaklarının yönetimi açısından oldukça önem arz etmektedir.

Düşük akımların analizinde debi süreklilik çizgisi ve yıl içi debi-frekans çizgisi gibi çizgiler düşük akım dönemlerinde akarsudaki suyun kullanılması konusunda karar vermekte yardımcı olur [2]. Debi süreklilik çizgisi, bir akarsuyun belirli bir gözlem aralığı boyunca elde edilen günlük akım verilerine dayanarak yatay ekseninde aşılma yüzdesi ile düşey ekseninde debi olacak şekilde çizilen ve akarsuda farklı debi değerlerinin zaman içinde ne sıklıkla aşıldığını göstermektedir. Böylece akarsuda debinin genel karakteristiği belirlenerek farklı dönemlerde rejim değişimi veya dönemsel (yıllık, mevsimsel, vb.) etkileri incelenebilmektedir. Akarsuyun düşük akım ve kurak dönemlerindeki akım potansiyelini belirlemekte ise sıklıkla kullanılan yıl içi debi frekans çizgisi, bir hidrolojik yıl içerisinde herhangi bir d -günlük (örneğin $d = 10$) yıl içerisindeki en düşük akım değerlerinin frekans dağılımı ve bu dağılımlar kullanılarak herhangi bir debinin akarsuda ne sıklıkla görüleceğini analiz etmek için kullanılmaktadır. İlgili d -günlük yıllık ortalama minimum debiler belirlenip bu değerlerin artan değer sırasına göre dönüş aralıkları (T) denklem (1) ile belirlenebilmektedir.

$$T = \frac{n+1-2a}{m-a} \quad (1)$$

Burada m verinin sırasını, n gözlem yılı süresini, a ise verilerin uyduğu kabul edilen farklı olasılık dağılımları için değerler alan bir sabiti (örneğin Weibull dağılımı için $a = 0$ iken gamma dağılımı için $a = 0.5$ alınmaktadır) ifade etmektedir (ayrıntılı bilgi için bkz. Bayazıt ve Önöz [2]).

Düşük akımların istatistiksel anlamda yorumlanabilmesi için iki ve üç parametrelili dağılım fonksiyonları ile mevcut verilerden tahminlerin yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada iki parametrelili Log-Normal (LN2), Gamma (G2), Weibull (W2), Üstel (E2), Gumbel (GEV-I), Lojistik (L2) dağılımları ile üç parametrelili GEV (GEV-III), Log-Normal (LN3), Pearson Tip III (P3), Log-Pearson Tip III (LP3) ve Genel Lojistik (GL3) olasılık dağılımları kullanılarak debiler incelenmiştir. Bu çalışmada, yukarıda belirtilen olasılık dağılımları parametreleri L-momentleri yöntemi ile hesaplanmış olup bu dağılımların ait olasılık yoğunluk standart tanımlarıyla kullanılmıştır.

Gözlenen düşük akım verilerinin istatistiksel dağılımlar ile elde edilen ve belirli dönüş aralıklarına sahip teorik debi değerlerine uygunluğu Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi ile kontrol edilmiştir. Bu test, gerçek veri ve teorik dağılım fonksiyonları arasındaki en büyük mutlak farkı (d istatistiği) ve buna karşılık gelen istatistiksel anlamlılığı (p -değeri) değerlendirmektedir.

Düşük akımların analizinde göz önüne alınan bir diğer istatistiksel durum ise, ölçülen zaman serisinde rastgele değişkenin değerinde istatistik anlamda sürekli bir değişme (trend) olup olmadığıdır. Trend analizi farklı istatistik testlerle gerçekleştirilmektedir. En güçlü testlerden biri olarak kabul edilen Mann-Kendall trend testi, parametrik olmayan bir analiz olup rastgele değişkenin dağılımından bağımsızdır. Bu sayede test çok farklı

veri setleri için uygulanabilmektedir. Mann-Kendall testi sonucunda zaman serilerindeki trendin varlığı *sıfır hipotezi* H_0 ile kontrol edilmektedir. Bu hipoteze göre denklem (2) ile elde edilen test istatistiği Z 'nin mutlak değeri seçilen α anlamlılık düzeyine karşılık gelen standart normal dağılımın $Z_{\alpha/2}$ değerinden büyük ise ($|Z| > Z_{\alpha/2}$) sıfır hipotezi H_0 reddedilmekte, yani incelenen zaman serisinde trend olduğu sonucuna varılmaktadır. Z 'nin pozitif değerleri artan bir trend olduğunu gösterirken negatif değerleri ise azalan bir trend olduğunu belirtmektedir.

$$Z = \begin{cases} (S - 1)/\sigma_S, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ (S + 1)/\sigma_S, & S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Burada test istatistiği S , zaman serisindeki her bir veri çifti arasında yapılan karşılaştırmaların toplamı olup pozitif veya negatif değerler olarak eğilim yönünü göstermektedir. S 'nin çok büyük veya çok küçük değerler alması trendin var olabileceği olasılığını güçlendirmektedir. Yukarıdaki denklemde görülen σ_S ise S 'nin standart sapması olup denklem (3) ile elde edilmektedir:

$$\sigma_S = \sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}} \quad (3)$$

Yue vd. [16], Mann-Kendall testinin gücü ile ilgili yaptıkları çalışmalar sonucunda bu testin parametrik olmamasına rağmen gücünün seçilen istatistiksel dağılımlara göre değiştiğini ortaya koymuştur. Ayrıca testin gücünün GEV Tip III dağılımı için en yüksek, Log-Normal dağılım için ise en düşük olduğunu; trendin eğiminin, örnek büyüklüğünün ve anlamlılık düzeyinin testin gücünü etkilediği görülmüştür. Testin gücü üzerine yapılan çalışmalarda, iç bağımlılığın Mann-Kendall trend analizinin sonuçlarını etkilediği görülmüştür [2]. AR(1) modeli (denklem 4) ile yapılan Monte Carlo deneylerinde trend olmayan serilere uygulanan Mann-Kendall testinde iç bağımlılık arttıkça “trend yok” hipotezinin reddedilme olasılığı α düzeyinin çok üzerine çıkmaktadır [21].

$$x_i = \rho_1 x_{i-1} + \varepsilon_i \quad (4)$$

Denklem (4)'te ρ_1 zaman serilerinin 1-aralıklı serisel korelasyon katsayısını, ε_i ise kalıntı terimini ifade etmektedir. Önöz ve Bayazıt [22] çalışmasına göre ρ_1 'in 0.5'e kadar değerlerinde örnek küçük olsa bile ($n = 20$) pre-whitening iç bağımlılığın etkisini gidererek H_0 'ın reddedilme olasılığını α değerine düşürmektedir. $\rho_1 = 0.8$ gibi çok yüksek değerlerde $\alpha = 0.05$ için pre-whitening işleminden önce 0.40 olan ret olasılığı 0.12'ye düşmekte, büyük örneklerde (örneğin $n = 50$) 0.48'den 0.09'a düşüş görülmektedir. Bu sonuçlara göre trend olmayan serilerde pre-whitening sıfır hipotezi H_0 'ın reddedilmesi olasılığını seçilen α değerine yaklaştırarak gerçekte olmayan bir trendin var olduğu sonucuna varılmasını engellemektedir.

Yue ve Wang [23] trend bulunan serilerde iç bağımlılığın Mann-Kendall testine etkisini gidermek için pre-whitening yapmanın uygun olmadığı sonucuna varmışlardır. Zira pre-whitening trend bulunan serilerde testin gücünü önemli oranda azaltmaktadır [2]. Pre-whitening'in söz konusu olumsuz etkilerine karşılık Yue ve Wang [14, 23] serisel korelasyon olan serilerde trend analizi için farklı bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemle öncelikle trendin eğimi (b) belirlenmektedir ve trend ayrılmaktadır. Elde edilen ve trendi olmayan y_i serisinde pre-whitening uygulanarak serinin iç bağımlılığı giderilerek

Mann-Kendall testi ile trend analizi yapılmaktadır. Bu sayede iç bağımlılık giderilerek testin gücünün de azalmaması sağlanmaktadır.

Parametrik olmayan ve görsel açıdan sıkça kullanılan bir diğer yöntem ise yenilikçi trend analizidir [15]. Bu yöntemde zaman serisi ilk yarı (geçmiş dönem) ve ikinci yarı (yakın dönem) olmak üzere iki eşit parçaya ayrılarak her bir parçadaki değerler büyüklüklerine göre sıralanır ve karşılıklı olarak noktasal dağılım ile çizdirilir. Çizdirilen noktaların 1:1 doğrusuna göre grafikteki konumlarına göre analiz yapılır. Örneğin noktalar 1:1 eğrisinin üzerinde yer alıyorsa trendin olmadığı, yukarısında ve altında ise sırası ile artan ve azalan trend olduğu anlamına gelmektedir.

3. Bulgular

3.1. En uygun dağılımların belirlenmesi

Bu çalışmada, Seyhan Havzası **1801, 1817, 1820, 1825, 1826 ve 1827** numaralı ölçüm istasyonlarının (bkz. Şekil 1 ve Tablo 1) verileri kullanılarak elde edilen $d=1, 7, 10$ ve 15 günlük yıllık ortalama minimum debi değerleri ile düşük akım analizi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, açıklayıcı olması ve yer kısıtlamasının bulunması sebebiyle sadece 1827 numaralı ölçüm istasyonunda $d = 7$ ve $d = 15$ günlük yıllık ortalama minimum debiler sırası ile orta vadeli hidrolojik-zirai kuraklık ve uzun süreli kuraklıkların tespitinde kullanılması nedeni ile tercih edilmiş ve elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak verilmiştir. Tablo 3'te 1827 numaralı istasyona ait istatistiksel parametreler sunulmuştur.

Tablo 3. 1827 numaralı istasyona ait istatistiksel parametreler.

Parametre	$d = 7$	$d = 15$
Ortalama (μ_x)	7.22	7.47
Standart sapma (σ_x)	4.24	4.22
Medyan	5.54	5.88
Varyasyon katsayısı (c_{vx})	0.59	0.57
Çarpıklık katsayısı (c_{sx})	0.65	0.61
Kurtosis (k)	2.22	2.21

Bu çalışmada kullanılan Kolmogorov-Smirnov (K-S) uygunluk testinin sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Burada D istatistiği, gözlenen örneklem dağılım fonksiyonu ile belirli bir teorik dağılım fonksiyonu arasındaki maksimum mutlak farkı temsil etmekte olup istatistiğin küçük değerleri gözlenen verinin teorik dağılıma daha iyi uyduğunu göstermektedir. Buna karşılık, p -değeri, bu farkın istatistiksel olarak anlamlılığını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Eğer $p < 0.05$ ise, sıfır hipotezi H_0 (veri teorik dağılıma uygundur) reddedilmekte ve teorik dağılımla uyumun zayıf olduğu sonucuna varılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre $d = 7$ ve $d = 15$ günlük minimum debiler için LN2 ve P3 dağılımlarının p -değerinin en yüksek olduğu, D -değerinin ise en düşük olduğu görülmektedir. G2, E2, LP3 ve LN3 dağılımlarının gözlem verilerini oldukça iyi temsil ettiği tespit edilmiştir. Genel olarak, 1827 numaralı istasyonda LN2 ve P3 dağılımları, minimum debilerin zaman serisi için en uygun dağılımlar olarak öne çıkmaktadır.

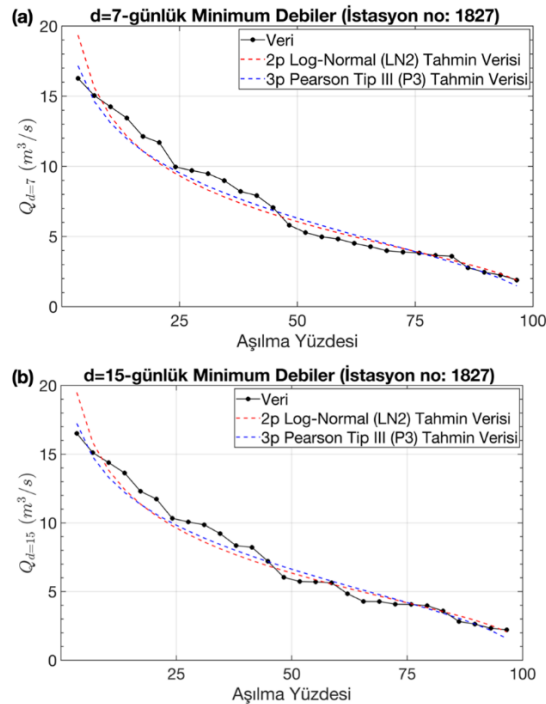
Düşük akımların ne sıklıkla aşıldığını belirten debi süreklilik çizgisi Şekil 2'de görülmektedir. Burada, ölçüm verilerinin tahmininde kullanılan olasılık dağılımlarından Kolmogorov-Smirnov (K-S) testine göre gerçek veriyi en iyi tahmin ettiği belirlenen LN2

ve P3 dağılımları ile tahmin edilen debi değerleri de ayrıca (bkz. Tablo 5) verilmiştir. Şekil 2 ve Tablo 5'te görüldüğü üzere LN2 ve P3 dağılımları mevcut zaman serilerini oldukça iyi temsil ederken, yüksek aşılma olasılıklı debilerde LN2 dağılımı gözlem verilerini çok daha başarılı bir şekilde tahmin etmektedir. K-S testi sonuçlarında da görüldüğü üzere LN2 dağılımının bu istasyonda düşük akımların istatistiğinde daha güvenilir olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. $d = 7$ ve $d = 15$ günlük minimum debiler için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi sonuçları (sadece sıfır hipotezi H_0 'ın reddedilmediği dağılımlar verilmiştir).

Dağılım Tipi	p -değeri		D -değeri	
	$d = 7$	$d = 15$	$d = 7$	$d = 15$
2 parametrelili Log-Normal (LN2)	0.96	0.94	0.09	0.10
Weibull (W2)	0.59	0.69	0.14	0.13
Üstel (E2)	0.85	0.82	0.11	0.11
Gamma (G2)	0.89	0.92	0.11	0.10
3 parametrelili Log-Normal (LN3)	0.84	0.87	0.11	0.11
Genel Ekstrem Değer (GEV3)	0.82	0.84	0.12	0.11
Pearson Tip III (P3)	0.91	0.93	0.09	0.10
Log-Pearson Tip III (LP3)	0.89	0.91	0.11	0.10

Zamanın belirli yüzdelinde aşılan Q_i debileri (i indisi yüzdeyi ifade etmektedir) ise Tablo 5'te verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere %50 ve %75 aşılma olasılıklı debiler her iki dağılımda da yaklaşık değerler almaktadır. Fakat aşılma olasılığı arttıkça, bir diğer deyişle düşük akımlarda LN2 dağılımı hem $d = 7$ hem de $d = 15$ günlük ortalama gözlem verileri ile daha uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

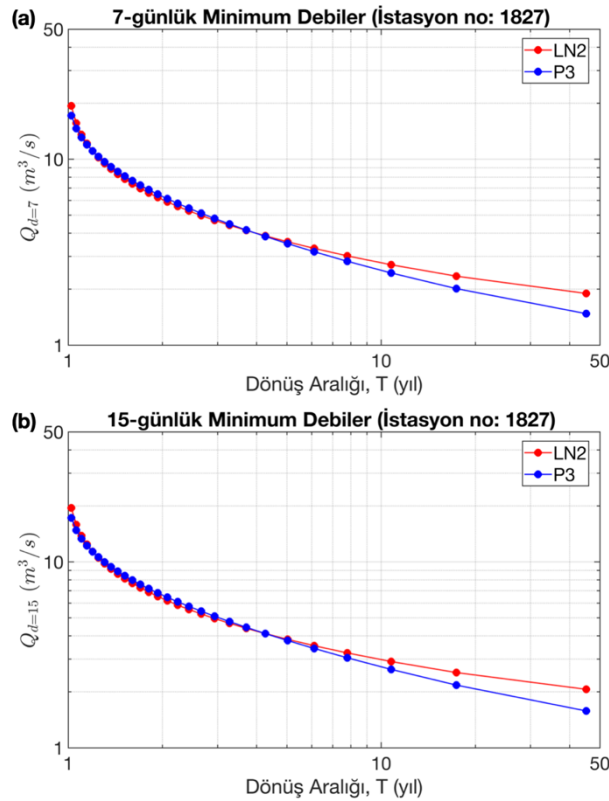


Şekil 2. 1827 no'lu istasyon için yıllara göre debi süreklilik eğrileri. (a) $d = 7$ günlük minimum debiler; (b) $d = 15$ günlük debiler.

Tablo 5. 1827 numaralı istasyona ait gözlem ve %50, %75, %90 ve %95 aşılma olasılıklı (sırası ile Q_{50} , Q_{75} , Q_{90} ve Q_{95}) tahmin debileri (m^3/s).

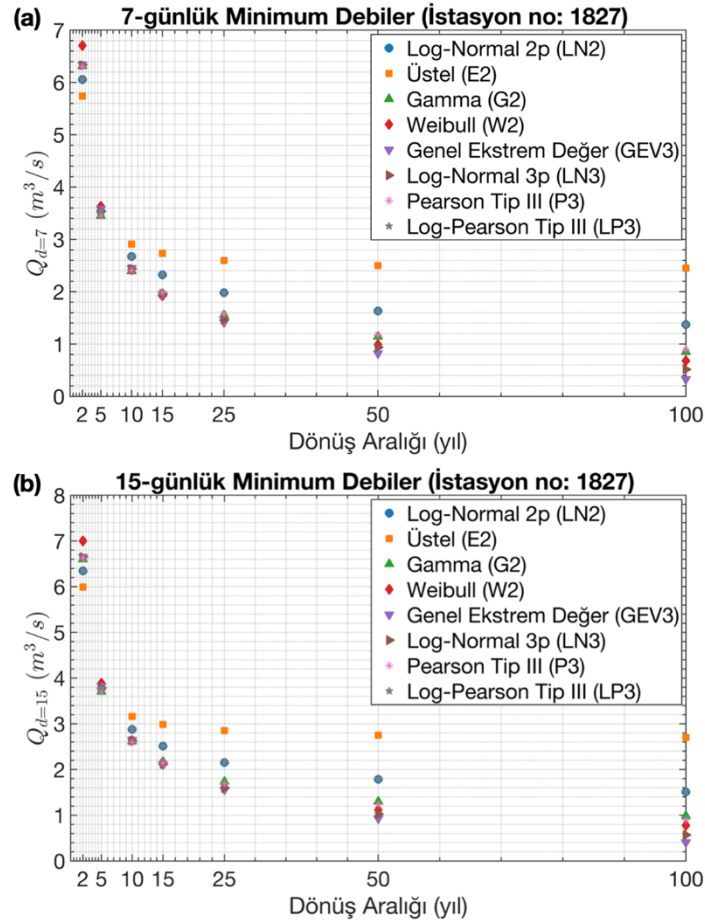
Veri Tipi	$d = 7$ gün				$d = 15$ gün			
	Q_{50}	Q_{75}	Q_{90}	Q_{95}	Q_{50}	Q_{75}	Q_{90}	Q_{95}
Gözlem	5.54	3.84	3.40	2.06	5.89	4.07	2.60	2.27
LN2 tahmin	6.09	3.93	2.67	2.10	6.35	4.18	2.87	2.28
P3 tahmin	6.06	3.92	2.40	1.71	6.63	4.20	2.60	1.85

Şekil 2’de de belirtildiği üzere (ayrıca bkz. Tablo 5) ölçüm verilerini en iyi temsil ettiği belirlenen LN2 ve P3 dağılımları için farklı T dönüş aralıklarına (Denklem 1) sahip günlük debiler hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar ile düşük akımların bir ölçüm noktasında ne kadar sıklıkla görüleceğinin anlaşılması için kullanılan debi-frekans eğrileri elde edilmiştir (Şekil 3). Hem $d = 7$ hem de $d = 15$ günlük yıllık ortalama minimum debiler için her iki dağılım da dönüş aralığı arttıkça mevcut zaman serilerine kıyasla daha düşük debiler tahmin etmektedir. Büyük dönüş aralıkları genellikle ekstrem kurak dönemleri temsil ettiği için bu beklenen bir sonuçtur. LN2 ve P3 dağılımları birbirine çok yakın debiler tahmin ederken uzun dönüş aralıklarında (örneğin $T \geq 15$) LN2 dağılımının gözlem verilerine P3 dağılımından daha büyük debiler tahmin ettiği görülmektedir. Bu sonuç, uygunluk testleri sonucunda gerçek veriyi oldukça iyi temsil ettiği görülen dağılımların, kurak dönem analizinde özellikle uzun dönüş aralıklarında farklı değerler tahmin ettiklerinin debi-frekans eğrileri ile tespit edilebileceğini göstermesi açısından önemlidir.



Şekil 3. 1827 no’lu istasyonu için debi-frekans eğrileri. (a) $d = 7$ günlük minimum debiler; (b) $d = 15$ günlük minimum debiler.

Bu çalışma kapsamında birçok 2 parametrelili ve 3 parametrelili istatistik dağılımları ile düşük akımların analizi yapılmış olup, bunlardan 2 parametrelili Lojistik (L2) ve Gumbel (G2) dağılımları ile 3 parametrelili Genel Lojistik (GL3) dağılımlarının yüksek dönüş aralıkları için negatif değerleri vermesi nedeniyle bu dağılımlar mevcut çalışmada sunulmamıştır. Diğer olasılık dağılımları ile 1827 no'lu istasyonda tahmin edilen ve $T = 2, 5, 10, 15, 25, 50$ ve 100 yıl dönüş aralıklı $d = 7$ ve $d = 15$ günlük yıllık ortalama minimum debiler Şekil 4'te sunulmuştur. Burada görüldüğü üzere yüksek dönüş aralıklı tahminlerde (özellikle $T > 25$ yıl) dağılımların tahminleri arasındaki fark artmaktadır. Bunlardan LN2 ve LP3 dağılımları uzun dönüş aralıklarında diğer dağılımlara kıyasla daha yüksek debi tahminleri sunarken GEV ve P3 dağılımları özellikle uzun dönüş aralıklarında daha düşük debi değerleri öngörmektedir. Fakat, dikkat çekici bir şekilde, LN2 dağılımı $T > 15$ yıllık dönüş aralıkları için istasyon gözlem verilerine diğer dağılımlara göre daha yakın tahminler üretmiş, bu da yüksek dönüş aralıklarında LN2 dağılımının performansının güçlü olduğunu düşündürmüştür. Öte yandan, daha düşük dönüş aralıklarında (örneğin $T < 10$), P3 dağılımı gözlem verilerine daha yakın sonuçlar elde etmektedir. Bu durum, dağılımların farklı dönüş aralıklarında farklı performanslar sergilediğini ve tek bir dağılımın tüm dönüş aralıkları için en uygun sonucu veremeyebileceğini düşündürmektedir. Bu durum, verileri en iyi temsil eden olasılık dağılımının belirlenmesi için uygunluk testlerinin yapılmasının hidrolojik anlamlılık ve güvenilirlik açısından önemini göstermektedir.



Şekil 4. 1827 no'lu ölçüm istasyonunda ölçülen (a) $d = 7$ günlük ve (b) $d = 15$ günlük yıllık ortalama minimum debiler kullanılarak farklı olasılık dağılımları ile elde edilen $T = 2, 5, 10, 15, 25, 50$ ve 100 yıl dönüş aralıklı tahmin debileri.

3.2. Trend analizi

Şekil 5'te 1827 no'lu istasyona ait yıllık minimum debilerin zamansal değişimi gösterilmektedir. Burada ölçüm verileri ile bu verilerin zamana bağlı değişimi (trendini veya eğilimini) verilmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere 1988 yılından 2015 yılına kadar 1827 no'lu istasyondan elde edilen $d = 7$ ve $d = 15$ günlük minimum ortalama debiler zamanla azalma eğilimi göstermektedir. Dolayısı ile, bu istasyonda düşük akım analizi ve buna bağlı olarak olası kuraklık risklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Ayrıca trend testi yapılmasının da istasyondaki mevcut trendin analiz edilmesi için gerekli olduğu görülmektedir.

Bir akım verisindeki zamana bağlı eğilimlerin (trendlerin) belirlenmesi, düşük akım karakteristiklerinin uzun dönem değişimlerini değerlendirmek açısından oldukça önemlidir. Bu bağlamda, mevcut çalışmada 3 farklı trend testi yapılmıştır ve sonuçları Tablo 6-7'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, TFPW trend testi sonuçları $d = 7$ günlük minimum yıllık ortalama debiler için (Tablo 6) şu şekilde özetlenebilir:

- Testin P değeri trendin rastlantısal olma olasılığını göstermektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyi için $P < \alpha$ olup, bu durum H_0 hipotezinin reddedildiğini, bir diğer deyişle trendin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.
- Test istatistiği S 'nin yüksek değerleri trendin var olma olasılığını güçlendirir. Bu istasyonda $S = -149.0$ olarak hesaplanmıştır. Dolayısı ile azalan bir trendin var olabileceği sonucuna varılmıştır.
- Kendall korelasyon katsayısı τ , veriler arasındaki korelasyon derecesini, yani trendin gücünü ifade etmektedir. $\tau = \pm 1$ güçlü artan/azalan ilişkiyi, $\tau = 0$ ise veriler arasında herhangi bir ilişki olmadığını ifade etmektedir. Burada, $\tau = -0.43$ veriler arasında orta düzeyde güçlü bir azalan korelasyon olduğunu göstermekte olup bu sonucun diğer test çıktıları ile uyumlu olduğu görülmektedir.
- S istatistiğinin beklenen dağılımına göre varyansını ifade eden σ_s Z değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (bkz. Denklem 2)

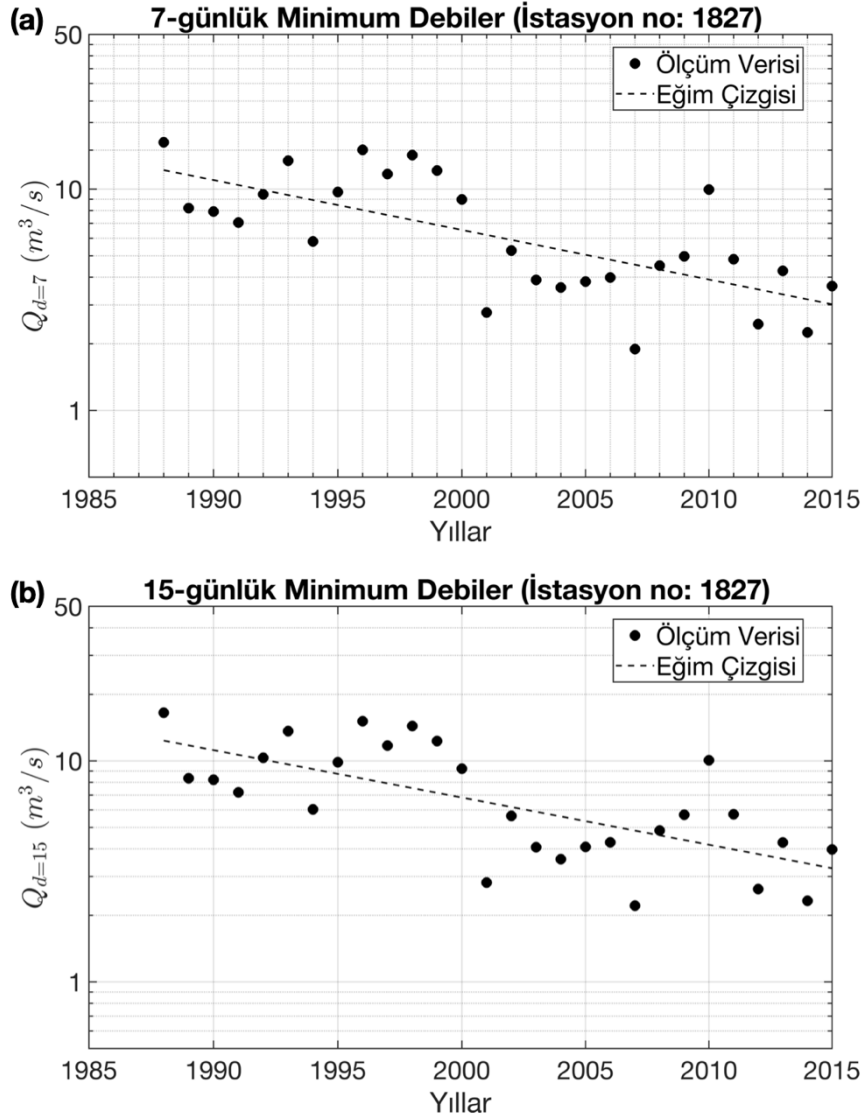
$Z = -3.09$ değeri normal dağılıma göre oldukça uç bir değer olup $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde (%95 güven düzeyinde) okunan $Z_{\alpha/2} = \pm 1.96$ değeri ile kıyaslandığında $|Z| > Z_{\alpha/2}$ olduğu için sıfır hipotezi H_0 reddedilmekte ve negatif bir trendin varlığı oldukça güçlü bir şekilde desteklenmektedir.

Tablo 6. 1827 no'lu ölçüm istasyonunda elde edilen $d = 7$ günlük akım verileri için gerçekleştirilen trend testleri.

Test	Z	p	τ	S	Trend yönü
MK	-3.38	0.001	-0.46	-172	Azalan
TFPW	-3.09	0.002	-0.43	-149	Azalan

Tablo 7. 1827 no'lu ölçüm istasyonunda elde edilen $d = 15$ günlük akım verileri için gerçekleştirilen trend testleri.

Test	Z	p	τ	S	Trend yönü
MK	-3.33	0.001	-0.45	-0.29	Azalan
TFPW	-3.35	0.002	-0.46	-0.26	Azalan



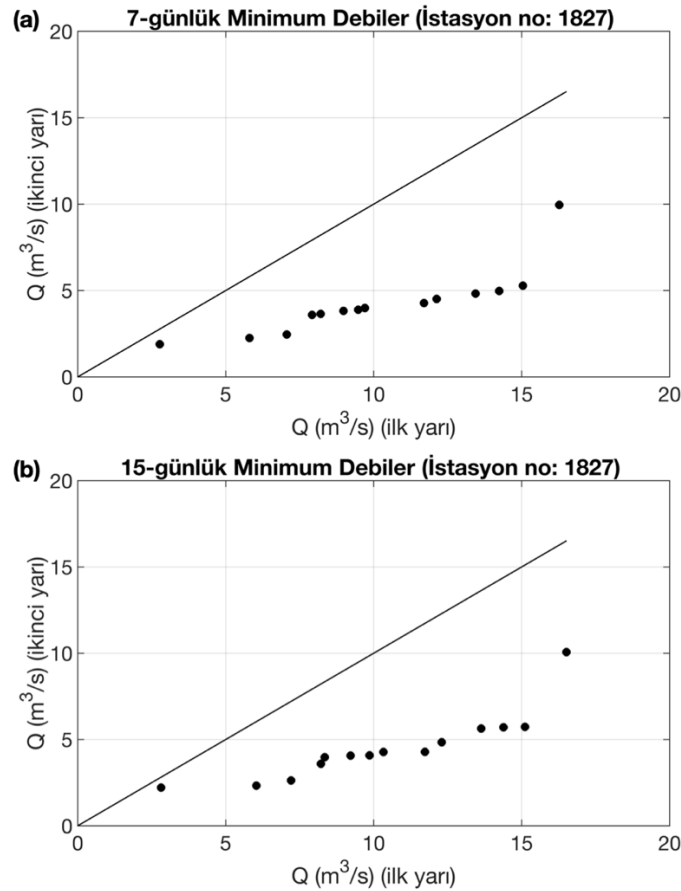
Şekil 5. 1827 numaralı ölçüm istasyonunda elde edilen d günlük minimum debilerin yıllara göre değişimi. (a) $d = 7$ günlük minimum debiler; (b) $d = 15$ günlük debiler.

Bir zaman serisindeki otokorelasyonun etkisini azaltmak veya ortadan kaldırmak için gerçekleştirilen pre-whitening işlemi, klasik Mann-Kendall testine göre daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu nedenle iç bağımlılığın tespiti için otokorelasyon analizinin yapılması önerilmektedir. 1827 no'lu istasyon için zaman serilerine iç bağımlılık testleri gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere iç bağımlılık katsayısı her iki durumda da $\rho_1 \approx 0.55$ olup bu değer üst sınır olan $\rho_{1,max} = 0.378$ 'den büyük olduğu için istatistiksel olarak anlamlı bir iç bağımlılık olduğunu göstermektedir. Bu durum, veri setinde bağımsızlık varsayımının geçerli olmadığını, dolayısıyla bazı trend testlerinde (örneğin, bu çalışmada, Mann-Kendall trend testi) pre-whitening yapılması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 8. 1827 numaralı ölçüm istasyonunda elde edilen $d = 7$ ve $d = 15$ günlük akımlar için iç bağımlılık testi sonuçları (ρ_1 zaman serilerinin 1-aralıklı serisel korelasyon katsayısını belirtmektedir).

d günlük debi	Korelasyon katsayısı (ρ_1)	Üst sınır ($\rho_{1,max}$)	Alt sınır ($\rho_{1,min}$)
7	0.546	0.378	-0.378
15	0.548	0.378	-0.378

Ölçüm verilerine bir diğer önemli trend analizi olan yenilikçi trend analizi (ITA) [15] uygulanarak elde edilen sonuçlar Şekil 6’da ve Tablo 9’da verilmiştir. Burada ortalama farkların negatif olması, verilerin ikinci yarısındaki (yakın dönemdeki) değerlerin ilk yarıdaki (geçmiş dönem) değerlere kıyasla daha düşük olduğunu ifade etmektedir. Trendin şiddetini belirten trend yüzdesi ise debilerin negatif yönde ciddi anlamda azaldığını, neredeyse iki kat düşüş olduğunu göstermektedir. Tüm d -günlük debi değerlerindeki bu trend, düşük akımların yakın zamanda önemli oranda göz ardı edilemeyecek miktarda düştüğünü göstermektedir. Bu sonuç hidrolojik kuraklık yönünden değerlendirildiğinde hem kısa hem de uzun vadede düşük akımların azalmakta olduğunu ortaya koymaktadır. $d = 7$ günlük minimum debilerdeki azalış içme suyu rezervleri ve çevresel akımlar için kritik bir uyarı teşkil etmektedir. $d = 15$ günlük minimum debilerdeki ciddi azalış ise ekosistem sürdürülebilirliği, tarımsal kaynakların ve baraj rezervlerinin yönetimi açısından ciddi risklerin habercisidir.



Şekil 6. 1827 no’lu ölçüm istasyonunda ITA kullanılarak elde edilen sonuçlar. (a) $d = 7$ günlük, (b) $d = 15$ günlük minimum debiler (•: Ölçüm verileri. Siyah eğri: 1:1 eğim çizgileri).

Tablo 9. 1827 numaralı ölçüm istasyonunda ITA kullanılarak elde edilen sonuçlar.

d günlük debi	Ortalama fark	Trend yüzdesi (%)	Trend yönü
7	-5.96	-82.52	Azalan
15	-5.88	-78.70	Azalan

Bu bölümde anlatılan tüm analizler, daha önce belirtildiği üzere Seyhan Havzası 1801, 1817, 1820, 1825 ve 1826 numaralı ölçüm istasyonları için de gerçekleştirilmiştir. Bulgular bölümünde ayrıntılı olarak incelenen 1827 numaralı istasyon haricindeki istasyonlar için $d = 7$ günlük yıllık ortalama minimum debiler kullanılarak hesaplanan istatistiksel parametreler Tablo 10'da; MK ve ITA trend testlerinin sonuçları ise sırası ile Tablo 11 ve 12'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, diğer istasyonlarda ayrıca LN2 ve P3 dağılımları dışında LN3 ve GEV dağılımlarının da ölçüm verilerini oldukça başarılı bir şekilde tahmin ettiği görülmüştür. 1820 numaralı ölçüm istasyonunda ise $d = 7$ günlük minimum debileri 2 parametrelili W2 dağılımının; $d = 15$ günlük minimum debilerini ise LP3 dağılımının temsil ettiği görülmüştür. Fakat burada K-S testi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde p -değerlerinin oldukça yakın olduğu, zaman serilerini diğer istasyonlarda olduğu gibi LN3, P3 ve GEV dağılımlarının başarılı bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir. Trend analizi sonuçlarına göre seçilen $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde 1801, 1817 ve 1825 numaralı istasyonlarda anlamlı bir trend bulunmamaktadır. Fakat, özellikle, 1817 ve 1825 numaralı istasyonlarda ölçülen debilerin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Anlamlılık düzeyi $\alpha = 0.1$ için 1825 numaralı ölçüm istasyonunda azalan yönde anlamlı bir trend olduğu da görülmüştür. Dolayısı ile bu istasyonlarda kuraklık riskinin olmadığı sonucuna varılması hidrolojik açıdan anlamlı değildir. Nitekim ITA testi sonuçlarına göre incelenen tüm istasyonlarda, 1827 numaralı istasyonda olduğu gibi (farklı şiddetlerde olsa da), azalan bir trend tespit edilmiştir.

Tablo 10. Ölçüm istasyonlarına ait istatistiksel parametreler ($d = 7$ günlük yıllık ortalama minimum debiler).

Parametre	İstasyon numarası				
	1801	1817	1820	1825	1826
Ortalama (μ_x)	11.36	0.48	2.67	1.77	32.97
Standart sapma (σ_x)	1.41	0.22	1.12	0.40	6.12
Medyan	11.37	0.54	2.63	1.75	33.66
Varyasyon katsayısı (c_{vx})	0.12	0.46	0.42	0.20	0.19
Çarpıklık katsayısı (c_{sx})	0.13	-0.43	0.18	-0.23	-0.49
Kurtosis (k)	2.45	2.33	2.78	2.49	3.67

Tablo 11. Ölçüm istasyonlarına ait $d = 7$ günlük yıllık ortalama minimum debiler için gerçekleştirilen trend testleri.

İstasyon numarası	MK					TFPW				
	Z	p	τ	S	Trend	Z	p	τ	S	Trend
1801	-2.40	0.98	-0.01	20	Yok	0.69	0.49	0.11	27	Yok
1817	-0.98	0.33	-0.17	-29	Yok	-0.53	0.60	-0.10	-15	Yok
1820	-2.89	0.00	-0.39	-147	Azalan	-2.46	0.01	-0.34	-119	Azalan
1825	-1.89	0.06	-0.26	-97	Yok	-1.84	0.07	-0.26	-89	Yok
1826	-2.39	0.02	-0.32	-122	Azalan	-2.33	0.02	-0.32	-113	Azalan

Tablo 12. Ölçüm istasyonlarına ait $d = 7$ günlük yıllık ortalama minimum debiler için gerçekleştirilen ITA testi sonuçları.

İstasyon numarası	Ortalama fark	Trend yüzdesi (%)	Trend yönü
1801	-0.30	-2.67	Azalan
1817	-0.03	-6.32	Azalan
1820	-1.44	-53.78	Azalan
1825	-0.35	-19.49	Azalan
1826	-7.06	-21.40	Azalan

4. Sonuçlar ve tartışma

Seyhan Havzası'nda gerçekleştirilen düşük akım analizlerinde kısa, orta ve uzun vadeli kuraklık tespiti için $d = 1, 7, 10$ ve 15 günlük yıllık ortalama minimum debi değerleri kullanılarak düşük akım frekans analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Bunlardan $d = 7$ ve $d = 15$ günlük yıllık ortalama minimum debileri sırası ile orta vadeli-zirai ve uzun sürekli kuraklıkları temsil ettikleri için, çalışma kapsamında daha ayrıntılı incelenmiştir.

Ölçüm verilerinin istatistiksel analizini gerçekleştirmek amacıyla iki parametrelili Log-Normal (LN2), Gamma (G2), Weibull (W2), Üstel (E2), Gumbel (GEV-I), Lojistik (L2) dağılımları ile üç parametrelili GEV (GEV-III), Log-Normal (LN3), Pearson Tip III (P3), Log-Pearson Tip III (LP3) ve Genel Lojistik (GL3) dağılımları kullanılarak farklı dönüş aralıklarına sahip düşük akım tahminleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tahmin debilerine Kolmogorov-Smirnov (K-S) uygunluk testi uygulanarak, bu dağılımlardan hangilerinin mevcut zaman serilerini en iyi şekilde temsil ettiği analiz edilmiştir. 1827 numaralı istasyonda LN2 ve P3 dağılımlarının zaman serilerini oldukça iyi tahmin ettiği görülürken, 1801, 1817, 1820, 1825 ve 1826 numaralı istasyonlarda özellikle P3, LN3 ve GEV dağılımlarının en iyi sonuçları verdikleri görülmüştür. Buna bağlı olarak, dağılımların farklı dönüş aralıklarında ve farklı istasyonlarda gösterdikleri performansın değiştiği ve Seyhan Havzası'nda tek bir dağılım ile her ne kadar en uygun sonuçların alınamayacağı tespit edilse de P3, LN3 ve GEV dağılımlarının performansının en yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, Önöz ve Bayazıt [8], Eriş vd. [9] ve Yılmaz vd. [10] gibi çalışmaların bulguları ile de oldukça uyumludur.

Çalışma kapsamında son olarak, düşük akımlardaki zamana bağlı değişimin (trend) belirlenmesi için Mann-Kendall (MK), Trend-Free Pre-Whitening (TFPW) ve yenilikçi trend analizi (ITA) testleri uygulanmıştır. Bu testlerin sonucunda 1801, 1817 ve 1825 numaralı ölçüm istasyonlarında anlamlı bir trend olmadığı tespit edilmiş olsa da özellikle 1817 ve 1825 numaralı istasyonlarda ölçülen debilerin çok düşük değerlerde olduğu; dolayısı ile bu istasyonlarda kuraklık riskinin bulunmadığı sonucuna varılamayacağı görülmüştür. 1820, 1826 ve 1827 numaralı istasyonlarda ise azalan bir trend olduğu görülmüştür. Bununla birlikte seçilen anlamlılık düzeyinde MK ve TFPW trend testleri ile anlamlı bir trend bulunamayan istasyonlar da dahil olmak üzere incelenen istasyonların tamamında ITA ile azalan bir trend tespit edilmiştir. Bu bulgular ışığında, son yıllarda etkisi artan küresel iklim değişikliği de göz önüne alındığında, Seyhan Havzası'nda özellikle orta vadeli kuraklık riskinin mevcut olduğu sonucuna varılmıştır. Ülkemizdeki mevcut su kaynaklarının yönetimi açısından farklı havzalarda da bu tür çalışmaların yapılması oldukça önemlidir. Güncel verilerle çalışarak gerçekleştirilecek

düşük akımların analizinin, özellikle iklim değişikliği de göz önüne alındığında, daha gerçekçi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Yevjevich, V., Methods for determining statistical properties of droughts, **Coping with droughts**, Water Resources Publications, 22-43, Colorado, (1983).
- [2] Bayazıt, M. ve Önöz, B., **Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi**, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, (2008).
- [3] Vogel, R. M. ve Kroll, C. N., Regional geohydrologic-geomorphic relationships for the estimation of low-flow statistics, **Water Resources Research**, **28**, 9, 2451-2458, (1992).
- [4] Mishra, A. K. ve Singh, V. P., Drought modeling-a review, **Journal of Hydrology**, **403**, 1-2, 157-175, (2011).
- [5] Smakhtin, V. U., Low flow hydrology: a review, **Journal of Hydrology**, **240**, 3-4, 147-186, (2001).
- [6] Tallaksen, L. M. ve Van Lanen, H. A., **Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater**, 2. basım, Elsevier, Cambridge, (2023).
- [7] Laaha, G. ve Blöschl, G., A comparison of low flow regionalisation methods-catchment grouping, **Journal of Hydrology**, **323**, 1-4, 193-214, (2006).
- [8] Önöz, B. ve Bayazıt, M., GEV-PWM model for distribution of minimum flows, **Journal of Hydrologic Engineering**, **4**, 3, 289-292, (1999).
- [9] Eriş, E., Aksoy, H., Önöz, B., Çetin, M., Yüce, M. İ., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. İ., Eşit, M., Yıldırım, I. ve Ünsal Karakuş, E., Frequency analysis of low flows in intermittent and non-intermittent rivers from hydrological basins in Turkey, **Water Supply**, **19**, 1, 30-39, (2019).
- [10] Yılmaz, S. U., Çiltaş, E., Eldaylı Kanber, Y., Bakar, H., Öz, M., Kaçar, F. S. ve Önöz, B., Seyhan Havzası etrafında düşük akım frekans analizi ve kurak dönem analizi, **12. Ulusal Hidroloji Kongresi**, 301-311, Samsun, (2024).
- [11] Massey, F. J. J., The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit, **Journal of the American Statistical Association**, **46**, 253, 68-78, (1951).
- [12] Anderson, T. W. ve Darling, D. A., Asymptotic theory of certain "goodness of fit" criteria based on stochastic processes, **The Annals of Mathematical Statistics**, 193-212, (1952).
- [13] Kroll, C. N. ve Vogel, R. M., Probability distribution of low stream-flow series in the United States, **Journal of Hydrologic Engineering**, **7**, 2, 137- 146, (2002).
- [14] Yue, S. ve Wang, C., The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series, **Water Resources Management**, **18**, 3, 201-218, (2004).
- [15] Şen, Z. Innovative trend analysis methodology, **Journal of Hydrologic Engineering**, **17**, 9, 1042-1046, (2012).
- [16] Yue, S., Pilon, P. ve Cavadias, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series, **Journal of Hydrology**, **259**, 1-4, 254-271, (2002).
- [17] Burn, D. H. ve Elnur, M. A. H., Detection of hydrologic trends and variability, **Journal of Hydrology**, **255**, 1-4, 107-122, (2002).
- [18] Özfidaner, M., Şapolyo, D. ve Topaloğlu, F., Hydrological drought analysis of streamflow data in Seyhan basin, **Journal of Soil Water**, **7**, 1, (2018).

- [19] Altın, T. B., Sarış, F. ve Altın, B. N., Determination of drought intensity in Seyhan and Ceyhan River basins, Turkey, by hydrological drought analysis, **Theoretical and Applied Climatology**, **139**, 95-107, (2020).
- [20] Terzi, T. B. ve Önöz, B., Drought analysis based on nonparametric multivariate standardized drought index in the Seyhan River basin, **Natural Hazards**, 1-28, (2025).
- [21] Von Storch, H. and Navarra, A., Misuses of statistical analysis in climate research, **Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques**, Springer-Verlag, New York, 11-26, (1995).
- [22] Önöz, B. ve Bayazıt, M., The power of statistical tests for trend detection, **Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences**, **27**, 4, 247-251, (2003).
- [23] Yue, S. ve Wang, C. Y., Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test, **Water Resources Research**, **38**, 6, 4-1-4-7, (2002).