



## Düşük Akımların Frekans Analizi ve Çevresel Akış ile İlişkisi

### Hafzullah AKSOY

*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul*  
[haksoy@itu.edu.tr](mailto:haksoy@itu.edu.tr) ORCID: 0000-0001-5807-5660

### Ebru ERİŞ\*

*Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir*  
[ebru.eris@ege.edu.tr](mailto:ebru.eris@ege.edu.tr) ORCID: 0000-0003-0601-7666, Tel: (232) 311 50 41

### Bihrat ÖNÖZ

*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul*  
[onoz@itu.edu.tr](mailto:onoz@itu.edu.tr) ORCID: 0000-0002-4531-2476

### Mahmut ÇETİN

*Çukurova Üniversitesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana*  
[mcet64@cu.edu.tr](mailto:mcet64@cu.edu.tr) ORCID: 0000-0001-5751-0958

### Mehmet İshak YÜCE

*Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep*  
[yuce@gantep.edu.tr](mailto:yuce@gantep.edu.tr) ORCID: 0000-0002-6267-9528

### Bülent SELEK

*Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara*  
[bselek@ormansu.gov.tr](mailto:bselek@ormansu.gov.tr) ORCID: 0000-0002-9954-9794

### Hakan AKSU

*DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara*  
[hakana@dsi.gov.tr](mailto:hakana@dsi.gov.tr) ORCID: 0000-0003-4686-7446

### Halil İbrahim BURGAN

*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul*  
[burgan@itu.edu.tr](mailto:burgan@itu.edu.tr) ORCID: 0000-0001-6018-3521

### Musa EŞİT

*Adıyaman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman*  
[mesit@adiyaman.edu.tr](mailto:mesit@adiyaman.edu.tr) ORCID: 0000-0003-4509-7283

### İşilsu YILDIRIM

*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul*  
[isilsuyildirim@gmail.com](mailto:isilsuyildirim@gmail.com) ORCID: 0000-0002-4064-624X

### Ece ÜNSAL KARAKUŞ

*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul*  
[eceunsal05@gmail.com](mailto:eceunsal05@gmail.com) ORCID: 0000-0001-8794-6218

Geliş: 17.06.2017, Kabul Tarihi: 17.08.2017

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI:

## Öz

Yıllık akış rejiminin bir bileşeni olan düşük akımlar yılın belli zamanlarında akarsuda görülebilmektedir. Düşük akımların akarsudan su sağlanması, su kalitesi, ulaşım ve canlıların yaşamı üzerinde etkileri vardır. Bir akarsu havzasında düşük akımların uzun bir süre devam etmesi durumunda havzada kuraklığın meydana gelme olasılığı artar. Bu dönemlerde suyun ne şekilde kullanılacağına karar vermek için düşük akımların incelenmesi önem taşır. Kurak dönemlerde her türlü maksatla kullanılacak suyun miktarının belirlenmesinde bir araç olarak kullanılmak üzere düşük akım ile ilgili çalışmalar yaygın olarak yapılmaktadır. Frekans analizi bu amaçla kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, Meriç-Ergene, Gediz, Seyhan ve Ceyhan havzaları için düşük akım frekans analizi yapılmıştır. Düşük akımların frekans analizinde 2- ve 3-parametrelili Gamma, log-normal ve Weibull dağılımı ile Genel Ekstrem Değer dağılımı seçilmiştir. Düşük akımları temsil etmede Meriç-Ergene, Gediz ve Ceyhan havzalarında çoğunlukla 3-parametrelili log-normal dağılım, Seyhan havzasında ise 3-parametrelili Weibull dağılımı ön plana çıkmıştır. Akarsuların zaman zaman kurudukları da hesaba katılarak uydurulan olasılık dağılım fonksiyonları kullanılarak düşük akım debi-süre-frekans eğrileri elde edilmiş, bu sayede akım gözlem istasyonu bazında belli dönüş aralıklarına karşı gelen beklenen düşük akımların hesaplanması mümkün olmuştur. Bu çalışmada ayrıca düşük akımlar ile çevresel akış arasında bir ilişki aranmış, genelleştirilememekle birlikte belli dönüş aralıklarındaki düşük akımların çevresel akış olarak kullanma potansiyellerinin olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Düşük akım, Frekans analizi, Kuruyan akarsu, Şiddet-Süre-Frekans eğrisi, Çevresel akış

## Giriş

Düşük akımların frekans analizi, kurak geçen kritik dönemlerde yeterli su temini olasılığının hesaplanması için kullanılan önemli bir araçtır. Frekans analizi ile hesaplanan düşük akım istatistikleri, su temini açısından gerekli su transferi veya çekimi miktarının belirlenmesini mümkün kılabilir. Frekans analizi ayrıca bir hidroelektrik tesisine su temin kaynağının belirlenmesinde veya soğutma sisteminden mansaba aktarılacak suyun miktarına karar verilmesinde de yararlı olabilir.

Düşük akımlar ile ilgili Smakhtin (2001) tarafından yapılan derleme çok önemli bir referanstır. Bayazit ve Önöz (2008), düşük akımlar için debi süreklilik çizgisi, çekilme eğrisi, düşük akım indeksleri gibi hidrolojik analiz elemanlarına, ayrıca frekans analizinin önemine işaret etmektedir. Düşük akım çalışmaları genellikle kısa süreli gözlemlere dayandığından bölgesel analiz ve akım ölçümü olmayan havzalarda da sentetik veri üretimi önem kazanmaktadır (Smakhtin, 2001).

Öneminden dolayı düşük akım çalışmaları, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de ilgi

görmüştür. Türkiye dışında yapılan çalışmalara Gustard vd. (1992), Laaha ve Blöschl (2006), Engeland ve Hisdal (2009), Cammalleri vd. (2017), Ahn ve Merwade (2017) örnek gösterilebilir. Türkiye’de yapılan çalışmalarda, Bulu vd. (1995) Trakya bölgesindeki akım gözlem istasyonlarını kullanarak istatistik inceleme yapmıştır. Benzer nitelikli çalışmalar Sertbaş (1996), Bulu ve Önöz (1997), Sarış (2016) tarafından Sakarya ve Meriç; Duran (2000) tarafından Ege Bölgesi; Saraçoğlu (2002) tarafından Akdeniz Bölgesi; Yürekli vd. (2005) tarafından Yeşilirmak ve Köken (2009) tarafından Dicle havzaları için yapılmıştır.

Bu çalışmada, Meriç-Ergene, Gediz, Seyhan ve Ceyhan havzaları için düşük akım frekans analizi yapılmış; düşük akım ile çevresel akış arasında herhangi bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

## Frekans Analizi

Düşük akımlar, günlük akım verilerinden  $D$ -günlük ortalamalar hesaplanmak suretiyle incelenmektedir. Günlük akım serisinden  $D$ -günlük düşük akım serisine, üst üste binecek şekilde ardışık  $D$  güne ait akım değerlerinin

ortalaması alınarak geçilmektedir. Böylece her biri gözlem süresinden  $D-1$  gün kadar daha kısa olan  $D = 1, 7, 14, 30, 90$  ve  $273$ -günlük düşük akım zaman serileri elde edilmektedir. Bu şekilde hesaplanan  $D$ -günlük düşük akım serisindeki her bir yıla ait minimum değer ilgili yılın  $D$ -günlük düşük akımı olarak kullanılmaktadır. Yani her bir yıla karşı gelen bir  $D$ -günlük düşük akım değeri mevcuttur. Düşük akım çalışmalarında  $D = 1, 3, 7, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 183, 273$  ve  $284$  günlük düşük akımlar sıklıkla kullanılmaktadır (Smakhtin, 2001). Bunların her birinin farklı kullanım amacı vardır. Bunlardan  $Q_{7,10}$  (7-günlük düşük akımın 10 yıl dönüş aralıklı değeri) ABD’de düşük akım tasarım kriteri olarak değerlendirilmektedir (Riggs vd., 1980). Bu çalışmada  $D = 1, 7, 14, 30, 90$  ve  $273$  gün kullanılmıştır.

Düşük akımlara uygun genel geçerli bir olasılık dağılım fonksiyonu yoktur. Bu nedenle, literatürde düşük akımlarla ilgili yapılan çalışmalar taranmış ve sıkça kullanılan olasılık dağılım fonksiyonları belirlenmiştir. Smakhtin (2001), düşük akım literatüründe en sık kullanılan olasılık dağılım fonksiyonlarının Weibull, Gumbel, Pearson Tip III ve log-normal dağılımın farklı tipleri olduğunu belirlemiştir. Bu nedenle, bu çalışmada her bir  $D$ -günlük düşük akım için ayrı ayrı olmak üzere 2- ve 3-parametrelili olasılık dağılım fonksiyonları kullanılmış; bunun için literatürde yaygın bir şekilde kullanılan dağılımlar arasından 2- ve 3-parametrelili Gamma ( $G_2, G_3$ ), 2- ve 3-parametrelili log-normal ( $LN_2, LN_3$ ), 2- ve 3-parametrelili Weibull ( $W_2, W_3$ ) ve Genel Ekstrem Değer (GEV) dağılımları seçilmiştir. Olasılık dağılım fonksiyonlarının uygunlukları Kolmogorov-Smirnov ve Anderson-Darling gibi istatistik testler ile belirlenmiştir.

Kuruyan akarsularda düşük akımların tahmininde akarsuyun kuruduğu dönemlerin de hesaba katılması gereklidir. Bu durumda, sıfır akımları hesaba katmak üzere bir yöntem geliştirilmelidir. Bu durum aslında sadece kurak bölge akarsularında değil donma gözlenen soğuk iklim akarsularında da görülmektedir.

Sıfır akım içeren zaman serileri bu nedenle farklı olarak incelenmelidir (Stedinger vd., 1993). Haan (1977) bunun için bir yöntem vermiştir. Bu yöntemde, zaman serisi sıfır olan ve sıfır olmayan iki kısım altında incelenmektedir.

Bu çalışmada,  $D = 1, 7, 14, 30, 90$  ve  $273$  günlük düşük akım zaman serileri ayrı ayrı ele alınmış, her bir seride varsa sıfır akımlar çıkarılmış, kalan zaman serisi 10 yıl ve daha uzun süreli ise yukarıda seçilen olasılık dağılım fonksiyonları arasında en uygun olasılık dağılım fonksiyonu belirlenmiştir. Her bir  $D$ -günlük düşük akım zaman serisine ait olasılık dağılım fonksiyonları belirlendikten sonra sıfır akımlar toplam olasılık yasası kullanılarak hesaba katılmıştır. Toplam olasılık yasasına göre,

$$P(X \geq 0) = P(X \geq x|X = 0)P(X = 0) + P(X \geq x|X \neq 0)P(X \neq 0) \quad (1)$$

yazılabilir. Burada,

$$P(X \geq x|X = 0) = 0 \quad (2)$$

olduğundan

$$P(X \geq x) = P(X \geq x|X \neq 0)P(X \neq 0) \quad (3)$$

elde edilir.  $P(X \neq 0)$  ele alınan  $D$ -günlük düşük akım serisinde sıfır olmayan akımların oranını vermektedir. Bu oran  $k$  ile gösterildiğinde

$$1 - F(x) = k[1 - F^*(x)] \quad (4)$$

yazılabilir. Burada,  $F(x)$  ele alınan  $D$ -günlük düşük akım serisinde olasılık dağılımının sıfır akımlar dahil olmak üzere eklenik frekansını [ $P(X \leq x|X \geq 0)$ ],  $F^*(x)$  ise sıfır akımlar hariç olmak üzere eklenik frekansını [ $P(X \leq x|X \neq 0)$ ] göstermektedir. Böylece sıfır olan ( $X = 0$ ) ve sıfır olmayan ( $X > 0$ )  $D$ -günlük düşük akım değerlerinden oluşan karışık bir olasılık dağılımı söz konusudur.

Denklem (4) belli bir dönüş aralığındaki  $D$ -günlük düşük akım tahmininde kullanılabilir. Bu tahmin sıfır olmayan akım değerlerine

uydurulan olasılık dağılım fonksiyonuna bağlıdır. Denklem (4)'ten

$$F^*(x) = \frac{F(x)-1+k}{k} \quad (5)$$

yazılabilir. Düşük akımlarda dönüş aralığı

$$T = \frac{1}{F(x)} \quad (6)$$

ile verildiğinden Denklem (5)

$$F^*(x) = \frac{\frac{1}{T}-1+k}{k} \quad (7)$$

şeklini alır. Eklenik frekans negatif olamayacağından Denklem (7)

$$k \geq \frac{T-1}{T} \quad (8)$$

koşulunu sağlamalıdır. Bu koşul aynı zamanda, negatif bir eklenik frekans hesaplanması halinde hesabı yapılan dönüş aralığına ait  $D$ -günlük düşük akımın sıfır olduğu anlamına gelmektedir. Yaygın olarak kullanılan dönüş aralıkları için sağlanması gereken  $k$  değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Dönüş aralığına göre  $k$  değerleri

| $T$ (yıl) | 2   | 5   | 10  | 25   | 50   | 100  |
|-----------|-----|-----|-----|------|------|------|
| $k \geq$  | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 0.96 | 0.98 | 0.99 |

## Uygulama

### Kullanılan Veri

Uygulama alanı olarak özellikle tarımsal açıdan önemi olan Meriç-Ergene, Gediz, Seyhan ve Ceyhan havzaları seçilmiş (Şekil 1), kullanılan akım gözlem istasyonlarına ait verinin havza bazında bir özeti sunulmuştur (Tablo 2). Buna göre, Meriç-Ergene, Gediz, Seyhan ve Ceyhan havzaları için sırasıyla 27, 23, 16 ve 33 akım gözlem istasyonunun akım verileri değerlendirilmiştir. Olabildiğince doğal akım kullanılması için gayret gösterilmiş, bu nedenle membaında insan müdahalesi olan istasyonlar değerlendirmeye alınmamıştır. Gözlem süresi en az 10 yıl olan akım gözlem istasyonları ile

çalışılmıştır. 1939-2015 periyodunda yapılan 10 ile 59 yıl arasında değişen uzunlukta verisi olan 99 akım gözlem istasyonunun toplam 2627 yıllık verisi kullanılmıştır. Bu, düşük akım çalışmaları için önemli miktarda bir veri kümesidir.

### Olasılık Dağılım Fonksiyonları

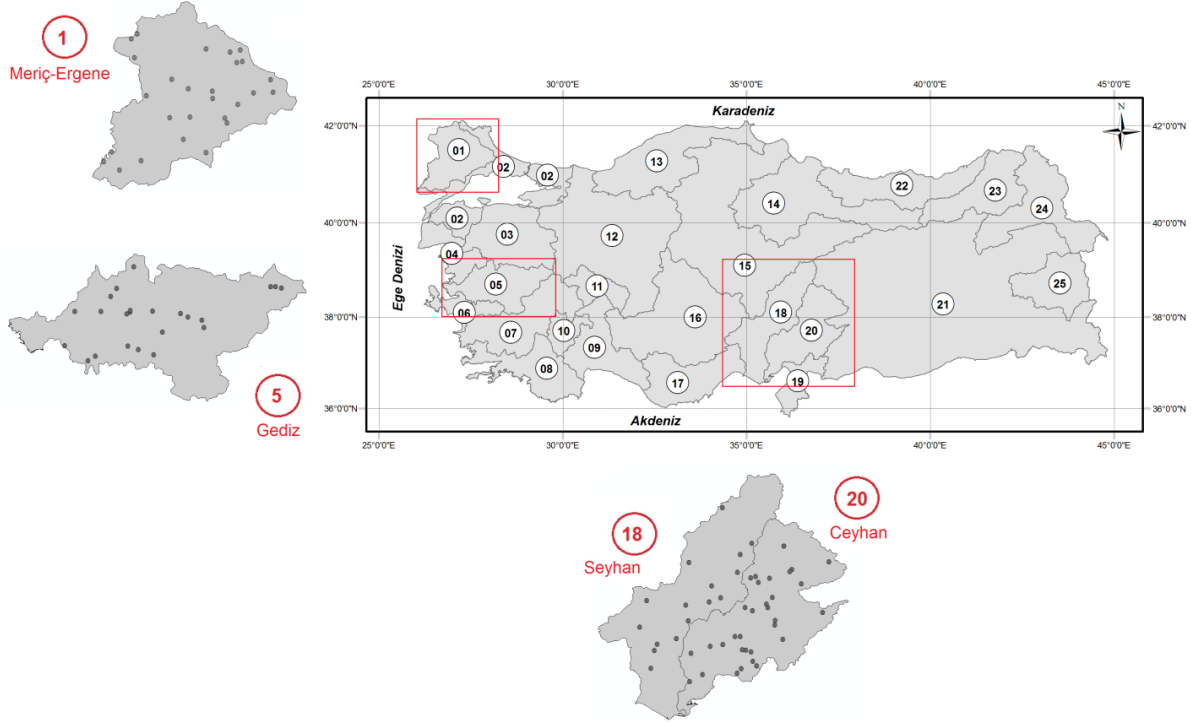
Her bir  $D$ -günlük düşük akım serisinin uzunluğu akım gözlem istasyonu gözlem süresi kadardır. Ancak belirtildiği üzere bazı  $D$ -günlük düşük akım serilerinde sıfır akım değerleri gözlenmiştir. Seyhan Havzası'nda bu durumla karşılaşmamış, ancak özellikle Meriç-Ergene ve Gediz havzalarında önemli sayıda  $D$ -günlük sıfır akım gözlenmiştir. Olasılık dağılım fonksiyonlarının belirlenmesinde sıfır akımlar çıkarıldıktan sonra en az 10 yıl süreli  $D$ -günlük zaman serileri kullanılmış, sıfırdan farklı akım gözlemi 10 yıldan kısa süreli  $D$ -günlük seriler için olasılık dağılım fonksiyonu belirlenmemiştir. Dağılımların parametreleri en küçük kareler ve momentler yöntemleri ile hesaplanmış, uygunluğun belirlenmesinde Kolmogorov-Smirnov testi  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde kullanılmıştır.

Bu çalışmada, her bir  $D$ -günlük düşük akım serisi için ayrı ayrı olmak üzere 2- ve 3-parametrelilik olasılık dağılım fonksiyonları kullanılmış; bunun için literatürde yaygın olan dağılımlar arasından 2- ve 3-parametrelilik Gamma (G2, G3), 2- ve 3-parametrelilik log-normal (LN2, LN3), 2- ve 3-parametrelilik Weibull (W2, W3) ve Genel Ekstrem Değer (GEV) dağılımları seçilmiştir. Bu şekilde yapılan frekans analizine göre her bir havzada  $D = 1, 7, 14, 30, 90$  ve  $273$  günlük düşük akımlara uydurulan olasılık dağılım fonksiyonlarının oranları Tablo 3'te verilmiştir. Meriç-Ergene havzası örneğinde Tablo 3'ün okuması şu şekilde yapılabilir:

$D = 1$  günlük düşük akımlar için değerlendirilen (sıfır olan 1-günlük akımlar çıkarıldıktan sonra en az 10 yıllık sıfır olmayan 1-günlük akımı olan) akım gözlem istasyonlarının %36'sı en iyi W3 dağılımı tarafından temsil edilmiştir. Benzer şekilde, değerlendirilen istasyonlarda  $D = 273$

günlük düşük akımlarda en iyi uyumu %22 ile en fazla G2 dağılımı göstermiştir. Geri kalan  $D = 7, 14, 30$  ve  $90$  günlük düşük akımlarda ise sırasıyla %38, 38, 35 ve 40 ile LN3 en iyi uyan dağılım olmuştur. Buna göre Meriç-Ergene havzasında tek bir olasılık dağılımı ile çalışılması halinde LN3 tercih edilmelidir. Benzer okumalar diğer havzalar için de

yapılabilir. Bu durumda, Seyhan dışında kalan havzalarda çoğunlukla LN3 dağılımının uygun olduğu belirlenmiş, Seyhan Havzası'nda ise W3 dağılımı en uygun dağılım olarak ortaya çıkmıştır. Tablo 3'te verilen oranlar görsellik sağlamak için Şekil 2'de verilmiştir. Benzer okumalar Şekil 2'den de yapılabilir.



Şekil 1. Havzaların Türkiye haritasındaki yeri

Tablo 2. Havza bazında kullanılan veri

| Havza        | Akım Gözlem İstasyonu sayısı | İlk gözlem yılı | Son gözlem yılı | İstasyon-yıl |
|--------------|------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Meriç-Ergene | 27                           | 1957            | 2014            | 501          |
| Gediz        | 23                           | 1939            | 2015            | 586          |
| Seyhan       | 16                           | 1954            | 2015            | 436          |
| Ceyhan       | 33                           | 1954            | 2015            | 1104         |
| Toplam       | 99                           |                 |                 | 2627         |

Literatürde mevcut çalışmalar ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar anlamlıdır. Örneğin, Bulu vd. (1995), Sertbaş (1996), Bulu ve Aksoy (1998) Trakya Bölgesi ve Sakarya havzası için yaptıkları çalışmalarda LN2, N (Normal) ve W2 arasında yapılan tercihte W2 dağılımını en iyi uyan dağılım olarak belirlemiştir. Benzer şekilde Duran (2000) Ege Bölgesi için W2 dağılımını en

uygun dağılım olarak elde etmiştir. Daha yüksek parametrelili dağılım kullanılması ve güncel veri eklenmesi ile W3 ve genelde de LN3 dağılımının kullanılması anlamlıdır. Çünkü olasılık dağılımındaki fazladan parametreler dağılımın gözlemlere uyma olanağını artırmaktadır.

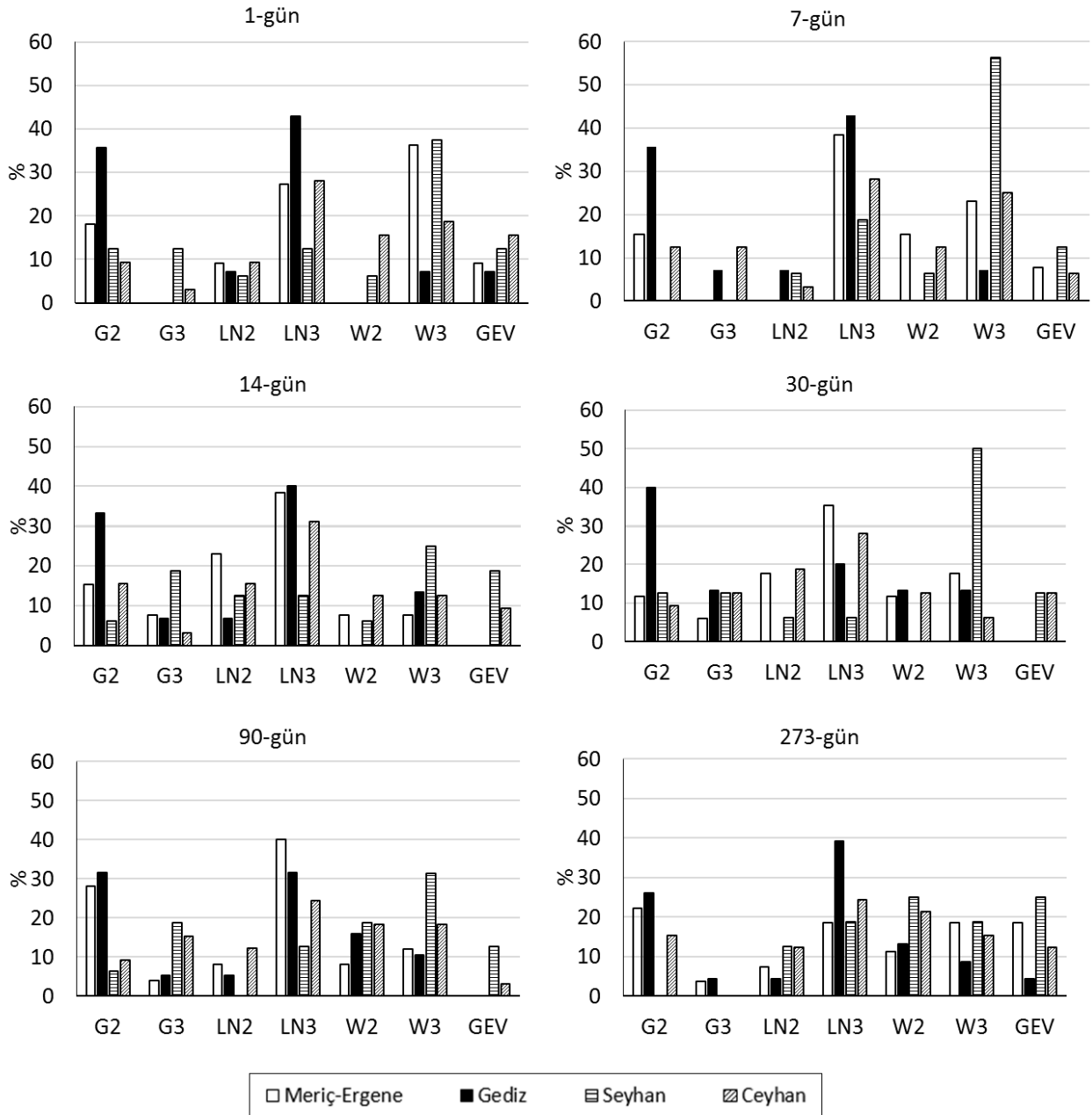
**Tablo 3.** *D*-günlük düşük akım olasılık dağılımlarının oranları

| Havza        | Dağılım | <i>D</i> (gün)   |                  |                  |                  |                  |                  |
|--------------|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|              |         | 1                | 7                | 14               | 30               | 90               | 273              |
| Meriç-Ergene | G2      | 18               | 15               | 15               | 12               | 28               | <b><u>22</u></b> |
|              | G3      | 0                | 0                | 8                | 6                | 4                | 4                |
|              | LN2     | 9                | 0                | 23               | 18               | 8                | 7                |
|              | LN3     | 27               | <b><u>38</u></b> | <b><u>38</u></b> | <b><u>35</u></b> | <b><u>40</u></b> | 19               |
|              | W2      | 0                | 15               | 8                | 12               | 8                | 11               |
|              | W3      | <b><u>36</u></b> | 23               | 8                | 18               | 12               | 19               |
|              | GEV     | 9                | 8                | 0                | 0                | 0                | 19               |
| Gediz        | G2      | 36               | 36               | 33               | <b><u>40</u></b> | <b><u>32</u></b> | 26               |
|              | G3      | 0                | 7                | 7                | 13               | 5                | 4                |
|              | LN2     | 7                | 7                | 7                | 0                | 5                | 4                |
|              | LN3     | <b><u>43</u></b> | <b><u>43</u></b> | <b><u>40</u></b> | 20               | <b><u>32</u></b> | <b><u>39</u></b> |
|              | W2      | 0                | 0                | 0                | 13               | 16               | 13               |
|              | W3      | 7                | 7                | 13               | 13               | 11               | 9                |
|              | GEV     | 7                | 0                | 0                | 0                | 0                | 4                |
| Seyhan       | G2      | 13               | 0                | 6                | 13               | 6                | 0                |
|              | G3      | 13               | 0                | 19               | 13               | 19               | 0                |
|              | LN2     | 6                | 6                | 13               | 6                | 0                | 13               |
|              | LN3     | 13               | 19               | 13               | 6                | 13               | 19               |
|              | W2      | 6                | 6                | 6                | 0                | 19               | <b><u>25</u></b> |
|              | W3      | <b><u>38</u></b> | <b><u>56</u></b> | <b><u>25</u></b> | <b><u>50</u></b> | <b><u>31</u></b> | 19               |
|              | GEV     | 13               | 13               | 19               | 13               | 13               | <b><u>25</u></b> |
| Ceyhan       | G2      | 13               | 9                | 6                | 15               | 6                | 15               |
|              | G3      | 6                | 13               | 13               | 12               | 15               | 0                |
|              | LN2     | 6                | 3                | 9                | 15               | 12               | 12               |
|              | LN3     | <b><u>25</u></b> | 22               | <b><u>28</u></b> | <b><u>21</u></b> | <b><u>24</u></b> | <b><u>24</u></b> |
|              | W2      | 19               | 16               | 13               | 15               | 18               | 21               |
|              | W3      | 16               | <b><u>31</u></b> | <b><u>28</u></b> | 6                | 21               | 18               |
|              | GEV     | 16               | 6                | 3                | 15               | 3                | 9                |

**Düşük Akım – Süre – Frekans Eğrileri**

$D = 1, 7, 14, 30, 90$  ve  $273$  günlük düşük akımlara en iyi uyan olasılık dağılım fonksiyonunun belirlenmesi ile herhangi bir dönüş aralığındaki  $D$ -günlük düşük akım tahmin edilebilir. Bu tahmin mühendislik tasarım uygulamaları için yararlıdır. Kuruyan akarsularda  $D$ -günlük düşük akımlar yukarıda açıklandığı üzere toplam olasılık yasasına göre sıfır akımların oranı hesaba katılarak yapılmıştır. Uygulamanın uygunluğunun ortaya konması amacıyla her bir havzadan birer örnek istasyona ait sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir. Meriç-Ergene, Gediz ve Ceyhan havzaları için seçilen istasyonlarda  $D = 1, 7, 14, 30, 90$  ve

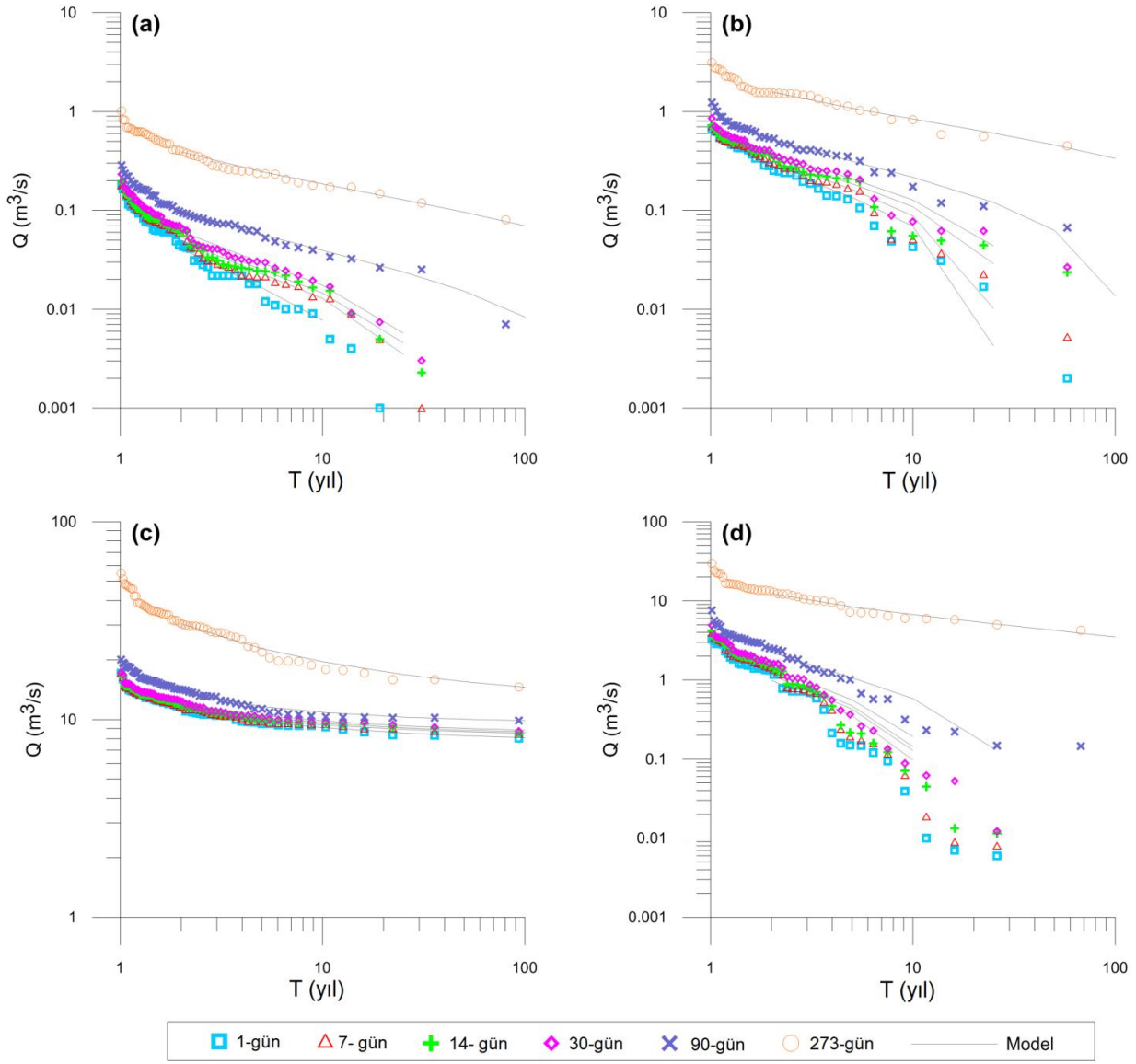
$273$  günlük akıma hangi dağılımın en iyi uyduğundan bağımsız olarak LN3 dağılımı ile tahmin yapılmıştır. Seyhan havzasından seçilen istasyonda ise tahminler W3 dağılımı ile yapılmıştır. Seçilen istasyonların LN3 ve W3 dağılımlarına ait parametreler kullanılarak örnek istasyonlar için 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl dönüş aralıkları için düşük akım değerleri hesaplanmış, gözlenmiş verilerden elde edilen düşük akım-süre-frekans eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Gözlemlerin olasılık dağılım fonksiyonlarına bağlı olarak belirlenen düşük akım-süre-frekans eğrileri ile uyum içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 2 D-günlük düşük akımların olasılık dağılım fonksiyonları

Belli dönüş aralıklarındaki düşük akım değerleri hesaplanamamıştır. Bu durum, yukarıda açıklandığı üzere dönüş aralığı ile  $D$ -günlük düşük akım zaman serisinde sıfır olmayan akımların sayısı arasındaki ilişkiye (Denklemler 8) bağlıdır. Örneğin; Meriç-Ergene havzasındaki D01A031 kodlu akım gözlem istasyonunda 1-günlük düşük akımlar ancak 10 yıl ve daha kısa dönüş aralıklı düşük akımları tahminde

kullanılabilir. Zaten 10 yıldan daha uzun dönüş aralıklarındaki düşük akımların sıfır değerini alacağı belli olduğundan hesap yapılmasına gerek yoktur. Bu arada Seyhan Havzası'nda seçilen istasyonda  $D$ -günlük düşük akımlar sıfır değerini almadığından (yani akarsu kurumadığından) 100 yıl dönüş aralığına kadar olan düşük akımların hesaplanabildiği görülmektedir.



Şekil 3. Düşük akım-süre-frekans eğrileri. (a)D01A031 (Meriç-Ergene), (b)E05A024 (Gediz), (c)E18A001 (Seyhan), (d)E20A009 (Ceyhan)

### Düşük Akımın Çevresel Akış ile Arasındaki İlişkisi

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ile hidroelektrik sektöründe faaliyet gösteren tüzel kişiler arasında düzenlenen *Su Hakkı Anlaşması* kapsamında doğal hayatın devamı için mansaba bırakılacak su miktarı olarak bilinen *can suyu* (Atak, 2014) veya su kullanımının ve düzenlenen akımların olduğu nehir, sulak alan veya kıyı bölgelerdeki ekosistemin korunması ve ekosistemin insan ve diğer canlılara sunduğu hizmetlerin sürekliliği için gerekli asgari su debisi (Resmi Gazete, 2014) veya doğal hayatın devamı için mansaba bırakılacak su miktarı olarak tanımlanan *çevresel akış* projeye esas

alınan son on yıllık ortalama akımın en az %10'u olmak zorundadır (Resmi Gazete, 2015).

Bu çalışmada, çevresel akış ile düşük akım arasında olası bir ilişkinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bunun için Şekil 1'de verilen ve Tablo 2'de özetlenen akım gözlem istasyonlarına ait  $D = 1, 7, 14, 30, 90$  ve  $273$  günlük  $T = 2, 5, 10, 25, 50$  ve  $100$  yıl dönüş aralıklarındaki düşük akımlar kullanılmıştır. Her bir havzada, akım gözlem istasyonlarının her bir dönüş aralığındaki  $D$ -günlük düşük akımı ( $Q_{D,T}$ ) ile çevresel akış ( $Q_{çevre}$ ) arasında



$$Q_{\text{çevre}} = aQ_{D,T} \quad (9)$$

şeklinde doğrusal bir ilişki araştırılmış, bu ilişkilerde hesaplanan katsayılar Tablo 4'te verilmiştir. Görüldüğü üzere, katsayılar  $D$  büyüdükçe azalmakta, aynı  $D$  değeri için dönüş aralığı büyüdükçe de artmaktadır. Havza sayısının az olması nedeniyle genel bir çıkarım yapılamamakla birlikte her bir  $Q_{D,T}$  ile çevresel akış arasında bir oran hesaplanması mümkündür. Örnek olmak üzere, Gediz havzasında  $Q_{30,2}$ 'nin (2 yıl dönüş aralıklı 30-

günlük düşük akımın) çevresel akış ile hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Ceyhan havzasında  $Q_{7,25}$ 'in (25 yıl dönüş aralıklı 7-günlük düşük akımın) çevresel akışa yakın olduğu belirlenmiştir. Tablo 4'te dört havza verilerine göre hesaplanan ortalama değerler kullanıldığında  $Q_{14,2}$ 'nin (2 yıl dönüş aralıklı 14-günlük düşük akımın) çevresel akışa en yakın değer olduğu görülmektedir. Ancak havzalar arasında mertebede farklar olduğu hesaba katılarak bu sonucun genelleştirilemeyeceği vurgulanmalıdır.

**Tablo 4.** Çevresel akış ile düşük akım arasındaki doğrusal ilişkide hesaplanan katsayılar

| T (yıl) | Havza           | 1             | 7             | 14            | 30            | 90            | 273           |
|---------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 2       | Meriç-Ergene    | 3.5740        | 2.7612        | 2.6193        | 2.0984        | 1.2951        | 0.1064        |
|         | Gediz           | 1.4572        | 1.2822        | 1.1858        | 1.0529        | 0.5102        | 0.0845        |
|         | Seyhan          | 0.0613        | 0.0623        | 0.0618        | 0.0610        | 0.0530        | 0.0193        |
|         | Ceyhan          | 0.4786        | 0.4069        | 0.3621        | 0.3148        | 0.2261        | 0.0993        |
|         | <b>Ortalama</b> | <b>1.3928</b> | <b>1.1282</b> | <b>1.0573</b> | <b>0.8818</b> | <b>0.5211</b> | <b>0.0774</b> |
| 5       | Meriç-Ergene    | 4.3665        | 3.4558        | 3.1777        | 2.9336        | 2.5656        | 0.1841        |
|         | Gediz           | 3.0754        | 2.5793        | 2.2915        | 2.0090        | 0.8672        | 0.1493        |
|         | Seyhan          | 0.0658        | 0.0651        | 0.0648        | 0.0647        | 0.0590        | 0.0262        |
|         | Ceyhan          | 0.6815        | 0.5934        | 0.5274        | 0.4511        | 0.2994        | 0.1421        |
|         | <b>Ortalama</b> | <b>2.0473</b> | <b>1.6734</b> | <b>1.5154</b> | <b>1.3646</b> | <b>0.9478</b> | <b>0.1254</b> |
| 10      | Meriç-Ergene    | 5.4077        | 4.0149        | 3.6151        | 3.3073        | 3.5441        | 0.2608        |
|         | Gediz           | 5.2487        | 4.3536        | 3.6720        | 3.0917        | 1.2375        | 0.2036        |
|         | Seyhan          | 0.0670        | 0.0639        | 0.0639        | 0.0641        | 0.0604        | 0.0307        |
|         | Ceyhan          | 0.8400        | 0.7402        | 0.6726        | 0.5731        | 0.3579        | 0.1722        |
|         | <b>Ortalama</b> | <b>2.8909</b> | <b>2.2932</b> | <b>2.0059</b> | <b>1.7591</b> | <b>1.3000</b> | <b>0.1668</b> |
| 25      | Meriç-Ergene    | 6.9167        | 4.6528        | 4.1059        | 3.8541        | 3.8282        | 0.4095        |
|         | Gediz           | 7.4968        | 8.6659        | 7.4725        | 5.7397        | 2.0146        | 0.2721        |
|         | Seyhan          | 0.0665        | 0.0602        | 0.0604        | 0.0606        | 0.0597        | 0.0357        |
|         | Ceyhan          | 1.0729        | 0.9580        | 0.9136        | 0.7841        | 0.4492        | 0.2120        |
|         | <b>Ortalama</b> | <b>3.8882</b> | <b>3.5842</b> | <b>3.1381</b> | <b>2.6096</b> | <b>1.5879</b> | <b>0.2323</b> |
| 50      | Meriç-Ergene    | 8.2151        | 4.9922        | 4.3533        | 4.1427        | 3.3929        | 0.5525        |
|         | Gediz           | 2.3463        | 5.9610        | 9.1298        | 8.0470        | 3.0679        | 0.3014        |
|         | Seyhan          | 0.0650        | 0.0566        | 0.0569        | 0.0569        | 0.0582        | 0.0386        |
|         | Ceyhan          | 1.2685        | 1.1441        | 1.1391        | 0.9976        | 0.5349        | 0.2429        |
|         | <b>Ortalama</b> | <b>2.9737</b> | <b>3.0385</b> | <b>3.6698</b> | <b>3.3111</b> | <b>1.7635</b> | <b>0.2839</b> |
| 100     | Meriç-Ergene    | 9.6807        | 5.3066        | 4.5834        | 4.4125        | 3.2916        | 0.6692        |
|         | Gediz           | 2.2726        | 2.2342        | 6.2221        | 9.4137        | 4.9032        | 0.3150        |
|         | Seyhan          | 0.0600        | 0.0528        | 0.0532        | 0.0528        | 0.0562        | 0.0407        |
|         | Ceyhan          | 1.4737        | 1.3444        | 1.3795        | 1.2600        | 0.6417        | 0.2743        |
|         | <b>Ortalama</b> | <b>3.3718</b> | <b>2.2345</b> | <b>3.0596</b> | <b>3.7848</b> | <b>2.2232</b> | <b>0.3248</b> |

## Sonuçlar

Frekans analizi kuruyan akarsuların hakim olduğu hidrolojik havzalarda düşük akımların belirlenmesinde kullanılmıştır. Düşük akımların frekans analizinde sıkça kullanılan 2- ve 3-parametrelili olasılık dağılım fonksiyonları arasında 2- ve 3-parametrelili Gamma, 2- ve 3-parametrelili log-normal, 2- ve 3-parametrelili Weibull ile Genel Ekstrem Değer dağılımları seçilmiştir. Frekans analizi sonuçlarına göre Meriç-Ergene, Gediz ve Ceyhan havzalarında düşük akım verilerine çoğunlukla 3-parametrelili log-normal dağılımın uyum gösterdiği belirlenmiş, Seyhan havzasında ise düşük akımları temsil etmede 3-parametrelili Weibull dağılımının ön plana çıktığı görülmüştür. Akarsuların zaman zaman kurudukları da hesaba katılarak uydurulan olasılık dağılım fonksiyonları ile akım gözlem istasyonu bazında belirlenen düşük akım debi-süre-frekans eğrileri sayesinde belli dönüş aralıklarındaki beklenen düşük akımlar hesaplanabilir. Düşük akımlar ile çevresel akış arasında yapılan basit bir analiz ile genel geçerli olmamakla birlikte belli dönüş aralıklarındaki *D*-günlük düşük akımların çevresel akış olarak kullanma potansiyellerinin olduğu görülmüştür.

## Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB) tarafından TÜMEHAP programı altında desteklenen TUJJB-TÜMEHAP-2015-01 no.lu "Hidrolojik Havzalarda Düşük Akımlar ve Kuraklık Analizi" adlı proje çerçevesinde gerçekleştirilmiştir

## Kaynaklar

- Ahn, K-H. ve Merwade, V., (2017). The effect of land cover change on duration and severity of high and low flows, *Hydrological Processes*, **31**, 133-149.
- Atak, E., ed. (2014). Sürdürülebilir Hidroelektrik İçin Çevresel Akış Kılavuzu, WWF-Türkiye, 69, İstanbul.
- Bayazıt, M. ve Önöz, B., (2008). *Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi*, Nobel Yayın, İstanbul.

- Bulu, A. ve Aksoy, H., (1998). Low flow and drought studies in Turkey, *Proceedings, UNESCO FRIEND-AMHY, Low Flows Expert Meeting*, 123-131, Belgrade, Yugoslavia.
- Bulu, A. ve Önöz, B., (1997). Frequency analysis of low flows by the PPCC test in Turkey. UNESCO FRIEND-AMHY'97 – Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management, IAHS Publication No: 246, 133-140.
- Bulu, A., Cığızoğlu, H.K. ve Çokgör, Ş., (1995). Statistical analysis of low flows on Thrace Region, *Proceedings, UNESCO FRIEND-AMHY Conference*, 91-104, Thessalonique, Greece.
- Cammalleri, C., Vogt, J. ve Salamon, P., (2017). Development of operational low-flow index for hydrological drought monitoring over Europe, *Hydrological Sciences Journal*, **62**, 3, 346-358.
- Duran, S.D., (2000). Düşük akım hidrolojisi ve Ege Bölgesi uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Gustard, A., Bullock, A. ve Dixon, J. M., (1992). Low Flow Estimation in the United Kingdom, Rep. No.108, Inst. of Hydrology.
- Engeland, K. ve Hisdal, H., (2009). A comparison of low flow estimates in ungauged catchments using regional regression and the HBV-model, *Water Resources Management*, **23**, 2567-2586.
- Haan, C.T., (1977). *Statistical Methods in Hydrology*. 378, Iowa State University Press.
- Köken, E., (2009). Dicle havzası düşük akım karakteristiklerinin bölgeselleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Laaha, G. ve Blöschl, G., (2006). A comparison of low-flow regionalisation methods-catchment grouping, *Journal of Hydrology*, **323**, 193-214.
- Resmi Gazete, (2014). Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik, *Resmi Gazete*, 11.02.2014, Sayı: 28910
- Resmi Gazete, (2015). Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik, *Resmi Gazete*, 21.02.2015, Sayı: 29274
- Riggs H.C., Caffey C.E., Orsborn J.F, Schaake J.C.Jr., Singh K.P. ve Wallace J.R., (1980). Characteristics of low flows, Report of an ASCE Task Committee, *Journal of Hydraulic Engineering*, **106**, 5, 717-731.
- Saraçoğlu, Ö., (2002). Düşük akım hidrolojisi ve Akdeniz bölgesinde uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Sarış, F., (2016). Porsuk Çayı havzasında düşük akım analizi, *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, **33**, 73-81.
- Sertbaş, Y.D., (1996). Sakarya havzası akarsularının düşük akım debilerine en uygun dağılımın araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Smakhtin, V.U., (2001). Low flow hydrology: a review, *Journal of Hydrology*, **240**, 147-186.
- Stedinger, J.R., Vogel, R.M. and Foufoula-Georgiou E., (1993). *Frequency analysis of extreme events* in Maidment, D., ed, *Handbook of Hydrology*, McGraw Hill Book Company, New York.
- Yürekli, K., Kurunc, A. ve Gül, S., (2005). Frequency analysis of low flow series from Çekerek Stream Basin, *Journal of Agricultural Sciences*, **11**, 1, 72-77.

## Frequency Analysis of Low Flows and Relation with Environmental Flow

### Extended abstract

Low flows observed in the stream at certain times of the year are studied frequently due to their importance in water supply, water quality, transportation and stream ecology. Long low flow periods increase the probability of drought. Low flows become more important under dry weather conditions. Low flow frequency analysis is a useful practice for estimating the probability of water availability in streams during critical low flow periods such as drought. In this study, frequency analysis of low flows in four hydrological watersheds, Meriç-Ergene, Gediz, Seyhan and Ceyhan, were performed. For the analysis, 27, 23, 16 and 33 streamflow gauges were selected from Meric-Ergene, Gediz, Seyhan and Ceyhan basins, respectively. Most of the streamflow gauges has intermittent character in Meriç-Ergene, Gediz and Ceyhan Basins while rivers in Seyhan Basin are mostly perennial. Selected streamflow gauges have uninterrupted time series with record lengths from 10 years at minimum up to 59 years at maximum between years 1939 to 2015. The  $D$ -day average time series is obtained by taking the overlapping  $D$ -day average of the daily streamflow time series under consideration. For one year-portion of the daily streamflow time series, the number of  $D$ -day average flow is  $365-(D-1)$ . The minimum of the calculated  $D$ -day low flow sequence at each year is taken as the  $D$ -day low flow of the year; hence a  $D$ -day low flow sequence with  $N$  items is obtained. Frequency analysis of  $D = 1, 7, 14, 30, 90$  and  $273$ -day low flows calculated from the daily flow time series of each stream gauge was performed. The 2- and 3-parameter Gamma, log-normal, Weibull distributions were considered together with the Generalized Extreme Value distribution. Selected probability distribution functions were checked for their suitability to fit each  $D$ -day low flow sequence. In fitting the probability distribution function, any  $D$ -day low flow sequence with minimum 10 years of non-zero low flow was used. Zero flows in each  $D$ -day sequence were taken into account for calculating the low flow of a given return period once the probability distribution function was fitted the  $D$ -day low flow data. The least square method was used to calculate the parameters of  $W2$ ; the method of moments for  $GEV, G2, LN2, LN3$  and maximum likelihood method for  $W3$  and  $G3$ .

Kolmogorov-Smirnov test was performed to check the goodness of fit of the selected distributions at significance level  $\alpha = 0.05$ . The 3-parameter log-normal ( $LN3$ ) distribution is found the best in Meriç-Ergene, Gediz and Ceyhan basins while the 3-parameter Weibull ( $W3$ ) distribution has been the best in Seyhan. Once the best-fit probability distribution of the  $D$ -day low flow sequence is determined,  $D$ -day low flow of any return period can be calculated. Parameters of the selected probability distribution functions (3-parameter log-normal distribution and 3-parameter Weibull distribution) were determined for each of the streamflow gauging stations and used in calculating the  $D$ -day low flows in every individual gauging station for return periods of 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years. In estimating low flows for a given return period, zero  $D$ -day low flows were considered through the total probability theorem. For each gauging station, low flow discharge-duration-frequency curves were developed. The low flow-duration-frequency curves are useful tools for many purposes but particularly for practicing engineers. An engineer could get any low-flow design discharge from the low flow-duration-frequency curves. In this study, a simple analysis between low flow and environmental flow was also investigated. Environmental flow can be described as the quality, quantity and timing of water flows required to maintain the components, functions, processes and resilience of aquatic ecosystems and the benefits they provide to people. Environmental flows provide critical contributions to river health, economic development and poverty alleviation. Simple relationship between low flow and environmental discharge showed that the  $D$ -day low flow has a potential to be used as environmental flow. However, preliminary results not yet at the level to generalize were obtained.

**Keywords:** Low flow, Frequency analysis, Intermittent river, Discharge-Duration-Frequency curve, Environmental flow