

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKIM ÖLÇÜMÜ OLMAYAN KURUYAN AKARSULAR İÇİN DEBİ  
SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ MODELİ**



**DOKTORA TEZİ**

**Halil İbrahim BURGAN**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı**

**TEMMUZ 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKIM ÖLÇÜMÜ OLMAYAN KURUYAN AKARSULAR İÇİN DEBİ  
SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ MODELİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Halil İbrahim BURGAN  
(501132501)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı**

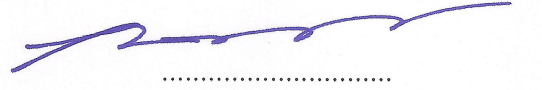
**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hafzullah AKSOY**

**TEMMUZ 2019**

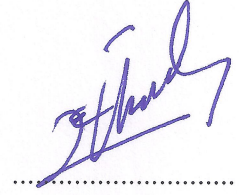


İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501132501 numaralı Doktora Öğrencisi Halil İbrahim BURGAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "AKIM ÖLÇÜMÜ OLMAYAN KURUYAN AKARSULAR İÇİN DEBİ SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ MODELİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** Prof. Dr. Hafzullah AKSOY  
İstanbul Teknik Üniversitesi



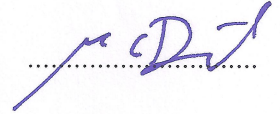
**Jüri Üyeleri :** Dr. Öğr. Üyesi Necati Erdem ÜNAL  
İstanbul Teknik Üniversitesi



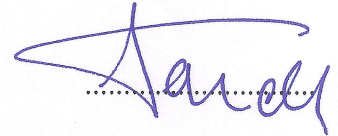
Doç. Dr. Ebru ERİŞ DUMAN  
Ege Üniversitesi



Doç. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL  
İstanbul Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU  
Antalya Bilim Üniversitesi



**Teslim Tarihi :** 26 Haziran 2019  
**Savunma Tarihi :** 29 Temmuz 2019





*Eşime, kızıma ve aileme,*



## ÖNSÖZ

Doktora tez çalışmamda bana yol gösteren, destek veren ve motive eden çok değerli hocam Prof. Dr. Hafzullah AKSOY'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca çalışmaya jüri üyesi olarak destek veren kıymetli hocalarım Doç. Dr. Ebru ERİŞ DUMAN ve Dr. Öğr. Üyesi Necati Erdem ÜNAL'a teşekkür ederim.

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 39334 no.lu proje ile desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin temininde destek sağlayan DSİ ve MGM'ye katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunuyorum. Kullanılan veri sayısının çok olması nedeniyle verilerin tasnif edilmesi, ayrıştırılması, modelin çalıştırılması amacıyla kodlama konusunda bana her daim destek olan kardeşim M. Hamit Burgan'a desteklerinden ötürü müteşekkirim. Ayrıca büyük bir sabırla bana her türlü destek olan biricik kızım, eşim ve aileme şükranlarımı sunuyorum. Bugünlere gelmemde emeği, katkısı ve desteği olan isimlerini yazamadığım çok değerli hocalarım ve arkadaşlarıma da saygı ve selamlarımı sunuyorum.

Haziran 2019

Halil İbrahim BURGAN  
(İnşaat Y. Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>SEMBOLLER</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xix</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Genel .....	1
1.2 Amaç .....	2
1.3 Konu ve Kapsam .....	2
1.4 Konunun Önemi .....	3
1.5 Özgün Değer .....	3
1.6 Çalışmanın Düzeni .....	4
<b>2. DEBİ SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ MODELLERİNE BİR BAKIŞ</b> .....	<b>7</b>
2.1 Genel .....	7
2.2 Zaman Aralığının Seçimi .....	9
2.2.1 Yıllık debi süreklilik çizgisi .....	9
2.2.2 Aylık debi süreklilik çizgisi .....	10
2.2.3 Günlük debi süreklilik çizgisi .....	10
2.3 Kuruyan Akarsuların Debi Süreklilik Çizgisi ile ilgili Çalışmalar .....	11
2.4 Akım Ölçümü Olmayan Havzalarda Debi Süreklilik Çizgisi .....	13
2.5 Debi Süreklilik Çizgisi Modelleri .....	15
2.5.1 Matematiksel modeller .....	15
2.5.2 İstatistiksel modeller .....	16
2.5.3 Stokastik modeller .....	18
2.5.4 Grafik modeller .....	19
2.5.5 Diğer yaklaşımlar .....	20
2.6 Geliştirilen Modellerin Değerlendirilmesi .....	23
2.7 Çalışmanın Motivasyonu .....	25
<b>3. YÖNTEM</b> .....	<b>27</b>
3.1 Debi Süreklilik Çizgisi Modeli .....	27
3.2 Değişkenlerin Seçimi .....	32
3.2.1 Değişkenlerin kontrolü .....	32
3.2.2 Çoklu bağlantı için varyans artış faktörü .....	34
3.2.3 Otokorelasyon için Durbin Watson istatistiği .....	34
3.2.4 Eşit varyans için grafik yöntem .....	35
3.3 Değerlendirme Ölçütleri .....	37
3.3.1 Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı .....	37

3.3.2 Ortalama karesel hatanın karekökü .....	38
3.3.3 Standart sapma oranı .....	38
3.3.4 Ortalama karesel hata .....	39
3.3.5 Ortalama mutlak hata .....	39
3.3.6 Rölatif hata .....	39
3.3.7 Hacimsel hata .....	40
3.3.8 Debi süreklilik çizgisi yüksek kısmının hatası .....	40
3.3.9 Debi süreklilik çizgisi orta eğiminin hatası .....	41
3.3.10 Debi süreklilik çizgisi düşük kısmının hatası .....	41
<b>4. HAVZA KARAKTERİSTİKLERİ .....</b>	<b>43</b>
4.1 Sayısal Yükseklik Modeli .....	43
4.2 Havza Karakteristikleri .....	44
4.3 Alansal Yağışın Hesaplanması .....	49
4.3.1 Yağış gözlem istasyonları .....	49
4.3.2 Yıllık toplam yağışın hesaplanması .....	49
<b>5. UYGULAMA ALANLARI VE VERİ .....</b>	<b>51</b>
5.1 Uygulama Alanları .....	51
5.1.1 Seyhan Havzası .....	51
5.1.2 Ceyhan Havzası .....	53
5.1.3 Meriç Havzası .....	53
5.1.4 Gediz Havzası .....	54
5.2 Veri .....	55
5.2.1 Akım .....	55
5.2.2 Yağış .....	66
5.2.3 Havza karakteristikleri .....	73
<b>6. YILLIK DEBİ SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ .....</b>	<b>75</b>
6.1 Giriş .....	75
6.2 Uygulama .....	77
<b>7. AYLIK DEBİ SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ .....</b>	<b>87</b>
7.1 Giriş .....	87
7.2 Uygulama .....	90
<b>8. GÜNLÜK DEBİ SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ .....</b>	<b>99</b>
8.1 Giriş .....	99
8.2 Uygulama .....	103
<b>9. SONUÇLAR .....</b>	<b>119</b>
9.1 Genel .....	119
9.2 Yıllık Debi Süreklilik Çizgisi ile ilgili Sonuçlar .....	119
9.3 Aylık Debi Süreklilik Çizgisi ile ilgili Sonuçlar .....	120
9.4 Günlük Debi Süreklilik Çizgisi ile ilgili Sonuçlar .....	121
9.5 Geleceğe Yönelik Düşünceler .....	122
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>125</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>131</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>161</b>

## KISALTMALAR

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>AGİ</b>	: Akım gözlem istasyonu
<b>ASTER</b>	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
<b>AW3D</b>	: Advanced Land Observing Satellite (ALOS) World 3D
<b>BiasFHV</b>	: Debi süreklilik çizgisi yüksek kısmının hatası
<b>BiasFLV</b>	: Debi süreklilik çizgisi düşük kısmının hatası
<b>CBS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>DEM</b>	: Sayısal yükseklik modeli
<b>DSİ</b>	: Devlet Su İşleri
<b>DW</b>	: Durbin Watson
<b>GDEM</b>	: Global Digital Elevation Model
<b>HGM</b>	: Harita Genel Müdürlüğü
<b>İTÜ</b>	: İstanbul Teknik Üniversitesi
<b>MAE</b>	: Ortalama mutlak hata
<b>MERIT</b>	: Multi-Error-Removed Improved-Terrain
<b>METI</b>	: Ministry of Economy, Trade and Industry
<b>MGM</b>	: Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
<b>MSE</b>	: Ortalama karesel hata
<b>NASA</b>	: National Aeronautics and Space Administration
<b>NSE</b>	: Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı
<b>P-P</b>	: Çift olasılık çizgisi
<b>RE</b>	: Rölatif hata
<b>RMSE</b>	: Ortalama karesel hatanın karekökü
<b>RSR</b>	: Standart sapma oranı
<b>SFDCE</b>	: Debi süreklilik çizgisi orta eğiminin hatası
<b>SRTM</b>	: Shuttle Radar Topography Mission
<b>SYGM</b>	: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
<b>TauDEM</b>	: Terrain Analysis Using Digital Elevation Models
<b>TND</b>	: Toplam negatif sapma
<b>USGS</b>	: United States Geological Survey
<b>VE</b>	: Hacimsel hata
<b>VIF</b>	: Varyans Artış Faktörü
<b>YĞİ</b>	: Yağış gözlem istasyonu



## SEMBOLLER

$A$	: Havza alanı (km <sup>2</sup> )
$b$	: Denklem sabiti
$C$	: Denklem sabiti
$d$	: Drenaj yoğunluğu
$d_L$	: Durbin Watson istatistiğinde kritik değerin alt sınırı
$D$	: Aşılma yüzdesi (%)
$D'$	: Kuruma noktasından hesaplanan aşılma yüzdesi (%)
$e$	: Hata
$F$	: Fisher testi
$F_c$	: Fisher testi kritik değeri
$H$	: Havza kot farkı (m)
$m$	: Sınıf sayısı
$n$	: Gözlem süresi (yıl, ay ya da gün)
$N$	: Eleman sayısı
$N_i$	: Her bir sınıftaki eleman sayısı
$p$	: Olasılık
$P$	: Yağış (mm)
$p_i$	: Aynı sınıf aralığında bulunma olasılığı
$q$	: Boyutsuz debi
$q_i$	: $i$ inci sıradaki boyutsuz debi
$q_D$	: $D$ aşılma yüzdesine karşı gelen boyutsuz debi
$Q$	: Debi (m <sup>3</sup> /s, m <sup>3</sup> /s-km <sup>2</sup> ya da l/s-km <sup>2</sup> )
$Q_i$	: $i$ inci sıradaki gözlenen ortalama akım (m <sup>3</sup> /s)
$Q_D$	: $D$ aşılma yüzdesine karşı gelen boyutlu debi (m <sup>3</sup> /s)
$\bar{Q}_g$	: Gözlem süresi boyunca hesaplanan ortalama akım (m <sup>3</sup> /s)
$r$	: Parametre sayısı
$R^2$	: Determinasyon katsayısı
$S$	: Havza eğimi
$s. d.$	: Serbestlik derecesi
$t$	: t testi
$\tau$	: Debi süreklilik çizgisinin kuruma noktası (%)
$\theta$	: Üstel dönüşüm katsayısı
$w$	: Normalleştirilmiş boyutsuz debi
$w_i$	: $i$ inci normalleştirilmiş boyutsuz debi
$w_D$	: $D$ aşılma yüzdesine karşı gelen normalleştirilmiş boyutsuz debi
$z_D$	: Standart normal değişken
$z_{D'}$	: Kuruma noktasından hesaplanan standart normal değişken
$w_{50}$	: Normalleştirilmiş boyutsuz debilerin medyanı
$\mu_w$	: Normalleştirilmiş boyutsuz debilerin ortalaması
$\sigma_w$	: Normalleştirilmiş boyutsuz debilerin standart sapması
$\chi^2$	: Ki-kare

$\chi^2_\alpha$	: $\alpha$ güven düzeyinde Ki-kare değeri
$\alpha$	: Güven düzeyi
$\mu_x$	: X değişkeninin ortalaması
$\mu_y$	: Y değişkeninin ortalaması
$\bar{x}$	: $x$ örneğinin ortalaması
$\bar{y}$	: $y$ örneğinin ortalaması
$Var(x)$	: $x$ örneğinin varyansı
$Var(y)$	: $y$ örneğinin varyansı
$s$	: Standart sapma
$s_x$	: $x$ örneğinin standart sapması
$s_y$	: $y$ örneğinin standart sapması
$\rho$	: Korelasyon katsayısı



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : NSE'ye göre performans değerlendirmesi. ....	38
Çizelge 3.2 : RSR'ye göre performans değerlendirmesi. ....	39
Çizelge 4.1 : DEM verilerinin karşılaştırılması. ....	43
Çizelge 5.1 : Seyhan havzası AGİ değerlenmiş yıllar. ....	56
Çizelge 5.2 : Ceyhan havzası AGİ değerlenmiş yıllar. ....	57
Çizelge 5.3 : Meriç havzası AGİ değerlenmiş yıllar. ....	59
Çizelge 5.4 : Gediz havzası AGİ değerlenmiş yıllar. ....	59
Çizelge 5.5 : Yıllık akım verileri. ....	60
Çizelge 5.6 : Yıllık akımların istatistiksel özelliklerinin ortalamaları. ....	62
Çizelge 5.7 : Aylık akımların istatistiksel özelliklerinin ortalamaları. ....	63
Çizelge 5.8 : Günlük akımların istatistiksel özelliklerinin ortalamaları. ....	66
Çizelge 5.9 : Seyhan havzası YGİ değerlenmiş yıllar. ....	67
Çizelge 5.10 : Ceyhan havzası YGİ değerlenmiş yıllar. ....	68
Çizelge 5.11 : Meriç havzası YGİ değerlenmiş yıllar. ....	69
Çizelge 5.12 : Gediz havzası YGİ değerlenmiş yıllar. ....	70
Çizelge 5.13 : Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan havza karakteristیکlerinin ortalamaları. ....	71
Çizelge 5.14 : Aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan havza karakteristیکlerinin ortalamaları. ....	71
Çizelge 5.15 : Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan havza karakteristیکlerinin ortalamaları. ....	73
Çizelge 6.1 : Kullanılan yıllık akım verileri. ....	75
Çizelge 6.2 : Kullanılan yıllık akım verilerinin istatistiksel özelliklerinin ortalamaları. ....	76
Çizelge 6.3 : Yıllık uygulamada kullanılan havza karakteristیکlerinin istatistiksel özellikleri. ....	77
Çizelge 6.4 : D18A018 no.lu AGİ'de boyutsuzlaştırma işlemi. ....	77
Çizelge 6.5 : D18A018 no.lu AGİ'de normalleştirme işlemi. ....	78
Çizelge 6.6 : Yıllık uygulamada normal kuantillerin hesaplanması. ....	79
Çizelge 6.7 : Yıllık uygulamada boyutsuz kuantillerin ters dönüşümü. ....	80
Çizelge 6.8 : Yıllık uygulamada ortalama debi denklemlerinin değerlendirme ölçütleri. ....	81
Çizelge 6.9 : Validasyonda boyutlu kuantiller için hesaplanan rölatif hata değerleri. ....	86
Çizelge 6.10 : Yıllık uygulamada validasyon için hesaplanan diğer ölçütler. ....	86
Çizelge 7.1 : Kullanılan aylık akım verileri. ....	89
Çizelge 7.2 : Kullanılan aylık akım verilerinin istatistiksel özelliklerinin ortalamaları. ....	89
Çizelge 7.3 : Aylık uygulamada kullanılan havza karakteristیکlerinin istatistiksel özelliklerinin ortalamaları. ....	90

Çizelge 7.4 : D20A019 no.lu AGİ'de boyutsuzlaştırma işlemi.....	90
Çizelge 7.5 : D20A019 no.lu AGİ'de normalleştirme işlemi.....	91
Çizelge 7.6 : Aylık uygulamada normal kuantillerin hesaplanması.....	92
Çizelge 7.7 : Aylık uygulamada boyutsuz kuantillerin ters dönüşümü.....	93
Çizelge 7.8 : Aylık uygulamada ortalama akımların değerlendirme ölçütleri.....	94
Çizelge 7.9 : Aylık uygulamada validasyon için hesaplanan değerlendirme ölçütleri.....	98
Çizelge 8.1 : Kullanılan günlük akım verileri.....	101
Çizelge 8.2 : Kullanılan günlük akım verilerinin istatistiksel özelliklerinin ortalamaları.....	102
Çizelge 8.3 : Günlük uygulamada kullanılan havza karakteristiklerinin istatistiksel özelliklerinin ortalamaları.....	102
Çizelge 8.4 : D20A004 no.lu AGİ'de boyutsuzlaştırma işlemi.....	103
Çizelge 8.5 : D20A004 no.lu AGİ'de normalleştirme işlemi.....	103
Çizelge 8.6 : D20A004 no.lu kuruyan AGİ'de kullanılan aşılma yüzdeleri.....	107
Çizelge 8.7 : Kuruma noktası hesabında kullanılan değişkenlerin katsayıları.....	108
Çizelge 8.8 : Kuruma noktasının değerlendirme ölçütleri.....	109
Çizelge 8.9 : D20A004 no.lu AGİ'de normal kuantillerin hesaplanması.....	110
Çizelge 8.10 : D20A004 no.lu AGİ'de boyutsuz kuantillerin ters dönüşümü.....	110
Çizelge 8.11 : Ortalama debi hesabında değişkenler için t testi sonuçları.....	112
Çizelge 8.12 : Günlük uygulamada ortalama akımların değerlendirme ölçütleri....	114
Çizelge 8.13 : Kalibrasyon ve validasyon aşamasında değerlendirme ölçütleri.....	118
Çizelge A.1 : Seyhan havzası yıllık akım verilerinin istatistiksel özellikleri.....	133
Çizelge A.2 : Ceyhan havzası yıllık akım verilerinin istatistiksel özellikleri.....	134
Çizelge A.3 : Ceyhan havzası aylık akım verilerinin istatistiksel özellikleri.....	135
Çizelge A.4 : Günlük akım verilerinin istatistiksel özellikleri.....	136
Çizelge A.5 : Aylık yağış verilerinin istatistiksel özellikleri.....	137

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Akım işaretleri. Saat yönünde sağ alttan yıllık akım, mevsimsel akım, debi süreklilik çizgisi, düşük akım, taşkın piki ve hidrograf. ....	7
Şekil 2.2 : Farklı zaman aralıklarında debi süreklilik çizgileri.....	9
Şekil 2.3 : Debi süreklilik çizgisinin ağaçlandırma etkisiyle zamanla değişimi. ....	20
Şekil 2.4 : Toplam negatif sapmanın (TND) örnek gösterimi. ....	21
Şekil 2.5 : Benzer şekil ve alandaki havzaların farklı drenaj yoğunlukları. ....	22
Şekil 3.1 : Debi süreklilik çizgisi modelinin adımları. ....	28
Şekil 3.2 : Debi süreklilik çizgisinde kuruma noktası. ....	30
Şekil 3.3 : Hatalar arasındaki otokorelasyonun temsili gösterimi. ....	35
Şekil 3.4 : Farklı varyans (heterosedastisite) gösterimi. ....	36
Şekil 3.5 : Eşit ve farklı varyans için örnekler.....	36
Şekil 4.1 : Ağaç ve bitki yüksekliklerinin MERIT DEM verisine eklenmesi. ....	44
Şekil 4.2 : Havza karakteristikleri hesabında kullanılan akış şeması. ....	45
Şekil 4.3 : Boşluk doldurma işlemi öncesi ve sonrası akış.....	46
Şekil 4.4 : Komşu hücrelere bakılarak akış yönünün belirlenmesi. ....	47
Şekil 4.5 : Havzada akarsu kollarının belirlenmesi. ....	47
Şekil 4.6 : Havza sınırının belirlenmesi.....	48
Şekil 4.7 : Thiessen çokgenlerinin çizilmesi. ....	50
Şekil 5.1 : Uygulama havzalarının konumu. ....	51
Şekil 5.2 : Seyhan ve Ceyhan havzası akarsuları. ....	52
Şekil 5.3 : Meriç havzası akarsuları.....	54
Şekil 5.4 : Gediz havzası akarsuları.....	55
Şekil 5.5 : Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan AGİ'ler. ....	61
Şekil 5.6 : Yıllık akımların çarpıklık katsayılarının histogramı. ....	62
Şekil 5.7 : Aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan AGİ'ler. ....	62
Şekil 5.8 : Aylık akımların çarpıklık katsayılarının histogramı. ....	63
Şekil 5.9 : Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan Ceyhan havzası AGİ'leri. ....	64
Şekil 5.10 : Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan Meriç havzası AGİ'leri. ....	65
Şekil 5.11 : Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan Gediz havzası AGİ'leri. ....	65
Şekil 5.12 : Seyhan ve Ceyhan havzalarındaki YGİ'lerin konumu.....	71
Şekil 5.13 : Meriç havzasındaki YGİ'lerin konumu.....	72
Şekil 5.14 : Gediz havzasındaki YGİ'lerin konumu.....	73
Şekil 6.1 : Yıllık uygulamada kullanılan kalibrasyon ve validasyon AGİ'leri.....	76
Şekil 6.2 : Yıllık uygulamada boyutsuz debi değerlerinin histogramı. ....	78
Şekil 6.3 : Yıllık uygulamada boyutsuz debilerin çift olasılık çizgisi.....	78
Şekil 6.4 : Boyutsuz debi süreklilik çizgileri (a) kalibrasyon (b) validasyon.....	80
Şekil 6.5 : Yıllık uygulamada havza alanı-yağış ile ortalama debi ilişkisi.....	82

<b>Şekil 6.6</b> : Yıllık uygulamada tahmin edilen ve gözlenen ortalama debiler. ....	<b>82</b>
<b>Şekil 6.7</b> : Validasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri. ....	<b>84</b>
<b>Şekil 7.1</b> : Validasyon AGİ seçimi için havza alanlarının histogramlar a) <300 km <sup>2</sup> , b) >300 km <sup>2</sup> . ....	<b>88</b>
<b>Şekil 7.2</b> : Aylık uygulamada kullanılan kalibrasyon ve validasyon AGİ'leri. ....	<b>88</b>
<b>Şekil 7.3</b> : Aylık uygulamada boyutsuz debi değerlerinin histogramı. ....	<b>91</b>
<b>Şekil 7.4</b> : Aylık uygulamada boyutsuz debilerin çift olasılık çizgisi. ....	<b>91</b>
<b>Şekil 7.5</b> : Aylık uygulamada boyutsuz debi süreklilik çizgisi. ....	<b>93</b>
<b>Şekil 7.6</b> : Aylık uygulamada havza alanı-yağış ile ortalama debi ilişkisi. ....	<b>94</b>
<b>Şekil 7.7</b> : Aylık uygulamada tahmin edilen ve gözlenen ortalama debiler. ....	<b>95</b>
<b>Şekil 7.8</b> : Validasyon AGİ'lerinin aylık debi süreklilik çizgileri. ....	<b>96</b>
<b>Şekil 8.1</b> : Günlük uygulamada kullanılan Ceyhan havzası AGİ'leri. ....	<b>100</b>
<b>Şekil 8.2</b> : Günlük uygulamada kullanılan Meriç havzası AGİ'leri. ....	<b>100</b>
<b>Şekil 8.3</b> : Günlük uygulamada kullanılan Gediz havzası AGİ'leri. ....	<b>101</b>
<b>Şekil 8.4</b> : Ceyhan havzasında boyutsuz debilerin histogramı. ....	<b>104</b>
<b>Şekil 8.5</b> : Ceyhan havzasında boyutsuz debilerin çift olasılık çizgisi. ....	<b>104</b>
<b>Şekil 8.6</b> : Meriç havzasında boyutsuz debilerin histogramı. ....	<b>105</b>
<b>Şekil 8.7</b> : Meriç havzasında boyutsuz debilerin çift olasılık çizgisi. ....	<b>105</b>
<b>Şekil 8.8</b> : Gediz havzasında boyutsuz debilerin histogramı. ....	<b>106</b>
<b>Şekil 8.9</b> : Gediz havzasında boyutsuz debilerin çift olasılık çizgisi. ....	<b>106</b>
<b>Şekil 8.10</b> : Gözlenen ve tahmin edilen kuruma noktaları. ....	<b>109</b>
<b>Şekil 8.11</b> : D20A004 no.lu AGİ'nin boyutsuz debi süreklilik çizgisi. ....	<b>110</b>
<b>Şekil 8.12</b> : Ceyhan havzasında ortalama debi hesabında eşit varyans varsayımı. .	<b>112</b>
<b>Şekil 8.13</b> : Meriç havzasında ortalama debi hesabında eşit varyans varsayımı. ....	<b>113</b>
<b>Şekil 8.14</b> : Gediz havzasında ortalama debi hesabında eşit varyans varsayımı. ....	<b>113</b>
<b>Şekil 8.15</b> : Günlük uygulamada tahmin edilen ve gözlenen ortalama debiler. ....	<b>114</b>
<b>Şekil 8.16</b> : Ceyhan havzası validasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri. ....	<b>116</b>
<b>Şekil 8.17</b> : Meriç havzası validasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri. ....	<b>116</b>
<b>Şekil 8.18</b> : Gediz havzası validasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri. ....	<b>117</b>
<b>Şekil B.1</b> : Kalibrasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri. ....	<b>141</b>
<b>Şekil B.2</b> : Kalibrasyon AGİ'lerinin aylık debi süreklilik çizgileri. ....	<b>149</b>
<b>Şekil B.3</b> : Ceyhan havzası kalibrasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri. ....	<b>154</b>
<b>Şekil B.4</b> : Meriç havzası kalibrasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri. ....	<b>156</b>
<b>Şekil B.5</b> : Gediz havzası kalibrasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri. ....	<b>159</b>

## AKIM ÖLÇÜMÜ OLMAYAN KURUYAN AKARSULAR İÇİN DEBİ SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ MODELİ

### ÖZET

Debi süreklilik çizgisi, akarsu akımlarının değerlendirilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Debi süreklilik çizgisi; taşkın kontrolü, düşük akım ve kuraklık çalışmaları, su kaynakları ve hidroelektrik santrallerin planlanması ve işletilmesi, yağmur suyu drenaj sistemlerinin tasarımı gibi birçok hidrolojik çalışmada kullanılmaktadır. Ayrıca hidrolojik havzalarda akım tahmini ve eksik akım verilerinin tamamlanması gibi konularda debi süreklilik çizgisinden yararlanılmaktadır.

Debi süreklilik çizgisi kullanılarak akarsudaki taşkın veya düşük akım gibi uç debiler ile yıllık ortalama akım belirlenebilmektedir. Ancak her havzada yeterli uzunlukta gözlem olmadığından ve hatta bazı havzalarda hiç gözlem bulunmadığından havzanın meteorolojik, topografik ve morfolojik karakteristikleri yardımıyla debi süreklilik çizgisi elde edilebilir. Debi süreklilik çizgisi ile ilgili modeller, matematiksel, istatistiksel, stokastik, grafik ve diğer modeller şeklinde sınıflandırılabilir. Ayrıca yıllık, aylık ve günlük akımlar kullanılarak debi süreklilik çizgisi elde edilebilir. Seçilecek zaman aralığı çalışmanın amacıyla ilişkilidir.

Bu çalışma akım ölçümü olmayan kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisi ile ilgilidir. Akarsularda kuruma oranı zaman aralığı küçüldükçe artmaktadır. Yani aynı bir akarsuda yıllık ve hatta aylık zaman ölçeğinde sürekli akan bir akarsu günlük zaman ölçeğinde kuruyan akarsu niteliği taşıyabilir.

Bu çalışmada geliştirilen debi süreklilik çizgisi modeli boyutsuzlaştırma, normalleştirme, kuruma noktası, normal kuantillerin hesabı, boyutsuz kuantillerin ters dönüşümü, ortalama debi ve boyutlu kuantillerin hesabı adımlarından oluşmaktadır. Kuruma noktası, kuruyan bir akarsuda debi süreklilik çizgisinin yatay eksenini kestirdiği aşılma yüzdesini ifade etmektedir. Kuruma noktası ve ortalama debi tahmininde havza karakteristiklerinden yararlanılmıştır. Model ile elde edilen debi süreklilik çizgileri değerlendirme ölçütleri kullanılarak incelenmiştir. Havza karakteristiklerinin hesabında hidrolojik çalışmalarda ve taşkın alanlarının belirlenmesinde MERIT DEM verisi ile çalışılmıştır. Bu veri sayesinde coğrafi bilgi sistemleri yazılımında havza karakteristikleri ve havzanın alansal yağışı hesaplanmıştır.

Uygulamada Seyhan, Ceyhan, Meriç ve Gediz havzalarından seçilen ve olabildiğince insan müdahalesinden uzak Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) seçilmiştir. Müdahaleli AGİ'lerde yeteri kadar uzun olması koşuluyla müdahale öncesi veriler değerlendirmeye alınmıştır.

Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulaması için Seyhan ve Ceyhan havzaları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın konusu olan kuruyan akarsular ele alındığında Seyhan havzasından seçilen AGİ'lerin günlük zaman ölçeğinde bile kurumadığı belirlenmiş, bu nedenle aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasına Ceyhan havzası ile devam

edilmiştir. Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında ise Ceyhan havzasının yanı sıra Meriç ve Gediz havzaları da kullanılmıştır. Ortalama debi tahmininde sonuçlar kabul edilebilir mertebededir. Benzer şekilde kuruma noktası hesabında da başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Model sonuçlarının değerlendirilmesinde determinasyon katsayısı, ortalama karesel hatanın karekökü, ortalama mutlak hata gibi değerlendirme ölçütleri kullanılmıştır. Bunun yanında debi süreklilik çizgisini yüksek, orta ve düşük akımlar olarak üç parçaya ayırarak değerlendiren değerlendirme ölçütlerinden de yararlanılmıştır. Debi süreklilik çizgisi güven aralıkları, her bir gözlem yılına ait debi süreklilik çizgileri yardımıyla belirlenmiştir.

Kuruyan akarsuların debi süreklilik çizgisi nispeten çok yeni olup çalışmalar genellikle belli bir aşılma yüzdesindeki debi değerini tahmin etmeye dayanmaktadır. Akım ölçümü olmayan havzalarda kuruyan bir akarsuyun debi süreklilik çizgisinin kuruma noktası yağış ve havza karakteristiklerine bağlı bir regresyon denklemi ile hesaplanmıştır. Günümüz coğrafi bilgi sistemleri ve uydu teknolojisi sayesinde hesaplanabilen havza karakteristikleri ile akım ölçümü olmayan kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisinin elde edilmesi, böylelikle bu akarsuların su potansiyellerinin en iyi şekilde değerlendirilmesi gelecekte mümkün görülmektedir.

## **FLOW DURATION CURVE MODEL FOR UNGAUGED INTERMITTENT RIVERS**

### **SUMMARY**

A flow duration curve is used to determine the discharge of a certain time percentage (quantile) in hydrological basins. It can simply be obtained by sorting the observed streamflow time series in the ascending order and plotting it against its corresponding duration. In a gauged basin, it is obtained by sorting the observed flow from the largest to the smallest, and plotting against the corresponding exceedance probability. At ungauged basins where no data exists the need for developing empirical methods emerges. Flow duration curves are useful tools for characterizing hydrological regimes and flow variability. They are widely used in the determination of the upper extreme events (floods) as well as in the calculation of low-flow characteristics of streams. The urban storm water modelling, environmental flow allocation and the determination of hydropower potential and water availability at ungauged sites are all performed by using flow duration curves.

Flow duration curve-related studies started as early as the first half of the 20<sup>th</sup> century for producing weekly flow duration curves. Due to the importance of water resources, flow duration curves have always been studied in the water-related development and planning projects for which extensive hydrological engineering practice is needed. Therefore, there are quite high number of studies in the literature based on a wide range of methodologies such as regression equations, probabilistic and empirical approaches, analytical and statistical methods, and soft computational techniques applied at individual gauging stations or used at regional scale. Flow duration curve models were established using regression equations based on morphological characteristics such as drainage area and elevation of the hydrological basin. Flow duration curve at ungauged basins were estimated by regression equations between the mean flow and the drainage area, and precipitation over the hydrological basin.

Probability distribution functions have also widely been used in the flow duration curve literature as well as the analytical and statistical methods. Recently, soft computational techniques such as artificial neural networks, gene expression programming and geostatistical methods have also been applicable extensively in the flow duration curve literature.

Not all hydrological basins are properly gauged. Therefore, regional flow duration curves have been studied for many cases aiming at transferring information at gauged sites to ungauged sites. In regional flow duration curves, morphological characteristics of the hydrological basin are used solely or they are combined with the parameter of the probability distribution function. For the ungauged basins, regression equations using the drainage area as an input has always been valuable. Methodologies used for the flow duration curves of ungauged basins consider also the dominant landscape and climate characteristics and also the karstic and non-karstic structure of the hydrological basin. A regional model for the estimation of the dimensionless flow duration curve in

sites with no or limited data has a higher importance due to the generalization ability of the dimensionless flow duration curve.

This study aims at developing flow duration curve models for ungauged basins. Flow duration curves are obtained at annual, monthly and daily time scales.

The flow duration curve models are based on empirical regression equations between the annual mean flow and the hydrological basin characteristics such as precipitation, slope, basin relief, basin area and drainage density. Steps of the method proposed for the flow duration curve of ungauged intermittent river basins are composed of following steps:

- Nondimensionalization: Annual mean flow time series of each gauging station is nondimensionalized by dividing with the long-term mean streamflow of the gauging station.
- Normalization: The dimensionless annual mean flow is transformed to fit normal distribution using a proper transformation.
- Calculation of cease-to-flow proportion: An empirical model is proposed which accommodates the drainage area of basin, annual precipitation, basin relief, topographical slope, and the drainage density. This step exists only in the daily flow duration curve model.
- Calculation of the normalized quantiles: The mean value and standard deviation of the normalized streamflow time series are calculated.
- Back transformation of the dimensionless quantiles: For the known transformed quantiles, any quantile of a given exceedance probability can be derived by inverse transformation.
- Calculation of annual mean flow: An empirical model is proposed, which accommodates the drainage area of the basin, annual precipitation, basin relief, topographical slope and the drainage density to calculate the annual, monthly and daily mean flow of each hydrological basin. Log-linear regression equations are preferred.
- Calculation of dimensional quantiles: Discharge at any exceedance probability for an ungauged basin is calculated by multiplying the transformed dimensionless quantile with the empirically calculated mean value of the discharge from the hydrological basin.

Four river basins were used for the case studies which are Seyhan and Ceyhan river basins in the Mediterranean region, Gediz river basin in the Aegean region and Meriç river basin in Thrace. Seyhan and Ceyhan river basins are considered for the annual flow duration curve model while the Seyhan river basin has been excluded in the monthly flow duration curve model for which the Ceyhan river basin is used solely. Finally, for the daily flow duration curve model, Gediz and Meriç river basins were taken for the application of the model.

Data from the Seyhan and Ceyhan river basins are used for the annual flow duration curve model. In total, 109 gauging stations were used, 20 of which were selected for the validation of the model while the remaining 89 were used for the calibration. At monthly time scale, data from 42 gauging stations in the Ceyhan river basin are considered. When the daily time step is considered for the model, number of gauging stations has increased to 48. In total, 1792 station-year annual flow data were used for the modelling; 1452 station-years for calibration and 340 station-years for validation. The total number of data has increased to 13944 station-month and 407340 station-day, for the monthly and daily time steps, respectively. It should be emphasized that

gauging stations on the tributaries not on the main river are studied with the sake of limiting anthropogenic activities on the rivers.

The developed models were evaluated at the annual, monthly and daily time steps. Evaluation of the models were checked by the performance criteria such as determination coefficient, root mean square error and mean absolute error. However, due to the great variability between the higher and lower ends of the flow duration curves, it has not been possible to apply one single performance metric to the whole flow duration curve. Therefore, performance metrics called BiasFLV and BiasFHV were also used to check the models.

At annual scale, the dimensionless flow duration curve obtained from the model was fitted to the observation at the calibration and validation stages appropriately. A regression equation was established between the mean flow of the basin and the product of the basin area and precipitation as one single variable. The equation estimated quite well the mean flow for all basins. The annual flow duration curves were mainly found proper for the basins. However, the annual flow duration curve estimated higher flow in a couple of basins with lower flow.

Owing to the aim of the study that intermittent rivers are interested, Seyhan River basin was excluded as this particular basin has no intermittent flow at all at monthly time scale. The same methodology as the annual flow duration curve model was applied. The regression between the mean flow of the basin was constructed again with the product of the basin area and precipitation as one single variable. Results show a very good performance between the observed and estimated mean flows of the rivers. As for the flow duration curves, it was observed that higher and middle segments of the flow duration curve were fitted quite good. However, the lower segment of the flow duration curve is usually overestimated.

At the daily scale, only intermittent rivers of the Ceyhan, Meriç and Gediz river basins were used. Flow duration curves of intermittent rivers take into account also the cease-to-flow point which was formulated as a regression model considering the basin area, precipitation, basin relief, slope, and drainage density as independent variables. Better results were obtained for the estimated mean flow values compared to the mean flow at the annual and monthly time scales. Results in terms of flow duration curves are particularly good in river basins with higher intermittency.

A flow duration curve model is presented in this study at annual, monthly and daily time scales as an effort to make a contribution to the existing flow duration curve literature. The model accommodates an empirical regression model that counts not only on the drainage area of the hydrological basin as usual but also precipitation, slope, basin relief and drainage density as additional independent variables to calculate the annual mean flow. Although the model may have a low performance in some particular stations deviating from the average hydrological behavior of the basin, higher performance might be expected with empirical models better approaching the observed mean flow. This is the key issue of the flow duration curve development methodology to be further analyzed. Results of the application are finally found such promising that the model can be considered a good foundation for the development of flow duration curves at ungauged intermittent river basins at annual and shorter time intervals such as monthly and daily.



## 1. GİRİŞ

### 1.1 Genel

Su yönetimi ve planlaması ile akarsu havzalarında su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması hedeflenmektedir. Havza, yüzey ve yüzeyaltı akışı sayesinde akarsu veya göl gibi bir drenaj alanının beslenmesinden meydana gelir. Havzadaki yağış-akış ilişkisi incelenerek akarsudaki mevsimsel değişimler, taşkın ve kuraklık gibi doğal afetlerin görülme sıklığı ve havzanın su potansiyelinin belirlenmesi gibi önemli bilgiler elde edilir. Su temini, hidroelektrik enerji üretimi, atıksu arıtma tesisi, ticari ve endüstriyel tesisler ile tarımsal sulama suyu ihtiyacının belirlenmesinde gözlenen akım verilerine ihtiyaç duyulur. Akarsuda akım ölçümünün bulunmadığı durumlarda akım tahmini için havzadaki diğer değişkenlerden yararlanır. Bu arada, kar erimesi, yağış veya yeraltı suyu gibi kaynağına göre akarsu akımı sınıflandırılabilir.

Bir havzadaki akarsuyu hidrolojik açıdan değerlendirebilmek için debi süreklilik çizgisi sıklıkla kullanılmaktadır. Debi süreklilik çizgisi yardımıyla akarsudaki taşkın değerlerinin, ortalama ve düşük akımların hangi mertebede olduğu incelenebilir. Akarsuyun debi süreklilik çizgisine bakılarak akarsudaki akım karakterinin taşkına ya da kurumaya meyilli olup olmadığı belirlenebilir. Debi süreklilik çizgisinin şekli akarsudaki akımın yapısına bağlı olarak değişmektedir. Akımın havza meteorolojik, topografik ve morfometrik karakteristikleri ile ilişkili olduğu bilinir. Havza karakteristikleri kullanılarak hesaplanan akım değerleri ile akım ölçümü olmayan bir havzada debi süreklilik çizgisi elde edilebilir. Debi süreklilik çizgisinin orta kısmı akarsuda çoğunlukla mevcut bulunan akımı ifade etmektedir. Bu kısım akarsu üzerine inşa edilmesi planlanan hidroelektrik santral gibi enerji üretim tesislerinin güç hesabında kullanılmaktadır. Havzada akarsuya ait güç süreklilik çizgisinin elde edilmesinde de yine debi süreklilik çizgisinden yararlanılabilir.

Düşük akım, debi süreklilik çizgisi üzerinde %95 aşılma yüzdesine karşı gelen debi olarak alınabilir. Düşük akımlar ile havzadaki kurak dönem genellikle birlikte ele alınır. Bu nedenle havzada su yönetimi planlamasında düşük akımlar belirlenirken

kurak dönemler de dikkate alınmalıdır. Düşük akımlar, akarsuda kirlenmeyi önleme, canlı yaşamı, ulaşım gibi konularda bırakılması gereken minimum akımın belirlenmesinde kullanılır.

## **1.2 Amaç**

Havzada yeterli uzunlukta gözlem elde etmek her zaman mümkün değildir. Akarsudaki yan kollar düşünüldüğünde gözlemlerin daha da kısa olduğu bilinmektedir. Literatürde akım ölçümü olmayan kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisi ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle akım ölçümü olmayan kuruyan akarsularda havzanın meteorolojik, topografik ve morfolojik karakteristikleri yardımıyla debi süreklilik çizgisi elde edilebilir. Bu çalışmada, kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisinin sıfır akım değerine ulaştığı aşılma yüzdesi (kuruma noktası) kullanılarak akım ölçümü olmayan kuruyan bir akarsuda debi süreklilik çizgisi modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen modelin havzada su yönetimi planlaması ile ilgili düşük akım ve kuraklık çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## **1.3 Konu ve Kapsam**

Su kaynakları yönetimi ve planlamasında detaylı veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için havzadaki akarsular üzerinde birçok noktada yeterli sayıda akım gözlem istasyonunun (AGİ) bulunması beklenmektedir. İstasyondaki gözlem periyodunun yeterli uzunlukta olması da ayrıca istenen bir durumdur. Ancak uygulamada çok sayıda AGİ bulunan havza ve uzun dönem verisi olan AGİ'lerle nadiren karşılaşılmaktadır. Birçok havzada yeterli AGİ'nin bulunmaması, geç kurulmuş olması veya tam olarak işletilememesi nedeniyle akım gözlemleri eksik kalmaktadır. Akım ölçümü bulunan akarsularda ise gözlenen akımlar kullanılarak akarsuya ait debi süreklilik çizgisi elde edilebilir. Akım ölçümü olmayan akarsularda havza içinde yer alan diğer akarsulardaki veriler kullanılarak ya da benzer hidrolojik özellik gösteren komşu havzalardaki akım bilgileri transfer edilerek debi süreklilik çizgisini elde etmek mümkündür.

Havzaların ana akarsu kolları genellikle kuruyan akarsu niteliğinde değildir. Bu nedenle havzada ana akarsuları besleyen yan kollar üzerindeki AGİ'ler kullanılmıştır. Ayrıca havzalarda doğal akım kullanılabilmesi amacıyla membasında insan müdahalesi olan AGİ'ler değerlendirmeye alınmamıştır. Akım ölçümü olmayan

kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisi modeli uygulaması yıl, ay ve günlük zaman ölçeğinde yapılmıştır.

Akım ölçümü olmayan kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisi modeli uygulaması için bu çalışmada Türkiye’de üç farklı bölgeden dört akarsu havzası seçilmiş; Akdeniz bölgesinden Seyhan ve Ceyhan, Trakya bölgesinden Meriç ve Ege bölgesinden Gediz havzasında uygulama yapılmıştır. Seyhan ve Ceyhan havzaları çoğunlukla kurumayan akarsulara sahiptir. Bunun yanında Meriç ve Gediz havzalarında akarsuların genellikle kuruduğu yani sıfır akımlara sahip olduğu gözlenmiştir.

#### **1.4 Konunun Önemi**

Dünyada birçok bölgede su eksikliğinin yaşandığı bilinmektedir. Bu nedenle su mühendisliği alanında yapılacak çalışmaların önemi ortadadır. Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde havzanın akım karakteristiklerinin bilinmesi gereklidir. Bu amaçla havzadaki akarsuyun debi süreklilik çizgisi, akarsudaki akımları değerlendirmek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çünkü akarsudaki taşkın veya düşük akım gibi uç debi değerleri ile yıllık ortalama akım bu sayede belirlenebilmektedir.

#### **1.5 Özgün Değer**

Akarsu havzalarında debi tahmini özellikle elde yeterli veri olmaması halinde önemlidir. Bu çalışmada akım ölçümü olmayan veya çok az miktarda ölçümü bulunan havzalarda debi tahmininde havza alanı ile birlikte havzanın diğer karakteristiklerine (yağış, havza eğimi, drenaj yoğunluğu, havza kot farkı) bağlı bir model geliştirilmiştir. Bu sayede havza karakteristikleri bilinen fakat akım ölçümü olmayan kuruyan bir akarsuda debi süreklilik çizgisi elde edilebilir. Kuruyan akarsuların debi süreklilik çizgisi ile ilgili çalışmalar nispeten çok yenidir. Yapılan çalışmalar genel olarak belli bir kuantildeki debi değerini havza karakteristiklerinden tahmin etme veya gözlenen debi süreklilik çizgisine bir denklem uydurma şeklindedir. Denklem uydurulurken kuantil değerleri ve kuantile karşı gelen debiler arasında geliştirilen regresyon denklemleri kullanılmaktadır. Mevcut çalışmalarda kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisinin sıfır akım değerine ulaştığı aşılma yüzdesinin (kuruma noktası) tahmininde sadece yağış dikkate alınmıştır. Bu çalışmada akarsudaki debi süreklilik

çizgisinin kuruma noktası havza karakteristiklerinden belirlenmiştir. Bu, çalışmanın özgün değerini ortaya koymaktadır.

Başta Devlet Su İşleri (DSİ) ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) gibi kamu kurumları olmak üzere belediyeler ile diğer kurum ve kuruluşlar su, enerji ve çevre ile ilgili uygulamalarında debi süreklilik çizgisine ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca bu çalışmadan elde edilecek model ile hidroelektrik santraller gibi kapsamlı proje çalışmalarına girdi oluşturacak tasarım debileri hesaplanabilecektir. Burada geliştirilen modelin kullandığı verinin temin edilebilirliği bakımından pratik olduğu düşünülmektedir. Bu sayede herhangi bir bölge veya havzada uygulanabilir. Buna göre, bu çalışmanın su kaynaklarının değerlendirilmesi çalışmalarında gelecekteki potansiyel sıkıntıları önceden görmek ve buna göre teknik, idari, ekonomik ve toplumsal önlemler almak üzere planlamalar yapmak için önemli bir adım olduğu söylenebilir.

## **1.6 Çalışmanın Düzeni**

Debi süreklilik çizgisi modelleri üzerine genel bir bilgi ile başlayan Bölüm 2’de yıllık, aylık ve günlük zaman ölçeğinde debi süreklilik çizgilerinin kullanıldığı alanlara örnekler verilmiştir. Debi süreklilik çizgisi ile ilgili modeller sınıflandırılarak detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Debi süreklilik çizgisinin yanında bu çalışmanın iki anahtar sözcüğü olan *akım ölçümü olmayan havza* ve *kuruyan akarsular* ile ilgili çalışmalara yine Bölüm 2’de değinilmiştir.

Bölüm 3’te akım ölçümü olmayan kuruyan akarsular için geliştirilen debi süreklilik çizgisi modeli tanıtılmıştır. Modelin uygulama adımları bir akış şemasında sunulmuştur. Ayrıca modelde kullanılan değişkenlerin seçiminde uygulanan testler ve model sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılan değerlendirme ölçütleri bu bölümde anlatılmıştır.

Bölüm 4’te akım ölçümü olmayan kuruyan bir akarsu havzasının ortalama debi ve debi süreklilik çizgisi ile kuruma noktası hesabında kullanılan havza karakteristiklerinin hesap yöntemi anlatılmıştır. Karakteristiklerin hesabında kullanılan coğrafi bilgi sistemleri destekli yazılımın çalışma algoritması bu bölümde kısaca tanıtılmıştır. Ayrıca Thiessen yöntemiyle alansal ortalama yağış yüksekliği hesabından bahsedilmiştir.

Bölüm 5'te uygulama alanı olarak seçilen Seyhan, Ceyhan, Meriç ve Gediz havzaları tanıtılmıştır. Havzaların haritaları sunulmuş ve havzada yer alan akarsular hakkında genel bilgiye yer verilmiştir. Ayrıca kullanılan verilerin istatistiksel özellikleri de bu bölümde anlatılmıştır.

Bölüm 6'da Seyhan ve Ceyhan havzalarında yıllık debi süreklilik çizgisi uygulama sonuçları değerlendirilmiştir. Her iki havzanın birlikte ele alındığı uygulama sonuçları ve modelin performansı incelenmiştir.

Bölüm 7'de aylık debi süreklilik çizgisi modelinin Ceyhan havzasındaki uygulaması anlatılmıştır. Seyhan havzasından alınan AGİ'lerde günlük akımlarda bile kuruma gözlenmediğinden bu havza uygulama dışında tutulmuştur. Uygulama sonuçları ve sonuçların değerlendirilmesi çizelge ve şekiller yardımıyla sunulmuştur.

Bölüm 8'de günlük debi süreklilik çizgisi uygulaması için Ceyhan havzasının yanında Meriç ve Gediz havzaları da seçilmiştir. Bu bölümde yıllık ve aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasından farklı olarak sadece kuruyan akarsular ele alınmıştır. Debi süreklilik çizgisi üzerinde kuruma noktasının hesaplanması ve uygulaması yine bu bölümde sunulmuş, modelden elde edilen sonuçlar çizelge ve şekillerle yorumlanmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar Bölüm 9'da değerlendirilmiştir. Özellikle kuruyan akarsular için geliştirilen günlük debi süreklilik çizgisi modeli uygulama sonuçları detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Geliştirilen modelin faydası, kullanım alanları ve daha da önemlisi modelin performansının değerlendirilmesine bu bölümde yer verilmiştir.

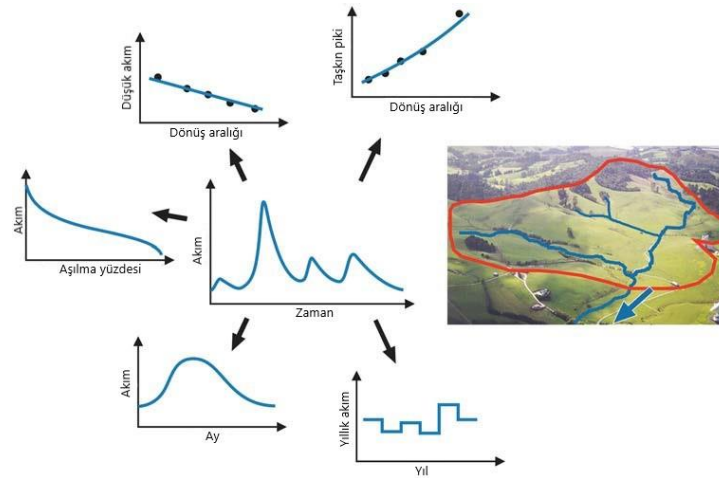


## 2. DEBİ SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ MODELLERİNE BİR BAKIŞ

### 2.1 Genel

Hidrolojik çalışmalarda öncelikle problemin ortaya konması geliştirilecek modelin yapısını şekillendirmektedir. Akarsu havzalarında karşılaşılan problemlerden bazıları, havzanın su potansiyelinin belirlenmesi, havzadaki su potansiyelinin mevcut şartlarda ne kadar süre yeterli olacağı, akımlardaki mevsimsel değişimin incelenmesi, taşkın ve kuraklık gibi ekstrem olayları kapsamaktadır. Elde veri olmadan model geliştirmek zordur. Bu nedenle hidrolojik modelleme çalışmalarında havzada yapılan gözlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Akım ölçümü olmayan havzalarda geliştirilecek modellerde ise veri kullanımı ile ilgili çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunun için komşu havzalardan benzer hidrolojik özellik gösteren veriler transfer edilebilir veya aynı havza içindeki alt havzaların verileri kullanılarak bölgeselleştirme yapılabilir. Bu sayede havzaya ait bölgesel modeller geliştirilebilir.

Havzanın hidrolojik açıdan değerlendirilmesinde kullanılan ve havzayı tanımlayan çeşitli işaretler bulunmaktadır. Bu işaretler, havzanın yıllık akımı, mevsimsel akımı, debi süreklilik çizgisi, düşük akımlar, taşkınlar ve akım hidrografıdır. Şekil 2.1’de belirtilen işaretlerin havzada değerlendirilmesi şu şekildedir.



**Şekil 2.1** : Akım işaretleri. Saat yönünde sağ alttan yıllık akım, mevsimsel akım, debi süreklilik çizgisi, düşük akım, taşkın piki ve hidrograf (Blöschl ve diğ., 2013).

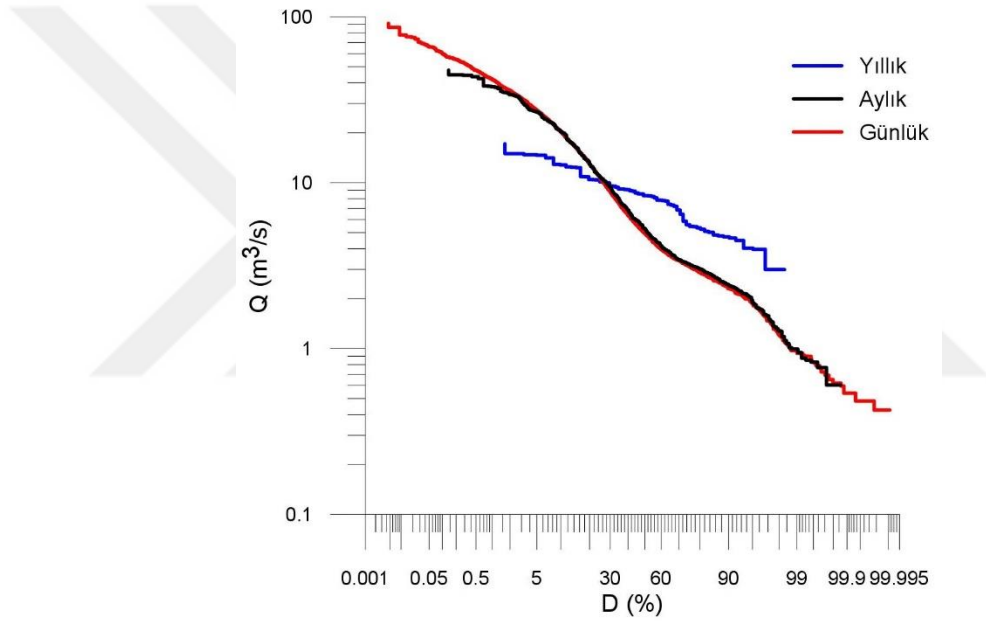
- Yıllık akım, havzanın çıkış noktasında bir yıl boyunca akan suyun toplam hacmini ifade etmektedir. Havzada su potansiyelinin belirlenmesi amacıyla kullanılır.
- Mevsimsel akım, havzadaki akımların aylık ölçekte nasıl değiştiğini göstermektedir. Havzada kar erimesi, aşırı yağışlar, yeraltı suyu depolaması gibi süreçler mevsimsel akım sayesinde belirlenebilir. Havzada suyun hangi dönemde azalacağı veya yeterli olacağı mevsimsel akımlara bakılarak elde edilir.
- Debi süreklilik çizgisi, bir akarsudaki akımın verilen bir değere eşit veya bu değerden büyük olduğu zamanı yüzde olarak gösteren çizgidir. Havzada mevcut suyun ne kadar süre yeterli olacağını belirlemede debi süreklilik çizgisinden yararlanır.
- Akarsuda kuruma meydana gelmesi durumu havzanın jeolojik ve iklimsel özellikleriyle birlikte düşük akımlar incelenerek değerlendirilir. Ayrıca havzada hidrolojik kuraklığın belirlenmesinde düşük akımlardan yararlanır.
- Taşkın, bir akarsudaki su seviyesinin kısa sürede bir pik noktaya yükselmesi ve su seviyesinin bu noktadan yavaş bir şekilde geri çekilmesi ile gerçekleşir. Havzada gözlenebilecek farklı dönüş aralıklarındaki en büyük debi değerlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.
- Akım hidrografları, tüm bu süreçlerin karmaşık bir sonucudur ve havza davranışının en ayrıntılı işaretidir. Hidrograf sayesinde havzada akıma etki eden faktörler belirlenebilir.

Bu çalışmanın konusu yukarıda bahsedilen işaretlerden biri olan debi süreklilik çizgisidir. Taşkın ve düşük akımların debi süreklilik çizgisi üzerinde değerlendirilmesi de mümkündür. Ayrıca debi süreklilik çizgisi sayesinde belli bir akım değerinin görülme sıklığı yani frekansı elde edilebilir.

Debi süreklilik çizgisi, debi gidiş çizgisinden faydalanılarak yatay eksene debinin belli bir değere eşit ya da bu değerden büyük olduğu zaman yüzdesi, dikey eksene debiler taşınarak elde edilmektedir. Debi süreklilik çizgisi ile zamanın belli bir yüzdesinde aşılacak debi değeri bulunabilir. Debi süreklilik çizgisi için verinin uzun süreli olması uygundur.

## 2.2 Zaman Aralığının Seçimi

Debi süreklilik çizgisinde kullanılacak zaman aralığına, çalışmanın amacı ve veri varlığına göre karar verilir. Zaman aralığı günlük, on günlük, haftalık, aylık veya yıllık olabilir. Şekil 2.2’de günlük, aylık ve yıllık zaman aralığında debi süreklilik çizgileri görülmektedir. Aylık ve günlük debi süreklilik çizgileri çoğunlukla üste üste çakışmakta; yıllık debi süreklilik çizgisi ise %0-30 aralığında aylık ve günlük debi süreklilik çizgilerinin altında kalmakta, %30-100 aralığında ise aylık ve günlük debi süreklilik çizgilerinin üzerine çıkmaktadır. Aylık ve günlük debi süreklilik çizgileri çakıştığından taşkın ve düşük akım çalışmaları dışında aylık zaman aralığı ile çalışmanın yeterli olacağı söylenebilir.



**Şekil 2.2:** Farklı zaman aralıklarında debi süreklilik çizgileri.

Debi süreklilik çizgisinin eğimi havzanın jeolojik yapısı ve akımı ile ilişkili olsa da seçilen zaman aralığından da etkilenmektedir. Zaman aralığı yıldan güne doğru kısaltıldıkça çizginin eğimi artmakta, çizgi dikleşmektedir. Büyük havza alanına sahip akarsularda aylık ve günlük debi süreklilik çizgileri birbiriyle örtüşmektedir.

### 2.2.1 Yıllık debi süreklilik çizgisi

Debi süreklilik çizgisi, bir akarsudaki yıllık ortalama akımlardan elde edilebilir. Yıllık akımlar kullanılarak havzada aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir (Cıgızoğlu, 1997).

1. Zaman serisinde homojenliğin olmaması, uç değerler, sıçramalar gibi süreçlerin incelenmesi,

2. Uzun dönemde kurak ve yağışlı dönemin belirlenmesi,
3. Uzun dönemdeki iklimsel değişimlerin etkilerinin araştırılması,
4. İnsan müdahalesi ya da doğal etkiler neticesinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi,
5. Büyük su biriktirme sistemlerinin planlama, işletme ve ekonomik analizlerinin yapılması,
6. Hidrolojik süreçlerin zaman serisinin incelenmesi.

### **2.2.2 Aylık debi süreklilik çizgisi**

Aylık debi süreklilik çizgisi, aylık ortalama akımlardan çizilebilir. Aylık akımlarla ilgili havzada aşağıdaki değerlendirmelerin yapılması mümkündür (Cıgızoğlu, 1997).

1. Akımın mevsimsel değişiminin izlenmesi,
2. Yılıçi veya yıldan yıla akım düzenlemesinin incelenmesi,
3. Su temini ve hidroelektrik enerji üretimi amacıyla aşırı kurak mevsimlerin belirlenmesi,
4. Meteorolojik ve hidrolojik değişkenler ile zaman serisi arasındaki ilişkinin araştırılması,
5. Akımdaki periyodik stokastik sürecin anlaşılması.

### **2.2.3 Günlük debi süreklilik çizgisi**

Bir akarsudaki günlük akımlar kullanılarak günlük debi süreklilik çizgisi çizilebilir. Günlük akımları elde etmenin zorluğu yanında havzadaki akarsu ile ilgili birçok değerlendirme günlük akımlar sayesinde yapılabilmektedir. Günlük akımlardan havza ile ilgili aşağıdaki bilgiler elde edilebilir (Aksoy, 1998).

1. Su temini ve gereksiniminin belirlenmesi,
2. Taşkınların tanımlanması,
3. Su miktarı ve kalitesi sorunlarının irdelenmesi,
4. Yağışa karşı havzanın akış özelliğinin araştırılması,
5. Küçük su biriktirme sistemlerinin planlama ve işletme çalışmalarının yapılması,

6. Aylık ve yıllık ortalama akımların elde edilmesi,
7. Sistemin fiziksel yapısının en iyi şekilde ortaya konması.

Yukarıda bahsedilen bilgilerin yanında günlük akımların yıllık ve aylık akımlardan farklı özellikleri bulunmaktadır. Günlük akımların özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Günlük akımlar, bir günün belli saatlerindeki ölçümlerin ortalaması alınarak elde edilir.
- Günlük akımlar çarpık bir dağılıma sahiptir.
- Günlük akımlarda yavaş alçalmaların ardından ani yükselmeler gözlenir.
- Günlük akımların periyodik bir yapısı vardır.

Zaman aralığındaki değişimin etkisi her akarsuda aynı değildir. Günden güne akımların çok değişmediği akarsularda günlük ve haftalık debi süreklilik çizgileri birbiriyle eşleşmekte, aylık debi süreklilik çizgisi de günlük debi süreklilik çizgisine benzemektedir. Diğer taraftan, yağışın hızlı bir şekilde akışa geçtiği havzalarda sadece birkaç saat veya günde oluşan taşkınlar nedeniyle günlük ve haftalık debi süreklilik çizgileri bile birbirinden farklıdır (Searcy, 1959). Literatürde çoğunlukla günlük zaman ölçeğinde debi süreklilik çizgisi modelleri geliştirilmiştir.

### **2.3 Kuruyan Akarsuların Debi Süreklilik Çizgisi ile ilgili Çalışmalar**

Akarsular, kuruyan ve kurumayan akarsular şeklinde iki sınıfa ayrılabilir. Kurumayan akarsularda, gözlem süresince akımlar kesintisiz ve süreklidir. Kuruyan akarsular ise kendi içinde iki grupta incelenmektedir. Zaman zaman akışın olduğu akarsular, yağıştan doğrudan etkilenmekte, yağışın olmadığı durumlarda çoğunlukla kuru kalmaktadır. Zaman zaman kuruyan akarsular ise çoğunlukla akışa geçmekte ama yağışa bağlı olarak kurumaktadır. Yağışın yanında yeraltı suyu ile de beslendiğinden bu akarsularda yıl boyunca sürekli akış görülebilir. Gözlem süresi içinde sıfır akıma sahip akarsular zaman zaman kuruyan akarsular olarak ele alınmıştır.

Kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisi çalışmaları çoğunlukla istatistiksel modellere dayanmaktadır. Kuruyan akarsuların debi süreklilik çizgisinde kuruma noktası, debi süreklilik çizgisinin yatay ekseni kesen aşılma yüzdesini ifade etmektedir. Özellikle düşük akım ve kuraklık çalışmalarında kuruma noktasının

belirlenmesi önemlidir. Kuruyan bir akarsuda debi süreklilik çizgisinde kuruma noktası belirlenirken havzanın yağışı dikkate alınmaktadır.

Crocker ve diğ. (2003) Portekiz'in bir kısmında akım ölçümü olmayan havzalar için debi süreklilik çizgisinin tahminine yönelik bölgesel bir model oluşturmuş, model için 67 havzadan veri kullanmıştır. Akarsuyun kurumadığı döneme ait debi süreklilik çizgisinin tahmininde kullanılan bir model ile akarsuyun kurak olduğu zaman yüzdesini tahmin eden bir modeli birleştirmek için toplam olasılık yasasından yararlanılmıştır. Kuruma noktasının tahmininde yağış kullanılmış, ayrıca debi süreklilik çizgisi kuruma noktasının belirlenmesinde havzanın yeraltı suyu ve jeolojik yapısının da dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Kuruyan akarsuların debi süreklilik çizgisi ile ilgili Shao ve diğ. (2009) frekans analizi ile elde edilen olasılık dağılım fonksiyonunun şekil parametrelerini belirlemek için ortalama debi ve kuruma noktasından yararlanmıştır. Costa ve diğ. (2014) dağılımdaki dört parametreyi havza karakteristikleri ile ilişkilendirerek tahmin etmiştir. Brezilya'dan sekiz AGİ'de uygulama yapılan çalışmada dağılım parametrelerinden biri olan kuruma noktası; yıllık toplam yağış, havzada toplam drenaj hattı uzunluğu ve parçalanmış kaya akiferinde bulunan havza yüzdesi ile ilişkilendirilmiştir.

Kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisinin diğer bir uygulamasında kuruma noktası ve debi süreklilik çizgisinin eğimi tanımlanmıştır (Post, 2004). Avustralya'da 23 havzada yapılan uygulamada akarsuların akımlarının özellikleri değişkenlik gösterdiğinden havzalar üç ayrı bölgede değerlendirilmiştir. Her bir bölgede debi süreklilik çizgisi için önerilen modelin kuruma noktası ve debi süreklilik çizgisi eğimi parametreleri havza karakteristikleri ile elde edilmiştir.

Anlatılan debi süreklilik çizgisi modelleri için genellikle dağılım parametreleri kullanılmıştır. Bu çalışmalarda ayrıca akarsudaki debi süreklilik çizgisinin insan etkileri ve iklim değişimi nedeniyle dönemsel farklılıkları incelenmiştir. Debi süreklilik çizgisinin düşük akım kısmında diğer kısımlara oranla daha büyük rölatif hatalar gözlenmiştir (Mendicino ve Senatore, 2013). Kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisi ile ilgili olarak Viola ve diğ. (2011) bölgesel bir model, Rianna ve diğ. (2011, 2013) ise stokastik bir indeks önermiştir.

## 2.4 Akım Ölçümü Olmayan Havzalarda Debi Süreklilik Çizgisi

Hidrolojik uygulamalar için akım ölçümü olmayan akarsularda akım bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç nedeniyle *Akım Ölçümü Olmayan Havzalarda Tahmin (Prediction in Ungauged Basins, PUB)* olarak bilinen uluslararası araştırma girişimi 2003-2012 arasında on yıl boyunca devam etmiştir (Hrachowitz ve diğ., 2013). *PUB*; akım, sediment, su kalitesi gibi hidrolojik değişkenleri tahmin etmek için kullanılan yöntemlerde istatistiksel analiz ve kalibre edilmiş modellere dayanan geleneksel yöntemler yerine öncelikle hidrolojik çevrim içindeki fiziksel süreçlerin detaylı bir şekilde incelenmesi ve temsiline dayanan yeni tekniklere doğru yönelmesi gerektiğini belirtmiştir.

Akarsu havzalarında her zaman akım ölçümü bulunmamaktadır. Hatta ölçüm bulunan akarsuların her kesitinde ölçüm olması beklenemez. Anlık akım tahmini için hidrolojik ve hidrolik modeller kullanılmakta ancak ortalama debi tahmininde havza karakteristiklerinden yararlanılmaktadır. Havza alanı ile ortalama debi arasında genellikle güçlü bir ilişki vardır. Havza alanının yanında diğer havza karakteristikleri de akım tahmininde kullanılabilir. Akım ölçümü olmayan havzaların debi süreklilik çizgisi ile ilgili çalışmalarda genellikle havzaya ait bölgesel debi süreklilik çizgisi modelleri geliştirilmiştir.

Akım ölçümü olmayan akarsularda havza içindeki diğer akarsuların verileri kullanılarak veya hidrolojik özellikleri birbirine benzeyen havzalardaki akım bilgileri transfer edilerek debi süreklilik çizgisi elde edilebilmektedir. Archfield ve diğ. (2013) akım ölçümü olmayan ve müdahalesiz akarsular için hidrograf tahmininde harita tabanlı bölgesel bir yazılım hazırlamıştır. Çalışmada akım ölçümü olmayan havza belirlenerek karakteristikleri hesaplanmış ve hidrograf tahmini için akımları bulunan benzer özellikteki havzanın debi süreklilik çizgisi kullanılmıştır.

Akım ölçümü olmayan havzaların hidroelektrik potansiyelinin belirlenmesinde debi süreklilik çizgilerinden yararlanılmaktadır. Quimpo ve diğ. (1983) Filipinler'de ölçüm olmayan hidroelektrik potansiyele sahip bölgelerdeki suyun mevcut durumunu bölgeselleştirme tekniğiyle araştırmıştır. Bölgeselleştirme işlemi, debi süreklilik çizgisi ve havza karakteristikleri kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada elde edilen günlük debi süreklilik çizgisinin denklemi aşılma yüzdesine dayanan üstel formda elde

edilmiştir. Böylece herhangi bir aşılma yüzdesine karşı gelen debi değeri debi süreklilik çizgisinden okunabilir.

Diğer çalışmalarda havzada su miktarının belirlenmesinde bölgesel model geliştirmek amacıyla gözlenen debi süreklilik çizgilerine denklem uydurulmuştur. Denklem katsayılarının tahmininde havza karakteristiklerinden yararlanılmıştır (Mimikou ve Kaemaki, 1985; Baltas, 2012). Kim ve diğ. (2014) tarafından havzanın yeraltı suyu potansiyelini belirleyebilmek için yeraltı suyu barajı inşa edilmesi durumunda havzadaki debi süreklilik çizgisinin değişimi incelenmiştir. Ayrıca debi süreklilik çizgisinin düşük akım kısmını incelemek amacıyla Franchini ve Suppo (1996) %70'ten büyük aşılma yüzdeleri için bölgesel bir denklem geliştirmiştir.

Bu konudaki diğer yaklaşımlar istatistiksel yöntemlere dayanmaktadır. Wittenberg (1987) havza karakteristikleri ile dağılım fonksiyonu parametrelerini kullanarak havzanın debi süreklilik çizgisini tahmin etmiştir. Yu ve Yang (1996) Güney Tayvan'da sentetik bölgesel debi süreklilik çizgisinin elde edilmesinde kümeleme analizi yöntemini kullanmış, kuantilleri havza alanı ile tahmin etmiştir. Yu ve diğ. (2002) ise yine Tayvan'daki uygulamada polinom yöntemiyle elde edilen debi süreklilik çizgisinin havza alanıyla tahmin edilen yöntemden daha başarılı sonuç verdiğiinden bahsetmiştir.

Mohamoud (2008) ABD'de Orta Atlantik bölgesinde akım ölçümü olmayan havzalarda debi süreklilik çizgisi ve akım tahmini ile ilgili çalışmada çoklu regresyon analizi, iklim ve bölgenin fiziki ve coğrafi yapısı ile ilgili değerlendirme ve bölgesel debi süreklilik çizgisi modeli şeklinde üç yaklaşım geliştirmiştir. Bu bölgede seçilen 29 havzada uygulama yapılmış, çalışmada debi süreklilik çizgisine dayalı yöntemin akım ölçümü olmayan havzalardaki akım tahmini hakkında daha başarılı sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Doulatyari ve diğ. (2015) debi süreklilik çizgisiyle doğrudan ve baskın bir şekilde ilişkisi olan havza ve iklim karakteristiklerini araştırmış, akımların mevsimselliğinden dolayı havzanın dört mevsimdeki debi süreklilik çizgilerini incelemiştir. Akım tahmininde havzanın su bütçesi modeli oluşturulmuştur. Modelde Budyko eğrisi için havzada yağış, buharlaşma, maksimum zemin nem tutma kapasitesi gibi değişkenler kullanılmıştır. Debi süreklilik çizgisi uygulamasında elde edilen sonuçlar gözlem değerlerine yakın hesaplanmıştır. Ayrıca akım ölçümü olmayan havzalarda akım tahmini veya kesintili ölçümü bulunan havzada eksik akım

verilerinin tamamlanması konularında debi süreklilik çizgisinden yararlanılmıştır (Hughes ve Smakhtin, 1996; Tosunoğlu ve diğ., 2017).

## 2.5 Debi Süreklilik Çizgisi Modelleri

Debi süreklilik çizgisi ile ilgili ilk çalışmanın Clemens Herschel tarafından 1880'de yapıldığından literatürde bahsedilmektedir (Foster, 1934). Saville ve Watson (1933) ilk defa boyutsuz debi süreklilik çizgisini kullanmıştır. Yapılan uygulamada haftalık debi süreklilik çizgileri elde edilmiş, o dönemde bilgisayar desteği olmadığından hesaplamaların elle yapıldığından bahsedilmiştir. Debi süreklilik çizgisi için geliştirilen çeşitli modeller mevcuttur. Bu modeller aşağıdaki genel başlıklar altında sınıflandırılabilir.

- Matematiksel modeller
- İstatistiksel modeller
- Stokastik modeller
- Grafik modeller
- Diğer yaklaşımlar

### 2.5.1 Matematiksel modeller

Cığızoğlu (1997) debi süreklilik çizgisinin elde edilmesinde kullanılan matematiksel modelleri değerlendirmiştir. Çalışmada, debi süreklilik çizgisini etkileyen bileşenler belirlenmiş ve bu bileşenlerin debi süreklilik çizgisi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Burada stasyonere (yıllık) ve periyodik (aylık ve günlük) akımların debi süreklilik çizgileri ayrı ayrı incelenmiştir. Debi süreklilik çizgisinin akım modelleri ile ilgisi incelenmiş ve bir akım modeli verildiğinde debi süreklilik çizgisini elde etmek için algoritmalar gösterilmiştir. Uygulama olarak Türkiye'deki bazı AGİ'ler için çeşitli yöntemler kullanılarak debi süreklilik çizgileri elde edilmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda akım ölçümü olmayan veya yetersiz olan akarsu kesitlerinde debi süreklilik çizgisinin tahmini konusunda yardımcı olacak grafik ve çizelgeler elde edilmiştir. Saka (2012) akım verisi bulunmayan veya yetersiz olan havzaların debi süreklilik çizgilerinin tahmin edilmesi için Doğu Karadeniz'deki 39 AGİ'yi kapsayan bir model geliştirmiştir. Yaşar ve Baykan (2013) kısmi Newton

yöntemiyle ölçüm olmayan havzalarda günlük akımları tahmin ederek debi süreklilik çizgilerini elde etmiş, bölgeselleştirme işlemi için farklı algoritmalar kullanmıştır.

Debi süreklilik çizgisi için havzadaki hidrolojik süreçlerin dikkate alındığı süreç tabanlı matematiksel modeller bulunmaktadır. Müller ve diğ. (2014) uygulama için Nepal, Kaliforniya kıyısı ve Batı Avustralya'dan 38 havza seçmiştir. Çalışmada mevsimsel olarak kuru dönemler incelenmiştir. Bunun için yağışların havzada dağılımı araştırılmış ve kurak dönemlerde debi süreklilik çizgisi tahmini yapılmıştır. Müller ve Thompson (2016) süreç tabanlı matematiksel model kullanarak Nepal'de havzaların gelecekteki debi süreklilik çizgisini elde etmiştir.

### **2.5.2 İstatistiksel modeller**

Debi süreklilik çizgisi modellerinin çoğu istatistiksel yaklaşımlara dayanmaktadır. Uygulamalar genellikle havzaların istatistiksel özelliklerine göre alt gruplaması yapılarak bölgeselleştirme sonucunda elde edilen boyutsuz debi süreklilik çizgisine dağılım uydurma ve dağılımın parametrelerinin tahmin edilmesi şeklindedir.

Debi süreklilik çizgisinin düşük akım kısmı için önerilen ve yaygın bir şekilde kullanılan bir model Fennessey ve Vogel (1990) tarafından geliştirilmiştir. Akarsuların düşük akım değerlerine en uygun iki parametrelili lognormal dağılım belirlenmiş, dağılım parametreleri havza karakteristiklerinden tahmin edilmiştir. Vogel ve Fennessey (1994) gözlenen her bir yılın debi süreklilik çizgilerini kullanarak debi süreklilik çizgisi için güven aralıkları oluşturmuştur. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle birlikte debi süreklilik çizgisinin çiziminde kullanılan dört yaklaşım değerlendirilerek aralarında önemli fark bulunmadığı ifade edilmiştir. Risley ve diğ. (2008) 466 AGİ havzasının meteorolojik ve morfolojik karakteristiklerini kullanarak akım tahmini için regresyon denklemi geliştirmiştir. On farklı bölgede %5, 10, 25, 50 ve 95 aşılma yüzdelerine karşı gelen akım ve düşük akım frekans istatistiklerinin tahmini için yıllık ve aylık zaman ölçeğinde regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Bu denklemler sayesinde akım verilerinin olmadığı yakın bölgelerde akım değerleri tahmin edilmiştir.

Singh (1971) Illinois'te 120 AGİ'yi debi süreklilik çizgisinin tipine göre 14 sınıfa ayırmıştır. Bu sınıflamada en basit halde gözlenen akım değerleri ile havza alanındaki ilişkiye bakılmıştır. Daha küçük havza alanına sahip akarsuların debi süreklilik çizgilerinin düşük akım kısımlarının daha dik eğime sahip olduğu ifade edilmiştir.

Singh ve diğ. (2001) Hindistan'ın Himalaya bölgesinde AGİ olmayan veya yetersiz sayıda veriye sahip olan havzalar için debi süreklilik çizgilerini modellemiştir. Çalışmada kullanılan her bir bölgenin hidrometeorolojik açıdan homojen olduğu kabul edilmiştir. Modelleme işleminde akım ölçümü bulunan havzalardan elde edilen boyutsuz akımların dönüşümleri yapılmış ve elde edilen değerler akım ölçümü olmayan havzalar için kullanılmıştır. Hesaplanan rölatif hata değerleri, diğer çalışmalarda olduğu gibi, kalibrasyon aşamasında kabul edilebilir düzeyde olmasına rağmen validasyon aşamasında daha büyük değerlere ulaşmıştır. Bu durum, modelde değişken olarak sadece havza alanının kullanılması ile ilişkilidir. Önerilen yöntem Doğu Karadeniz bölgesinde hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde de kullanılmıştır (Ağralıoğlu ve diğ., 2009). Burgan ve Aksoy (2018) benzer bir modele yağış ve havza eğimini eklemiş, 109 AGİ'de yapılan uygulamada gözlemlere yakın sonuçlar elde etmiştir.

Coğrafi bilgi sistemlerinin yaygın kullanımı ile birlikte havza karakteristikleri ve diğer birçok veri kolayca üretilebilmektedir. Bu sayede hidrolojik çalışmalarda kolaylık sağlanmıştır. Arora ve diğ. (2005) havzanın sayısal yükseklik modelini kullanarak havza alanı, havza kotu ve havza kot farkını hesaplamış; bölgesel debi süreklilik çizgisi için üç farklı yöntem izlemiştir. Öncelikle akımların ortalaması ve değişim katsayısına göre AGİ'ler gruplanmış, sonrasında aşılma yüzdelerine karşı gelen debiler hesaplanan havza karakteristikleri ile ilişkilendirilmiştir. En son adımda lognormal dağılıma uyduğu kabul edilen boyutsuz debiler kullanılarak debi süreklilik çizgisi havza karakteristiklerinden elde edilmiştir. Boscarello ve diğ. (2016) havzanın morfolojik, jeolojik ve meteorolojik karakteristiklerini kullanarak bölgesel bir model kullanmıştır. İtalya'da dağlık bir bölgedeki uygulama için havzalar üç ayrı sınıflamada değerlendirilmiştir. Lognormal dağılımın iki parametresi havza karakteristiklerinden hesaplanarak debi süreklilik çizgileri oluşturulmuştur.

Berhanu ve diğ. (2015) havzadaki akarsuları sınıflandırmak için kurumayan, zaman zaman kuruyan ve zaman zaman akışın olduğu akarsuları incelemiştir. Kuantillerin tahmininde havza alanı ve en uzun akış yolunun doğrusal regresyon denklemi kullanılmıştır. Booker ve Snelder (2012) debi süreklilik çizgisi için literatürde kullanılan istatistiksel yöntemleri karşılaştırmıştır.

### 2.5.3 Stokastik modeller

LeBoutillier ve Waylen (1993) debi süreklilik çizgisi için bir stokastik model önermiştir. Çalışmada tahmin edilen yıllık debi süreklilik çizgileri gözlenen değerlerin altında kalmış, bu duruma günlük akımlardaki korelasyonun dikkate alınmamasının neden olduğu düşünülmüştür. Bu nedenle gözlenen yıllık debi süreklilik çizgilerinin varyansını korumak için ampirik denklemler geliştirilmiştir. Castellarin ve diğ. (2004) İtalya'da geniş bir bölge için yaptıkları çalışmada, yıllık debi süreklilik çizgisi için log-lojistik ve genelleştirilmiş Pareto dağılımını kullanmıştır. Çalışmada bölgesel taşkın frekans analizi yaklaşımından yararlanılmıştır. Stokastik indeks, boyutsuz günlük akım ve yıllık akım ile hesaplanmıştır. Yıllık akım, genel olarak bir havzanın uzun dönem iklim rejimini tanımlayan yıllık yağıştan kaynaklanır. Buna karşın boyutsuz günlük akım veya akımın olasılık yoğunluk fonksiyonu havzayı hidrolojik açıdan en iyi tanımlayan faktörlerdir. Günlük akımların frekansı belirlenerek havzanın hidrolojik rejimi değerlendirilebilir.

Debi süreklilik çizgisi ile ilgili diğer stokastik model çalışmalarında Sugiyama ve diğ. (2003) üç aşamadan oluşan bir model önermiştir. Bu modelde, günlük akımlar kullanılarak her bir yılın debi süreklilik çizgisi elde edilir ve belli aşılma yüzdelerine karşı gelen debiler grafikten okunur. İkinci aşamada havzada gözlenen günlük akımlar için en uygun dağılım belirlenir. Aşılma yüzdelerine karşı gelen debiler dağılımdan elde edilir. Son aşamada ise günlük akımların olasılık grafiği ve stokastik debi süreklilik çizgisi çizilir. Uygulama amacıyla Japonya'dan beş ve Tayland'dan iki havza seçilmiştir. Bari ve Shafiul Islam (2006) da debi süreklilik çizgisi için stokastik bir model elde etmiş, karma lognormal dağılım kullanılan çalışmada dağılım parametrelerinin hesabı için günlük ortalama akımlar kullanılmıştır. Uygulama için Bangladeş'ten dört nehir seçilmiştir.

Cıgızoğlu ve Bayazıt (2000) günlük debi süreklilik çizgisini elde etmek için stokastik model yaklaşımından yararlanmış, bunun için periyodik ortalama ve standart sapma hesaplanmıştır. Yöntemde günlük akımların periyodik bileşeni için Fourier dönüşümü kullanılmıştır. Akımların çarpık olduğu bilindiğinden Gama olasılık dağılımı en uygun dağılım olarak belirlenmiştir. Rianna (2010) kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisi için stokastik bir model kullanmıştır. Modelde günlük akımlar kullanılarak yıllık debi süreklilik çizgisi tahmin edilmiştir. Çalışmada parametre sayısı fazla olan

dağılımlar tercih edilmiştir. Iacobellis (2008) Beta, Castellarin ve diğ. (2007) ise iki parametrelili lojistik dağılımı uygun bulmuştur.

#### 2.5.4 Grafik modeller

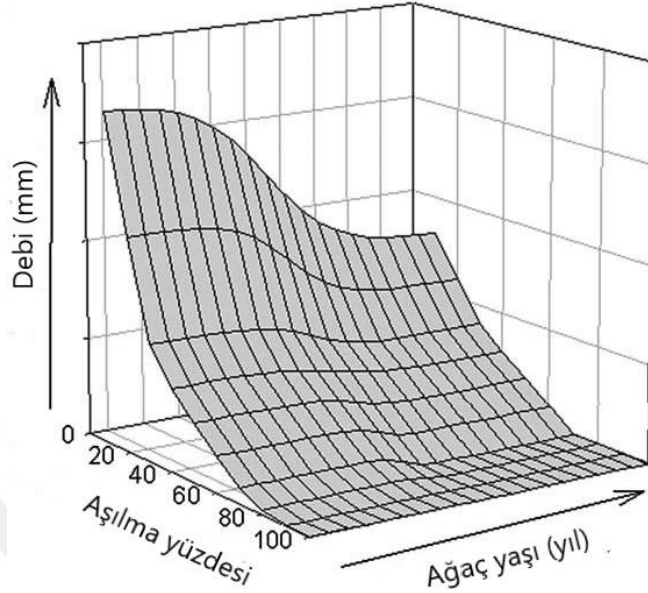
Debi süreklilik çizgisi ile ilgili grafik modellerde aşağıdaki adımlar izlenmektedir.

- Öncelikle gözlem yapılan tüm havzalardan her birinin debi süreklilik çizgisinin boyutsuz hale getirilmesi gerekir. Bu amaçla debi değerleri havzanın ortalama ya da medyan debi değerine bölünür.
- Boyutsuz hale getirilen debi süreklilik çizgisi ile farklı bölgelerde grafiksel bölgesel debi süreklilik çizgisi elde edilir.
- Herhangi bir havza için debi süreklilik çizgisi, AGİ'lerin ortalama ya da medyan debisi (akış indeksi) ile boyutsuz debi süreklilik çizgisinin çarpılması sonucu hesaplanır.
- Akım ölçümü olmayan havzalarda ise taşkın indeksi, havzanın jeomorfolojik ve iklim karakteristiklerine bağlı regresyon modeli ile tahmin edilir.

Grafik modeller ile ilgili Ganora ve diğ. (2009) parametrik olmayan bir yöntem önermiştir. Çalışmada boyutsuz debi süreklilik çizgilerinin benzerlik ya da farklılık durumuna göre gruplamaya gidilmiştir. Debi süreklilik çizgileri arasındaki farklılık matrisi için bir indeks geliştirilmiştir. Bu matriste olası tüm kuantiller dikkate alınmıştır. Homojen bölgeleri belirlemek için kümeleme analizi kullanılmış, her bölge için tek bir boyutsuz debi süreklilik çizgisi elde edilmiştir.

Lane ve diğ. (2005) havzada ağaçlandırma sonrası debi süreklilik çizgisinin değişimini incelemiştir. Avustralya, Güney Afrika ve Yeni Zelanda'dan on havzada yapılan uygulamada ilk olarak debi süreklilik çizgisi kuantillerinin gözlenen yıllık zaman serisine bir model uydurulmuştur. Her kuantil için ağaç yaşı ve yıllık yağış kullanılmıştır. İklim'e göre debi süreklilik çizgilerini yeniden düzenlemek için yıllık yağışın değişimi neticesinde uzun dönemdeki ortalama debi güncellenmiştir. Debi süreklilik çizgisi kuantillerindeki değişim ağaç yaşıyla belirlenmiştir (Şekil 2.3). Debi süreklilik çizgisinde havzanın ağaçlandırılması nedeniyle özellikle taşkın debilerinde önemli azalma olduğu gözlenmiştir. Ayrıca çalışmada akarsuyun debi süreklilik çizgisinde %20'nin altında kuruma noktası gözlenen veya hiç kurumayan yıllar bulunduğundan debi süreklilik çizgisi, kuruma meydana gelen ve kurumayan şekilde

iki kısımda değerlendirilmiştir. Akımdaki azalmaların; havzanın büyüklüğü, ağaçlandırma düzeyi ve zeminin tabaka kalınlığıyla önemli ilişkisinin olduğu düşünülmüştür.



**Şekil 2.3:** Debi süreklilik çizgisinin ağaçlandırma etkisiyle zamanla değişimi (Lane ve diğ., 2005).

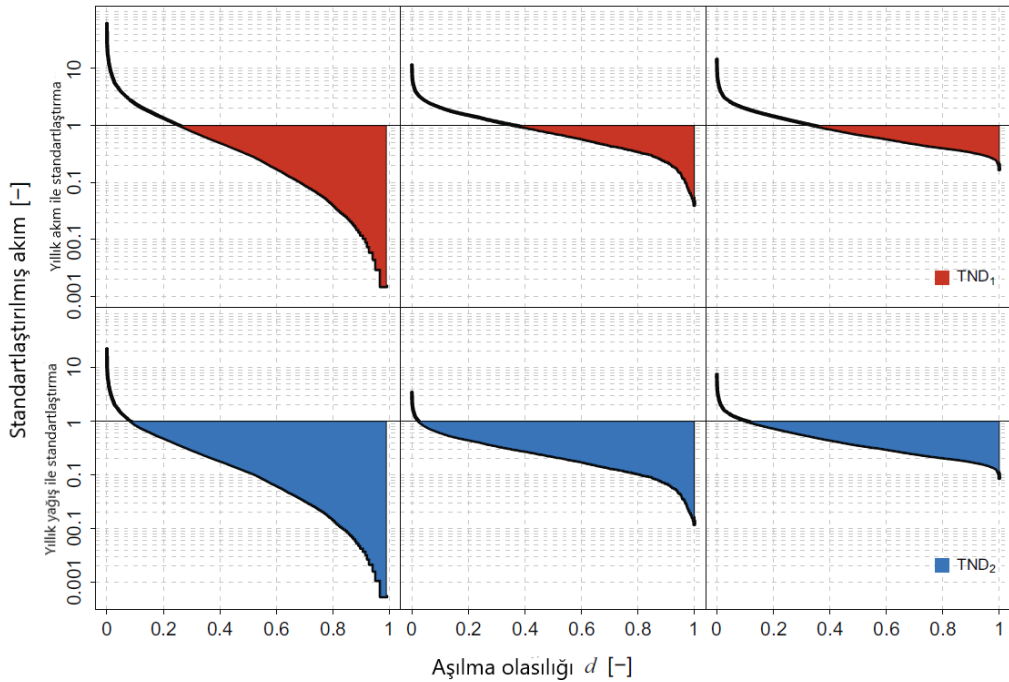
### 2.5.5 Diğer yaklaşımlar

Bu kısımda debi süreklilik çizgisiyle ilgili kullanılan yeni yaklaşımlardan bahsedilmektedir. Yapay zeka ve entropi gibi yöntemlerin uygulamasının yanında kriging gibi jeostatistiksel yöntemlerle ilgili yapılan güncel uygulamalar anlatılmaktadır.

Atieh ve diğ. (2015) debi süreklilik çizgisi tahmininde yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Kanada’da yapılan uygulamada 147 AGİ’den üçte biri validasyon için ayrılmıştır. Lognormal dağılımın konum ve ölçek parametreleri debi süreklilik çizgisinin çok hassas olduğu iklimsel faktörlerle ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada yapay sinir ağları, parametrelerin tahmininde kullanılmıştır. Bozchaloei ve Vafakhah (2015) uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi, yapay sinir ağları ve doğrusal olmayan regresyon yöntemlerini kullanarak akım ölçümü olmayan havzalar için debi süreklilik çizgisini tahmin etmiştir. Seçilen kuantillerin tahmininde havzanın 18 adet topografik, meteorolojik, jeolojik ve arazi kullanım karakteristiği kullanılmıştır. Çalışmada uygulama için İran’dan 33 havza seçilmiştir. Üç yöntemin sonuçları değerlendirildiğinde %2, 30 ve 75 dışındaki aşılma yüzdelerinde uyarlamalı sinirsel

bulanık çıkarım sistemi yönteminin daha başarılı sonuç verdiğiinden bahsedilmiştir. Dolayısıyla bu yöntemin debi süreklilik çizgisinin orta kısmı için kullanılması uygun olabilir. Hashmi ve Shamseldin (2014) gen ifade programlama yöntemiyle debi süreklilik çizgisini bölgeselleştirmiştir. Akımlar, medyan değerine bölüldükten sonra normalleştirilerek havza karakteristikleri gen ifade programlama yöntemiyle seçilmiştir. Akım ölçümü olmayan havzada karakteristikler yardımıyla debi süreklilik çizgisi tahmin edilmiştir.

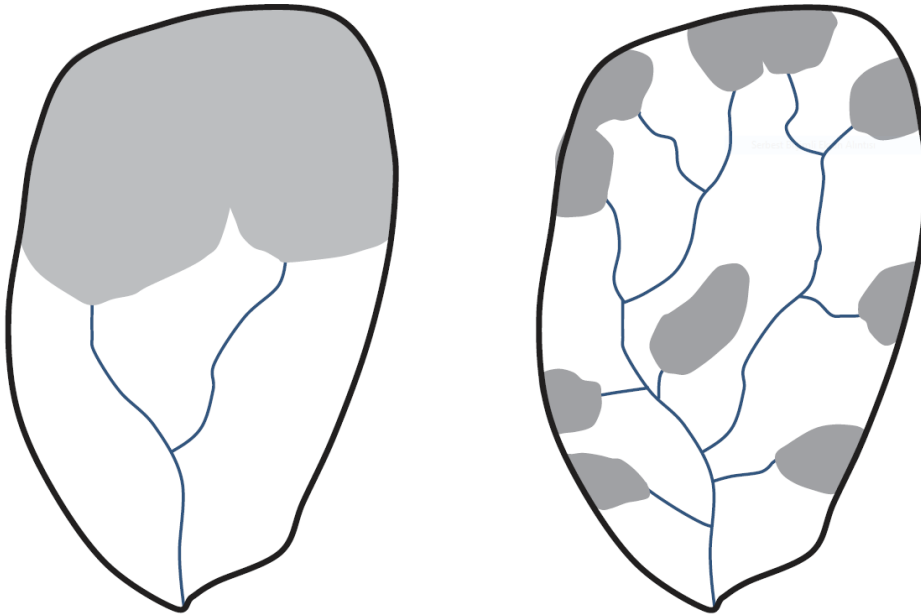
Castellarin (2014) debi süreklilik çizgilerinin bölgesel tahmininde üç boyutlu kriging enterpolasyon yöntemini kullanmış, enterpolasyon için üç boyutlu x-y-z uzayı tanımlanmıştır. Burada x ve y topografik ve iklimsel havza karakteristiklerini, z ise standart normal değişkendeki akım süresini ifade etmektedir. Önerilen yöntemin debi süreklilik çizgisinin düşük akım kısmında geleneksel yaklaşımlardan daha başarılı sonuç verdiğiinden bahsedilmiştir. Pugliese ve diğ. (2014) kriging yöntemini iki adımda uygulamıştır. Top-kriging yönteminin önceki çalışmalarında debi süreklilik çizgisinin düşük akım ya da taşkın kısımları incelenmiş, bu çalışmada tüm debi süreklilik çizgisi için bir model geliştirilmiştir. Akım ölçümü olmayan havzada debi süreklilik çizgisinin tahmini için standartlaştırılmış ampirik debi süreklilik çizgisinin ağırlıklı ortalaması, kriging yöntemlerinden geleneksel doğrusal-ağırlıklı şema kullanılarak elde edilmiştir. İkinci adımda standartlaştırılmış akımlar için toplam negatif sapma (TND) hesabı yapılmıştır (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4:** Toplam negatif sapmanın (TND) örnek gösterimi (Pugliese ve diğ., 2014).

Debi süreklilik çizgisinde standartlaştırılmış akımın 1 olduğu aşılma yüzdeleri belirlenmiştir. Standartlaştırma işlemi, Şekil 2.4'te üstteki üç grafikte akımların yıllık ortalama akıma, alttaki üç grafikte ise akımların yıllık ortalama yağışa bölünmesi ile gerçekleştirilmiştir. Debi süreklilik çizgisinin üzerinde ve 1'in altında akımın gözleendiği kısımlar taranmıştır. Bu bölgeler farklı hidrolojik özelliklere sahip üç havzadaki toplam negatif sapmaları göstermektedir.

Poncelet ve diğ. (2017) yeni bir yaklaşım olan kuantil birleştirme (*quantile solidarity*) yöntemini önermiştir. Yöntem üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada akım ölçümü olmayan havzalarda debi süreklilik çizgisi kuantilleri ile havza karakteristikleri arasında regresyon denklemi kurulmuştur. İkinci aşamada tüm kuantiller için regresyon tabanlı model parametreleri kuantil birleştirme yöntemiyle kısıtlanarak debi süreklilik çizgisi tahmininde parametre sayısı azaltılmıştır. Şekil 2.5'te aynı şekil ve alana sahip iki havzada farklı drenaj yoğunluğu gözleendiğinden bölgesel model için seçilecek havza karakteristiklerinin aynı sayıda olmayacağı görülebilir. Ayrıca havza içindeki taralı bölgeler *drenaj destek alanı* olarak tanımlanmış ve havza içinde bu alanların toplamı bir değişken olarak ele alınmıştır. Düşük drenaj yoğunluğuna sahip havzada yüksek drenaj destek alanı hesaplanmakla birlikte yoğun drenaj yoğunluğuna sahip havzada bu alan daha düşük hesaplanır. Son aşamada ise model kalıntılarının mekansal enterpolasyonu debi süreklilik çizgisi modelinin performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Uygulama, Fransa'da 521 havzada yapılmıştır.



**Şekil 2.5:** Benzer şekil ve alandaki havzaların farklı drenaj yoğunlukları (Poncelet ve diğ., 2017).

Entropi ile ilgili bu alandaki bir çalışma Singh ve diğ. (2014) tarafından yapılmıştır. Çalışmada tüm akımların toplam olasılıkları ve ortalama debi hesaplanmıştır. Debi süreklilik çizgisini entropiyle elde etmek için doğrusal olmayan eklenik dağılım fonksiyonu kabulüyle gözlenen akımlar değerlendirilmiştir. Her AGİ için entropi parametresi belirlenmiş, farklı dönüş aralıkları için debi süreklilik çizgileri çizilmiştir. Yöntemin en önemli avantajının parametrelerin gözlemlere dayanması ve herhangi bir eğri uydurma işleminin yapılmaması olarak ifade edilmiştir. Zhang ve diğ. (2017) de entropi parametresini kullanarak debi süreklilik çizgisini modellemiştir. Entropi yöntemi, akım ölçümü olmayan havzalar için uygulanmıştır. Entropi parametresi ortalama ve maksimum akımların oranı ve havza alanıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca çalışmada modelin güven aralıkları oluşturularak sonuçlar değerlendirilmiştir.

## **2.6 Geliştirilen Modellerin Değerlendirilmesi**

Günümüz teknolojisi sayesinde gelişen bilgisayar desteği ile hidrolojik model çalışmaları hız kazanmıştır. Ayrıca coğrafi bilgi sistemlerindeki gelişmelerle birlikte yaygın kullanımı sayesinde havzadaki karakteristikler ve alansal dağılımlar kolayca belirlenebilmekte, sonuçlar hızlı bir şekilde analiz edilebilmektedir. Havzayı hidrolojik açıdan değerlendirmede önemli bir işaret olan debi süreklilik çizgisi ile ilgili literatür aşağıdaki gibi değerlendirilebilir:

1. Debi süreklilik çizgisi; taşkın kontrolü, düşük akım-kuraklık çalışmaları, su kaynaklarının ve hidroelektrik santrallerin planlama ve işletilmesi, yağmur suyu drenaj sistemlerinin tasarımı gibi birçok hidrolojik çalışmada kullanılmıştır.
2. Debi süreklilik çizgisinin akım tahmini ve eksik akım verilerinin tamamlanması gibi uygulamalarına da rastlanmıştır.
3. Literatürde ana hatlarıyla matematiksel, istatistiksel, stokastik ve grafik modeller kullanılmıştır. Son yıllarda yapay zeka ve entropi gibi yenilikçi yöntemlerin de debi süreklilik çizgisi tahmininde kullanıldığı görülmüştür.
4. Yapılan çalışmaların çoğunlukla istatistiksel modellere dayandığı ve bölgeselleştirme sayesinde akım ölçümü olmayan havzalarda debi süreklilik çizgisinin elde edildiği görülmüştür.

5. Veri olmadan teori geliştirmenin m¼mk¼n olamayacağından hareketle debi s¼reklilik çizgisi ile ilgili ilk çalışmalarda her ne kadar kısıtlı veri bulunsa da son çalışmalarda m¼mk¼n olduğu kadar çok veri kullanılmasına gayret edilmiştir.
6. Veriye ulaşma ve veri üretmenin geçmişe göre nispeten kolay olması sayesinde havza karakteristikleri elde edilebilmiş ve debi s¼reklilik çizgisi yöntemlerinde gerek dağılım parametresi tahmini gerekse kuantil tahmininde kullanılmıştır.
7. Debi s¼reklilik çizgisinde düşük akımlara bir olasılık dağılımı uydurularak dağılımın parametreleri ile havza karakteristikleri ilişkilendirilebilir. Akım ölçümü olmayan havzalarda dağılım parametreleri havza karakteristikleri yardımıyla tahmin edilebilir ve havzanın düşük akım kısmının debi s¼reklilik çizgisi elde edilebilir. Literatürde debi s¼reklilik çizgisi çalışmalarında çoğunlukla iki parametrelili lognormal dağılım ile karşılaşılmıştır.
8. Geliştirilen bir çok model çalışma bölgesine özel olduğundan havzaların topografik, jeolojik, meteorolojik ve hidrolojik özellikleri kullanılarak boyutsuz debi s¼reklilik çizgileri geliştirilmiştir.
9. Bölgesel model geliştirmek amacıyla gözlenen debi s¼reklilik çizgilerine denklem uydurulan yöntemler, genel olarak özellikle taşkın ve düşük akımın izlendiği uç noktalarda başarılı bulunamamıştır. Ancak bu yöntemde debi s¼reklilik çizgisinin orta kısmı için pratikte nispeten kabul edilebilir sonuçlar elde edilebilmektedir.
10. Her ne kadar her bir havza eşsiz de olsa çalışmalarda havzaların benzerlikleri istatistiksel ve meteorolojik açıdan ele alınarak havzaların gruplanması yoluna gidilmiştir.
11. Çalışmalarda zaman ölçeği gün ile yıl aralığında değişmiştir. Veri bulunması halinde günün altındaki zaman ölçeklerinde de debi s¼reklilik çizgileri elde edilebilir. Bu sayede yağışın hızlı bir şekilde akışa dönüştüğu havzalarda debi s¼reklilik çizgisi daha detaylı incelenebilir.

## 2.7 Çalışmanın Motivasyonu

Önceki çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda aşağıdaki konularda araştırma eksigi olduğu düşünülmektedir. Bu konular bugüne kadar hiç araştırılmamış veya kısıtlı olarak incelenmiştir.

1. Kuruyan akarsularda sıfır akımlar çoğunlukla günlük akımlarda gözlenmektedir. Sıfır akımlara herhangi bir dağılım uydurulamadığından bu konuda yapılan çalışmalar kısıtlı kalmıştır. Bu çalışmada debi süreklilik çizgisinin kuruma noktası havza karakteristikleri kullanılarak hesaplanmış, geliştirilen debi süreklilik çizgisi modelinde kuantiller kuruma noktasına göre ayarlanmıştır.
2. Akım ölçümü olmayan havzalarda genel yaklaşım, gözlenen debi süreklilik çizgisi için bir fonksiyon belirlenmesi ve bu fonksiyonun aşılma yüzdesi ile ilişkilendirilmesidir. Kaba sonuçlar elde etmek için bu yaklaşım tercih edilmekte, ancak özellikle debi süreklilik çizgisinin uç aşılma yüzdelerinde yeterli olmamaktadır.
3. Debi süreklilik çizgisi modelleri değerlendirilirken kullanılan değerlendirme ölçütleri çoğunlukla yetersizdir. Çalışmada tahmin edilen debi süreklilik çizgisinin yüksek, orta ve düşük kısımlarının performansı ayrı ayrı değerlendirilmiştir.
4. Bu çalışma kapsamında debi süreklilik çizgisinin kuruma noktası tahmininde havza alanlarına göre sınıflandırma yoluna gidilmiş, havza alanı ve yağış gibi temel havza karakteristikleri ile kuruma noktası arasındaki ilişki araştırılmıştır.
5. Bu çalışma sayesinde Türkiye’de ilk defa akım ölçümü olmayan kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisi konusu incelenmiştir.
6. Akım ölçümü olmayan havzalarda debi süreklilik çizgisi ile ilgili birçok çalışmada sonuçlar halen çoğunlukla kabul edilebilir mertebede olmadığından konu gelişmeye açıktır.



### 3. YÖNTEM

#### 3.1 Debi Süreklilik Çizgisi Modeli

Bu çalışma kapsamında akım ölçümü olmayan kuruyan akarsu havzalarında debi süreklilik çizgisi modeli geliştirilmiştir. Uygulamada zaman ölçeği olarak yıl, ay ve gün seçilmiştir. Yıllık ortalama akım değerlerinde zaman ölçeğinden dolayı sıfır akım ile karşılaşılmamış, aylık ortalama akımlarda ise çok az sayıda AGİ’de sıfır akım gözlenmiştir. Zaman ölçeği olarak güne inildiğinde debi süreklilik çizgisinde kuruma oranının hesaba katılması gerekli görülmüştür.

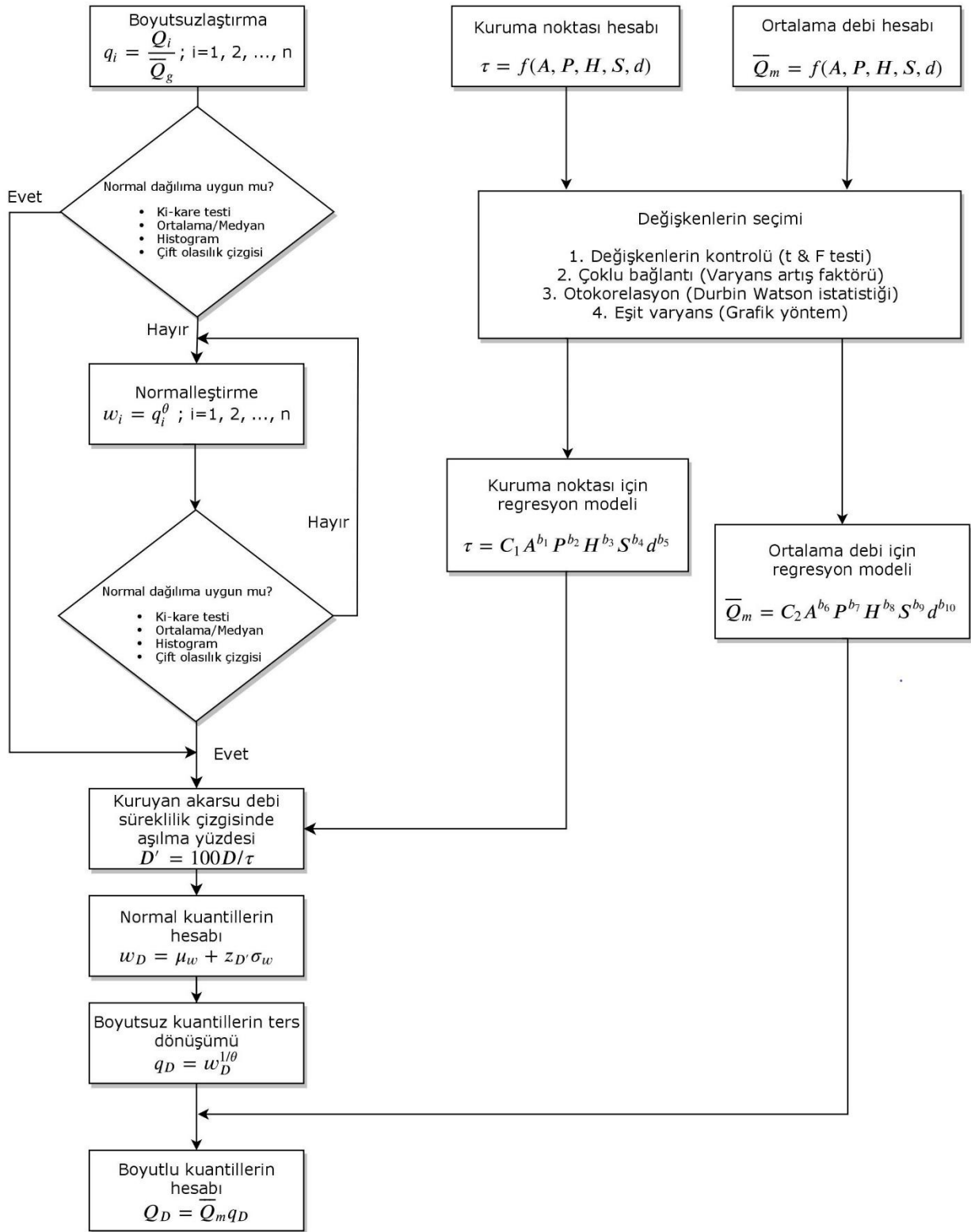
Akarsu havzasında akım ölçümü olmayan bir noktada akım tahmini yapabilmek için havzanın bölgesel debi süreklilik çizgisi modeli elde edilir. Bunun için havza içerisinde gözlemi bulunan akarsuların akımları kullanılır. Dağılımı etkilemesi nedeniyle sıfır akım değerlerinin modelde ayrıca ele alınması gerekir. Burada geliştirilen model, Şekil 3.1’de verilen aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

**a) Boyutsuzlaştırma:** Her bir AGİ’deki günlük akım değerlerinden yıllık ortalama akım değerleri hesaplanır ve gözlenen yıllık ortalama akım değerlerinin her biri

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_g} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.1)$$

ile boyutsuz hale getirilir. Burada,  $Q_i$   $i$ ’inci yılda gözlenen ortalama akımı,  $\bar{Q}_g$  gözlem süresi boyunca hesaplanan ortalama akımı,  $n$  yıl olarak gözlem süresini ve  $q_i$   $i$ ’inci yıldaki boyutsuz ortalama akımı göstermektedir. Bu durumda, yıllık zaman ölçeğinde  $n$ , aylık zaman ölçeğinde  $12n$ , günlük zaman ölçeğinde  $365n$  kadar veri vardır.

**b) Normalleştirme:** Boyutsuz hale getirilen debi değerlerinin normal dağılıma uygun olup olmadığı kontrol edilir. Normal dağılıma uymayan boyutsuz akım değerleri normal dağılıma uygun hale getirilmek üzere dönüşüme tabi tutulur. Bu işlem, boyutsuz hale getirilen debi ( $q$ ) değerlerine



Şekil 3.1 : Debi süreklilik çizgisi modelinin adımları.

$$w_i = q_i^\theta \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

dönüşümü uygulanmak suretiyle yapılır. Burada  $\theta$  değeri, genellikle 0.2-0.5 aralığındadır ve deneme-yanılma ile bulunur. Dönüştürülen boyutsuz debi ( $w_i$ ) değerlerinin normal dağılıma uygunluğu istatistik testler ile kontrol edilir.

**c) Normal dağılım uygunluk kontrolü:** Kullanılan verilerin normal dağılıma uygunluğunu kontrol etmek amacıyla çeşitli testler kullanılmaktadır. Bu amaçla ayrıca normalleştirilmiş boyutsuz debi ( $w$ ) değerlerinin ortalamasının medyan değerine oranı, histogram ve çift olasılık çizgisine (P-P grafiği) bakılmaktadır. Normal dağılmış bir verinin simetrik olduğu düşünüldüğünde verinin ortalaması ( $\mu_w$ ) ve medyanının ( $w_{50}$ ) birbirine eşit olması beklenir. Dolayısıyla

$$\frac{\mu_w}{w_{50}} = 1 \quad (3.3)$$

olmalıdır. Veri için hesaplanan bu oran 0.95-1.05 aralığında bulunduğunda verinin pratik olarak normal dağılmış olduğu kabul edilebilir.

Verinin histogramı olasılık dağılım fonksiyonu ile görsel karşılaştırma imkanı vermektedir. Çift olasılık çizgisinde normal dağılımın ve verilerin eklenik olasılık değerleri karşılaştırılır, her iki eksendeki olasılık değerinin 1:1 çizgisine göre konumu incelenir. Veriler, 1:1 çizgisi üzerinde yer aldığı anda verilerin normal dağılıma uyduğu anlaşılır.

Ki-kare testiyle normal dağılım kontrolü yapılabilir. Bu test özellikle örnek sayısının büyük olduğu durumlarda tercih edilir. Testin uygulanması amacıyla önce rastgele bir değişkene ait  $N$  elemanlı örnek  $m$  sınıfa ayrılarak her bir sınıftaki  $N_i$  eleman sayısı hesaplanır. Seçilen olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre aynı sınıf aralıklarında bulunma olasılıkları  $p_i$  ile gösterilirse

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(N_i - Np_i)^2}{Np_i} \quad (3.4)$$

istatistiğinin örnekleme dağılımı asimptotik olarak serbestlik derecesi  $s.d. = m - 1$  olan  $\chi^2$  dağılımıdır. Burada  $Np_i$  rastgele değişkenin dağılımının seçilen dağılıma uyması halinde  $i$ 'inci sınıfa düşecek eleman sayısıdır. Bütün sınıf aralıklarında

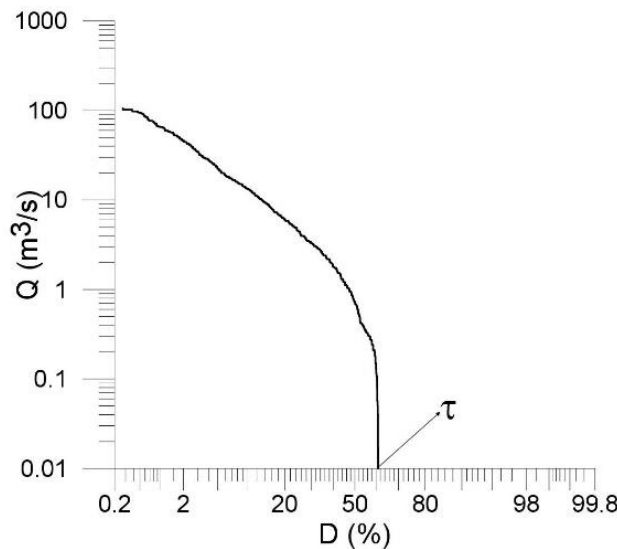
gözlenen eleman sayısının ( $N_i$ ) teorik sayıya ( $Np_i$ ) eşit olması halinde  $\chi^2 = 0$  olur. Aradaki farkların büyümesiyle  $\chi^2$  değeri de artar. Buna göre hesaplanan  $\chi^2$  değeri  $m - 1$  serbestlik derecesinde aşılma olasılığı  $\alpha$  olan  $\chi^2_\alpha$  değerinden küçükse gözlenen dağılımın seçilen teorik dağılıma uygunluğu hipotezi kabul, aksi durumda ret edilir.

Normalleştirme işlemi için boyutsuz debi değerlerine üstel dönüşüm önerilmiştir. Debiler normal dağılıma uymadığı takdirde farklı bir dönüşüm işlemi uygulanabilir. Ardından yukarıda normal dağılım kontrolü için önerilen test ve yöntemler tekrarlanmalıdır.

**d) Kuruma noktası:** Kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisinin kuruma noktasının ( $\tau$ ) bilinmesi önemlidir. Önceden tanımlandığı üzere, kuruma noktası kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisinin sıfır akım değerine ulaştığı aşılma yüzdesidir. Bu akarsularda debi süreklilik çizgisinde aşılma yüzdesi değerleri 0 – 100 aralığında değil 0 –  $\tau$  aralığında değişir (Şekil 3.2). Debi süreklilik çizgisinde 0 –  $\tau$  arasında değişen aşılma yüzdesini 0 – 100 aralığına taşımak için

$$D' = 100D/\tau \quad (3.5)$$

kullanılır. Burada  $D$ , sıfır akımlar dahil belli bir akım değerinin aşılma yüzdesidir. Akım ölçümü olmayan kuruyan bir akarsuda kuruma noktası havza karakteristiklerinden tahmin edilerek  $D'$  elde edilir. Örneğin; kuruyan bir akarsu havzasında kuruma noktası  $\tau = \%95$  ise  $D = \%5$  aşılma yüzdesi için  $D' = \%5.263$  veya  $D = \%95$  aşılma yüzdesi için  $D' = \%100$  olur.



**Şekil 3.2 :** Debi süreklilik çizgisinde kuruma noktası.

Debi süreklilik çizgisi kuruma noktası havzadaki yağışla doğrudan ilişkilidir. Bunun yanında havzadaki diğer karakteristikler de kuruma noktası tayininde etkindir. Bu çalışmada kullanılan havza karakteristikleri; havza alanı ( $A$ , km<sup>2</sup>), yıllık toplam yağış ( $P$ , mm), havza kot farkı ( $H$ , m), havza eğimi ( $S$ ) ve havza drenaj yoğunluğu ( $d$ )'dir. Değişken seçimi için aşağıda detayı verilen testler uygulandıktan sonra kuruma noktası için

$$\tau = C_1 A^{b_1} P^{b_2} H^{b_3} S^{b_4} d^{b_5} \quad (3.6)$$

doğrusal olmayan regresyon modeli oluşturulmuştur.

**e) Normal kuantillerin hesabı:** Herhangi bir  $D$  aşılma yüzdesine karşı gelen boyutsuz debi ( $w$ ), boyutsuz debinin ortalaması ( $\mu_w$ ) ve standart sapması ( $\sigma_w$ ) kullanılarak

$$w_D = \mu_w + z_{D'} \sigma_w \quad (3.7)$$

ile elde edilir. Burada  $w_D$ ,  $D$  aşılma yüzdesine karşı gelen ( $D/100$  olasılıkla aşılacak olan) dönüştürülmüş boyutsuz akımı verir.  $z_{D'}$  ise normal dağılım tablosundan elde edilen standart normal değeridir.

**f) Boyutsuz kuantillerin ters dönüşümü:** Bilinen  $w_D$  ve  $\theta$  değerleri için  $D$  aşılma yüzdesine karşı gelen boyutsuz kuantil değeri

$$q_D = w_D^{1/\theta} \quad (3.8)$$

ters dönüşümüyle hesaplanır ve (3.1) denklemini kullanılarak boyutsuz debilerin dağılımına dönüştürülür.

**g) Ortalama debi:** Akım ölçümü olmayan akarsu havzasında uzun dönem ortalama debi hesabı için havza karakteristiklerinden yararlanılabilir. Bunun için bu çalışmada kullanılan havza karakteristikleri havza alanı ( $A$ , km<sup>2</sup>), yıllık toplam yağış ( $P$ , mm), havza kot farkı ( $H$ , m), havza eğimi ( $S$ ) ve havza drenaj yoğunluğu ( $d$ )'dir. Kuruma noktasında olduğu gibi burada da değişken seçimi için bazı istatistik testler uygulanmaktadır. Ortalama debi hesabı için

$$\bar{Q}_m = C_2 A^{b_6} P^{b_7} H^{b_8} S^{b_9} d^{b_{10}} \quad (3.9)$$

doğrusal olmayan regresyon modeli geliştirilmiştir.

**h) Boyutlu kuantillerin hesabı:** Akım ölçümü olmayan havzalarda, havza karakteristikleri kullanılarak havzanın ortalama debisi belirlenebilir. Böylelikle akım ölçümü olmayan havzanın belli bir akarsu kesitinde belli bir  $D$  aşılma yüzdesine karşı gelen akım değeri

$$Q_D = \bar{Q}_m q_D \quad (3.10)$$

ile hesaplanabilir.

### 3.2 Değişkenlerin Seçimi

Kuruma noktası ve ortalama debi tahmini için çok değişkenli regresyon denklemleri kullanılmıştır. Regresyon denklemlerinde yer alan değişkenlerin t testi ile ayrı ayrı, F testi ile de bir bütün olarak anlamlı olup olmadıkları kontrol edilmelidir. Buna ek olarak çoklu regresyon modellemesinde birtakım varsayımlar yapılmaktadır. Bu varsayımlar değişkenler arasında çoklu bağlantının bulunmaması, hatalarda otokorelasyon olmaması ve hata terimlerinin varyansının sabit olmasıdır. Değişkenler buna uygun olarak seçildikten sonra ortalama debi tahmini için geliştirilen regresyon denkleminde kullanılabilir.

#### 3.2.1 Değişkenlerin kontrolü

**a) t testi:** t testi sayesinde regresyon denkleminde yer alacak değişkenlerin anlamlılıkları ayrı ayrı kontrol edilir. Bu testte sıfır hipotezi  $H_0: \mu_x = \mu_y$  şeklindedir. X ve Y değişkenlerinin normal dağılmış olması halinde test istatistiğinin kesin örnekleme dağılımı bilinebilir.  $Var(x) = Var(y) = s^2$  kabul edilmesi durumunda

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{s \sqrt{\frac{1}{r} + \frac{1}{m}}} \quad (3.11)$$

istatistiğinin örnekleme dağılımı serbestlik derecesi  $s.d. = n + m + 2$  olan t dağılımıdır. Burada

$$s = \sqrt{\frac{(r-1)s_x^2 + (m-1)s_y^2}{r+m-2}} \quad (3.12)$$

şeklinde hesaplanır.  $Var(x) \neq Var(y)$  olması halinde ise

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m}}} \quad (3.13)$$

istatistiğinin örnekleme dağılımı serbestlik derecesi

$$s. d. = \left( \frac{s_x^2}{r} + \frac{s_y^2}{m} \right)^2 \left/ \left[ \frac{(s_x^2/r)^2}{r-1} + \frac{(s_y^2/m)^2}{m-1} \right] \right. \quad (3.14)$$

olan t dağılımıdır.

X ve Y değişkenlerinin normal dağılmış olması halinde yukarıda verilen örnekleme dağılımları kullanılarak ret bölgesi belirlenir ve t testi uygulanır. Ancak dağılımların normal olmaması halinde bu parametrik testin gücü az, yani gerçekte  $\mu_x = \mu_y$  olmadığı halde  $H_0$  hipotezinin kabul edilmesi olasılığı yüksek olur. Bu gibi durumlarda aşağıda anlatılan, değişkenlerin dağılımından bağımsız testleri (parametrik olmayan test) uygulamak gerekir. Değişkenlerin normal dağılmaması halinde izlenebilecek diğer bir yol uygun bir dönüşüm uygulayarak değişkenleri normal değişkenlere çevirdikten sonra parametrik testin bu değişkenler için kullanılmasıdır.

**b) F testi:** İki örneğin varyanslarının toplum değerlerinin aynı olup olmadığını kontrol etmek için  $s_x > s_y$  olmak üzere

$$F = \frac{s_x^2}{s_y^2} \quad (3.15)$$

istatistiği hesaplanır. Bu istatistiğin dağılımı payının serbestlik derecesi  $s. d. = n - 1$ , paydasının serbestlik derecesi  $m - 1$  olan F (Fisher) dağılımıdır. (3.15) denkleminle hesaplanan  $F$  değeri seçilen anlamlılık düzeyindeki kritik  $F_c$  değerinden büyükse ( $F > F_c$  ise) iki örneğin varyanslarının toplum değerlerinin aynı olduğu hipotezi ret edilir. Bu test, değişkenlerin normal dağılmış olması halinde geçerlidir (Bayazıt, 1996, s. 17).

### 3.2.2 Çoklu bağlantı için varyans artış faktörü

Çoklu bağlantı, en az bir değişkenin bir ya da daha fazla değişkenle yakından ilişkili olma durumudur. Değişkenler arasında çok iyi bir ilişki olması durumunda değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı  $-1$  veya  $1$  değerine yaklaşır. Dolayısıyla bu değişkenler belirlenerek regresyon modelinden çıkarılır. Aksi takdirde taraflı sonuçlar elde edilebileceği gibi, beklenmeyen veya anlamsız sonuçlarla karşılaşılabilir. Bu nedenle geliştirilen regresyon modelinin sadece istatistiksel değil aynı zamanda fiziksel olarak da anlamlı olması gerekir.

Çoklu bağlantı kontrolünde herhangi bir  $j$  değişkeni için Varyans Artış Faktörü ( $VIF$ )

$$VIF_j = 1/(1 - R_j^2) \quad (3.16)$$

şeklinde hesaplanır (Helsel ve Hirsch, 2002). Burada  $R_j^2$ ,  $j$ 'inci değişken ile diğer tüm değişkenler arasındaki regresyonun  $R^2$  değeridir.  $R_j^2 \cong 0$ 'a karşı gelen  $VIF_j$  değeri  $1$ 'dir.  $R_j^2 > 0.9$  olması durumunda  $VIF_j > 10$  olur. Bu durumda çoklu bağlantı,  $j$ 'inci değişken için güven aralığı bandının genişliğini  $\sqrt{VIF_j}$  kadar arttırır. Bu da sonuçların güvenilirliğini azaltır. Hesaplanan  $VIF$  değeri ile birlikte modelde kullanılacak değişkenlerin seçimi mümkündür.

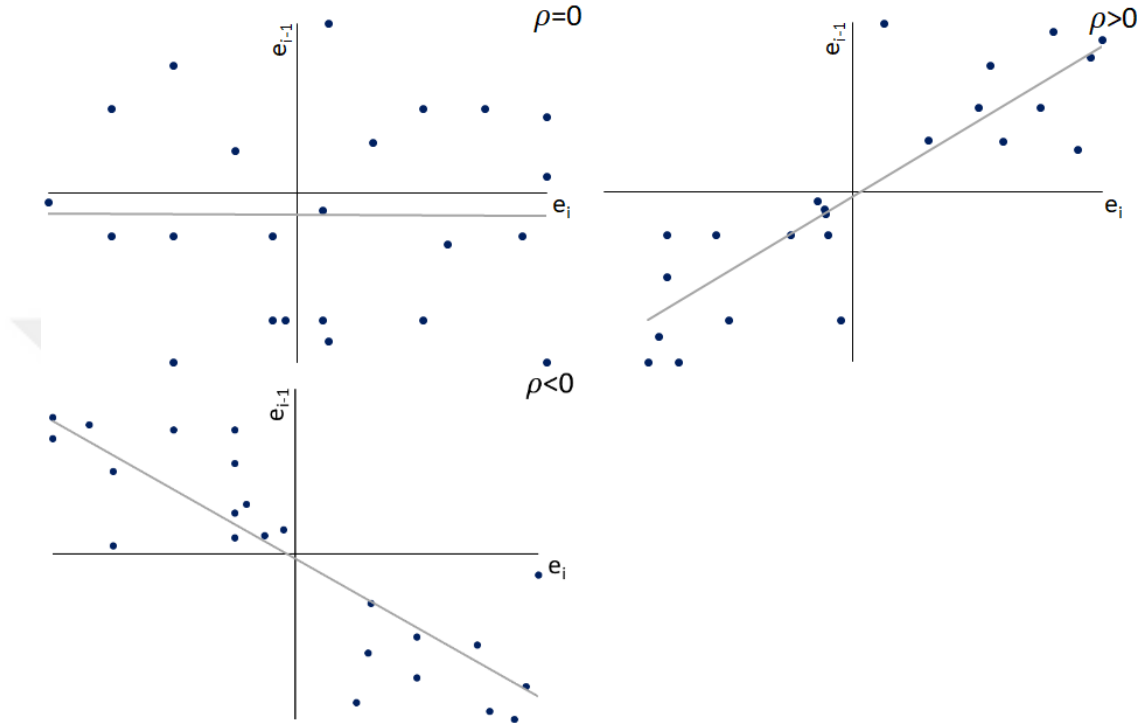
### 3.2.3 Otokorelasyon için Durbin Watson istatistiği

Modeldeki hataları değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan Durbin Watson ( $DW$ ) istatistiğine bakılır. Hataların birbiriyle olan ilişkisinin (otokorelasyonun) değerlendirilmesi ele alınan değişkenlerin birbiriyle ilişkisinin araştırılmasında önemlidir.  $DW$  istatistiği ile değişkenlerin regresyon modeli tahmininden sonra kalan artık terimlerin korelasyonu incelenir.  $DW$  istatistiği

$$DW = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=2}^n e_i^2} \quad (3.17)$$

şeklinde tanımlanır.  $DW$  değerinin küçük olması seri korelasyonunu ifade etmektedir.  $DW < d_L$  olduğunda seri korelasyonu lehine  $e_i$ 'lerin bağımsız olduğu kabul edilen  $H_0$  hipotezi reddedilir. Burada  $d_L$  kritik değer alt sınırı olup değeri veri setinin büyüklüğüne, değişken sayısına ve  $\alpha$  anlamlılık düzeyine bağlıdır.  $DW$ 'nin çok küçük olması da ilişkiyi yorumlama imkanı vermemektedir.  $DW$  değeri 0 ile 4 arasında

değişir. Otokorelasyon bulunmaması ( $\rho = 0$ ) durumunda  $DW = 2$  olur. Şekil 3.3'te hataların otokorelasyon katsayıları temsili olarak verilmektedir. Buna göre hataların bağımsız olması yani birbiriyle ilişkisinin olmaması durumunda hatalar rastgele dağılır ve otokorelasyon katsayısı  $\rho = 0$ 'dır. Hatalar arasında pozitif ilişki olması durumunda  $\rho > 0$ , negatif ilişki olması durumunda ise  $\rho < 0$  hesaplanır.

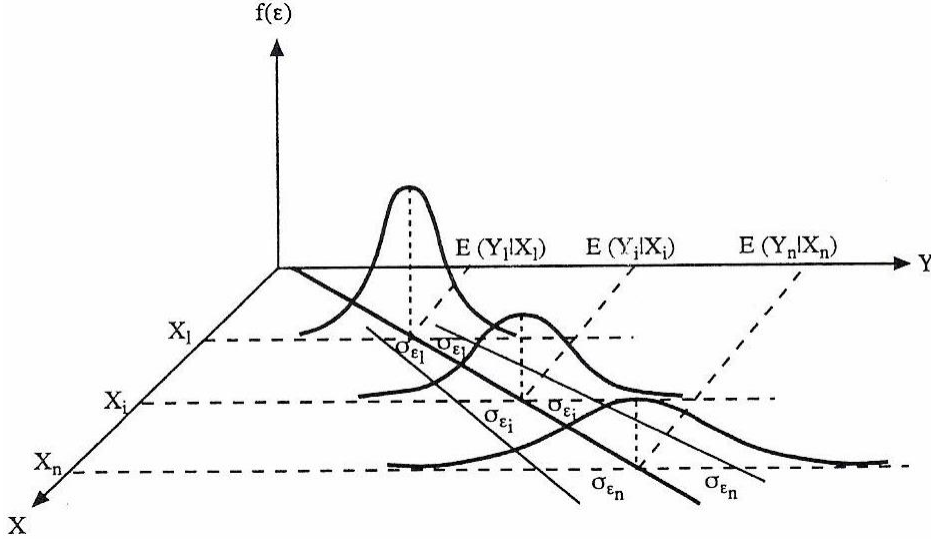


Şekil 3.3 : Hatalar arasındaki otokorelasyonun temsili gösterimi.

### 3.2.4 Eşit varyans için grafik yöntem

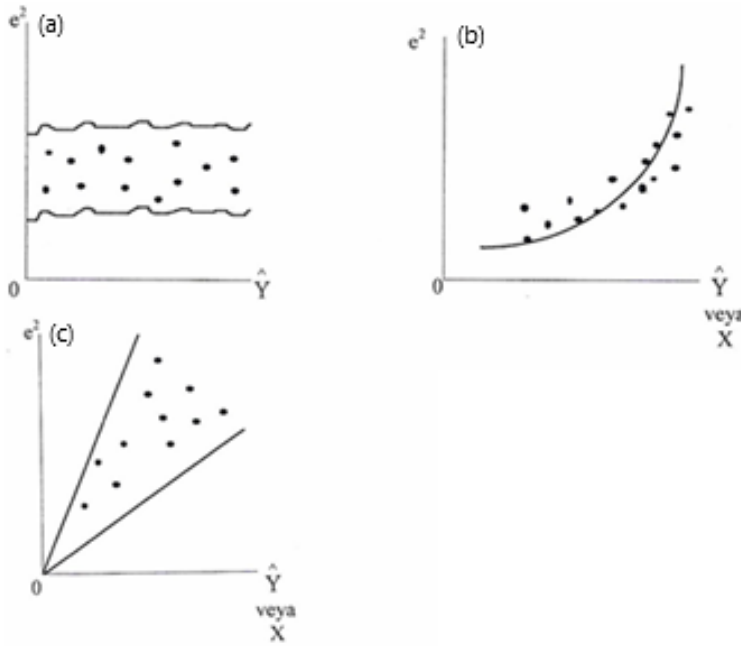
Modele girdi olan değişkenlerin hata terimlerinin varyanslarının aynı olması eşit varyans (homosedastisite) olarak tanımlanır. Eğer değişkenlerin buldukları aralıklar çok geniş ise hata terimlerinin varyansı değişir. Bu durum farklı varyans (heterosedastisite) olarak ifade edilir.

Farklı varyans durumuna model seçimi (denklem tipi) ile kullanılan verilerin özellikleri neden olur. Kullanılan verilerdeki ölçüm hatası, kullanılan verilerin seçilen modelin anlamlılığını etkileyecek şekilde modele dahil olmaması, verilerin içindeki uç değerler bu durumun oluşmasına örnektir. Grafik yöntem, farklı varyans durumunun belirlenmesinde pratik ve kolay bir yöntemdir. Ayrıca değişkenler ve hata terimleri arasındaki ilişkiyi görsel olarak karşılaştırma imkanı sunar (Şekil 3.4).



**Şekil 3.4 :** Farklı varyans (heterosedastisite) gösterimi (Güriş ve Çağlayan, 2000).

Yöntem olarak öncelikle eşit varyans kabulüyle modelde seçilen parametrelerin tahmin hataları hesaplanır. Oluşturulan grafik üzerinde düşey eksene hata/hatanın karesi (standart sapması), yatay eksene ise modelden tahmin edilen değerlerin standartlaştırılmış hali eklenir (Şekil 3.5). Eksenlerde belirtilen ifadelerin fonksiyonel ilişkileri araştırılır. Şekil 3.5a'da herhangi ilişki gözlenmediği yani değişkenlerin eşit varyans durumunun kabul edileceği söylenebilir. Şekil 3.5b ve Şekil 3.5c'de ise sırasıyla, ikinci mertebeden bir ilişki ve doğrusal bir şekilde artan eğimli ilişkiye sahip olmaları değişkenlerin farklı varyans durumunu ortaya koymaktadır.



**Şekil 3.5 :** Eşit ve farklı varyans için örnekler (Güriş ve Çağlayan, 2000).

### 3.3 Değerlendirme Ölçütleri

Debi süreklilik çizgisi modeli sonuçlarının değerlendirilmesinde rölatif hata ile birlikte bu çalışmada önerilen ve kullanılan diğer değerlendirme ölçütleri anlatılmaktadır. Debi süreklilik çizgisi üzerinde  $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$  ile  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  arasında değişen akım değerlerini (düşük ve yüksek akımları) tek bir değerlendirme ölçütü ile değerlendirmek mümkün değildir. Bu nedenle debi süreklilik çizgisini parçalara ayırarak değerlendirmek ve yorumlamak daha doğru bir yaklaşım olarak benimsenmiştir. Örneğin;  $Q_{95} = 0.001 \text{ m}^3/\text{s}$  olan bir havzada model ile tahmin edilen akım değeri  $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$  ise rölatif hata cinsinden %100 hata yapıldığı düşünülür. Diğer taraftan  $Q_{95} = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$  olduğunda model ile yapılan tahmin  $900 \text{ m}^3/\text{s}$  ise rölatif hata sadece %10 olacaktır. Aslında düşük akım kısmındaki rölatif hata %100 olmasına rağmen hatanın çok küçük olduğu, yüksek akım kısmında %10'luk rölatif hatanın ise  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  gibi büyük bir akım değerine karşı geldiği görülür. Bu nedenle rölatif hata gibi bir değerlendirme ölçütünün geliştirilen modeli tek başına değerlendirmede yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Burada, literatürde özellikle debi süreklilik çizgisini değerlendirmede kullanılan ve önerilen yöntemler açıklanmaktadır. Aşağıda sıralanan ölçütlerde  $Q_i$  gözlenen,  $\tilde{Q}_i$  modelden tahmin edilen ve  $\bar{Q}$  havzada uzun yıllar gözlenen ortalama akım değerini ifade etmektedir.

#### 3.3.1 Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı

Özellikle yüksek akımların değerlendirilmesinde kullanılan Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE),

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\tilde{Q}_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (3.18)$$

ile hesaplanır ve  $-\infty \leq NSE \leq 1$  aralığında değişir. Hesaplanan değer 1'e yaklaştıkça modelden tahmin edilen sonuçların gözleme yakın olduğu anlaşılır. Ayrıca NSE,  $-\infty$ 'a kadar gidebildiğinden çok küçük negatif değerlerle karşılaşmak mümkündür. Ridolfi ve diğ. (2018) debi süreklilik çizgisi değerlendirmesinde elde ettiği başarılı sonuçları sunarken 1'e yakın NSE değerlerinin yanında en düşük -25.7 değerini hesaplamıştır. Moriasi ve diğ. (2007) Çizelge 3.1'deki gibi bir sınıflandırma yaparak hesaplanan NSE değerine göre modelin performansını değerlendirmiştir.

**Çizelge 3.1** : NSE'ye göre performans değerlendirmesi.

Değerlendirme	Aralık
Çok iyi	$0.75 < NSE \leq 1.00$
İyi	$0.65 < NSE \leq 0.75$
Yeterli	$0.50 < NSE \leq 0.65$
Yetersiz	$NSE \leq 0.50$

### 3.3.2 Ortalama karesel hatanın karekökü

Ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE),

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\tilde{Q}_i - Q_i)^2} \quad (3.19)$$

ile hesaplanır. Bu değerlendirme ölçütü, NSE'de olduğu gibi özellikle yüksek akımların (taşkın piklerinin) değerlendirilmesinde kullanılır ve  $0 \leq RMSE \leq \infty$  aralığında değişir. Bu ölçüt boyutludur ve incelenen değişkenin boyutunu taşır. Bu nedenle büyük akım değerinde büyük RMSE hesaplanır. Bu durum verinin aralığıyla ilgili olduğundan bu ölçütle doğrudan modelin değerlendirilmesi kolay değildir. Yine de hesaplanan değer sıfıra yaklaştıkça modelden elde edilen ve gözlenen değerlerin birbirine yakın olduğu anlaşılır.

### 3.3.3 Standart sapma oranı

Standart sapma oranı (RSR), NSE'ye benzemekte ve yine özellikle yüksek akımların (taşkın piklerinin) değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.  $0 \leq RSR \leq \infty$  aralığında değişen RSR,

$$RSR = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\tilde{Q}_i - Q_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2}} \quad (3.20)$$

ile hesaplanır. Hesaplanan değer sıfıra yaklaştıkça modelden elde edilen sonuçların başarılı olduğu anlaşılmaktadır. RSR için Çizelge 3.2'de değerlendirme amacıyla bir sınıflandırma yapılmıştır (Moriasi ve diğ., 2007).

**Çizelge 3.2 : RSR'ye göre performans değerlendirmesi.**

Değerlendirme	Aralık
Çok iyi	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$
İyi	$0.50 < RSR \leq 0.60$
Yeterli	$0.60 < RSR \leq 0.70$
Yetersiz	$RSR > 0.70$

### 3.3.4 Ortalama karesel hata

Ortalama karesel hata (MSE), yüksek akımları değerlendirmede kullanılır (Pfannerstill ve diğ., 2014) ve

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\tilde{Q}_i - Q_i)^2 \quad (3.21)$$

ile hesaplanır.  $0 \leq MSE \leq \infty$  aralığında değişen MSE için hesaplanan değer sıfıra yakın olduğunda sonuçların başarılı olduğu anlaşılır. Bu ölçüt de RMSE gibi boyutludur. Bu nedenle büyük akım değerinde büyük ortalama karesel hatalar hesaplamaya meyillidir.

### 3.3.5 Ortalama mutlak hata

Debi süreklilik çizgisini bir bütün olarak değerlendirmek amacıyla kullanılan ortalama mutlak hata (MAE),

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\tilde{Q}_i - Q_i| \quad (3.22)$$

ile hesaplanır.  $0 \leq MAE \leq \infty$  aralığında değişen MAE için hesaplanan en iyi değer sıfır olarak hedeflenmektedir.

### 3.3.6 Rölatif hata

Debi süreklilik çizgisi üzerinde tahmin edilen ve gözlenen kuantillerin karşılaştırılmasında yaygın bir şekilde kullanılan rölatif hata (RE),

$$RE = \frac{\tilde{Q}_i - Q_i}{Q_i} 100 \quad (3.23)$$

ile hesaplanır. Değerlendirme ölçütlerinin hesabında bahsedilen nedenlerden dolayı doğru bir yorumlama imkanı vermemektedir.  $-\infty \leq RE \leq \infty$  aralığında değişen RE'nin

sıfıra yakın değerlerinde sonuçlar kabul edilebilir mertebededir. Singh ve diğ. (2001), Hindistan'da 1200 havzada yaptıkları uygulamada model ile hesaplanan akımların 3/4'ünden fazlası için %100'ün üzerinde RE hesaplamıştır.

### 3.3.7 Hacimsel hata

Debi süreklilik çizgisinin altında kalan alanı değerlendirmek amacıyla hacimsel hata (VE) kullanılır ve

$$VE = \frac{\sum_{i=1}^N \tilde{Q}_i - \sum_{i=1}^N Q_i}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad (3.24)$$

ile hesaplanır.  $-\infty \leq VE \leq \infty$  aralığında değişen VE'nin sıfıra yakın değerlerinde sonuçlar kabul edilebilir mertebededir. Ridolfi ve diğ. (2018) debi süreklilik çizgisi için VE değerlerini  $-0.2 \leq VE \leq 0.5$  aralığında hesaplamıştır.

Bu ölçütlere ek olarak, öncelikle debi süreklilik çizgisi için kullanılmak üzere BiasFHV, SFDCE ve BiasFLV mevcuttur. Bunlar debi süreklilik çizgisinin sırasıyla yüksek (%0-20), orta (%20-70) ve düşük (%70-100) kısımları için kullanılır. Yılmaz ve diğ. (2008) tarafından önerilen bu ölçütler sayesinde debi süreklilik çizgisi ile ilgili modellerin performansları daha kolay değerlendirilmektedir. Ancak ölçütlerin performans aralıkları verilmediğinden modellerin başarılı olup olmadığı ile ilgili kesin bir yargıya varılamamaktadır. Bu nedenle hesaplanan ölçüt değerleri başarı yüzdesi olarak yorumlanacaktır.

### 3.3.8 Debi süreklilik çizgisi yüksek kısmının hatası

Bu ölçüt debi süreklilik çizgisinde yüksek akım (%0-20) hacminin değerlendirilmesi amacıyla önerilmiştir. Modelden tahmin edilen ve gözlenen değerler birbirine yakın elde edildiğinde debi süreklilik çizgisi yüksek kısmının hatası (BiasFHV) için sıfıra yakın bir değer hesaplanır. BiasFHV'de değerlendirme aralığı %0-100'dür. BiasFHV,

$$BiasFHV = \frac{\sum_{i=1}^N (\tilde{Q}_i - Q_i) 100}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad (3.25)$$

ile hesaplanır.

### 3.3.9 Debi süreklilik çizgisi orta eğiminin hatası

Debi süreklilik çizgisi orta eğiminin hatası (SFDCE), debi süreklilik çizgisinin orta (%20-70) kısmının değerlendirilmesi amacıyla kullanılır. Bu ölçüt için kabul edilebilir hesap aralığı %0-100'dür. Yine de debi süreklilik çizgisi orta eğiminde hesaplanan hata debi süreklilik çizgisinin yüksek ve düşük kısımlarındaki hataya göre daha küçük beklenmektedir. SFDCE,

$$SFDCE = \frac{[\log(Q_{m1}) - \log(Q_{m2})] - [\log(Q_{g1}) - \log(Q_{g2})]}{[\log(Q_{g1}) - \log(Q_{g2})]} 100 \quad (3.26)$$

ile hesaplanır. Denklemden  $Q_{m1}$  modelden tahmin edilen %20 aşılma yüzdesine karşı gelen debi değerini,  $Q_{m2}$  modelden tahmin edilen %70 aşılma yüzdesine karşı gelen debi değerini,  $Q_{g1}$  gözlenen %20 aşılma yüzdesine karşı gelen debi değerini,  $Q_{g2}$  gözlenen %70 aşılma yüzdesine karşı gelen debi değerini ifade etmektedir.

### 3.3.10 Debi süreklilik çizgisi düşük kısmının hatası

Bu ölçüt debi süreklilik çizgisinde düşük akım (%70-100) hacminin değerlendirilmesi için kullanılır. Debi süreklilik çizgisi düşük kısmının hatası (BiasFLV) için sıfıra yakın değerler beklenmekle birlikte %100'e kadar hesaplanan değerler kabul edilebilir mertebededir. BiasFLV (%),

$$BiasFLV = \frac{\sum_{i=1}^N (\tilde{Q}_i - Q_i) 100}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad (3.27)$$

ile hesaplanır.



## 4. HAVZA KARAKTERİSTİKLERİ

### 4.1 Sayısal Yükseklik Modeli

Havza karakteristiklerinin hesabı için havzanın topografyasına, dolayısıyla Sayısal Yükseklik Modeli'ne (DEM) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verileri temin etmek için öncelikle çalışmanın amacına bağlı olarak veri ölçeği belirlenir. Örneğin; taşkın modellemesi gibi hidrolik çalışmalarda akarsu taşkın yatağında enkesitlerin çıkarılması aşamasında 1/5000 veya daha yüksek çözünürlüklü DEM verisi gereklidir. Yüksek çözünürlüklü verilerin elde edilmesindeki maliyetin büyük olduğu düşünülerek hidrolojik çalışmalarda 1/25000 veya daha düşük çözünürlüklü DEM genellikle yeterlidir.

Türkiye'de 1/25000 ölçekli DEM haritaları Harita Genel Müdürlüğü'nden satın alınabilmektedir. Bunun yanında havza karakteristiklerinin hesabında ve hidrolojik analizlerde yaygın bir şekilde kullanılan *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model Version 2 (GDEM v2)*, *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM)*, *Multi-Error-Removed Improved-Terrain (MERIT)* gibi DEM verileri bulunmaktadır. Bunların içinde en yüksek çözünürlüğe sahip olanı ASTER GDEM'dir. Fakat hidrolojik çalışmalarda tek başına çözünürlük yeterli değildir. Çözünürlüğün yanında veri doğruluğu yüksek olan DEM verileri tercih edilmektedir (Çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1 : DEM verilerinin karşılaştırılması.**

	ASTER GDEM	SRTM	TauDEM	MERIT DEM
Veri kaynağı	ASTER	Space shuttle radar	Bilinmiyor	SRTM ve AW3D
Geliştirici	METI/NASA	NASA/USGS	David Tarboton, Utah Eyalet Üniversitesi	Dai Yamazaki, Tokyo Üniversitesi
Çıkış yılı	2009	2003	1997	2017
Çözünürlük (m)	30	90	90	90
Veri doğruluğu (standart sapma) (m)	7-14	10	Bilinmiyor	2

Hidrolojik havza çalışmalarında genellikle veriye ulaşmanın kolay ve yaygın olduğu SRTM DEM kullanılmaktadır. SRTM DEM verisi üzerinde uydu görüntüleri yardımıyla ağaç ve bitki yüksekliklerinin de veriye eklenmesi gibi yapılan iyileştirmeler ile 2017 yılında MERIT DEM verisi geliştirilmiştir (Şekil 4.1, Yamazaki ve diğ., 2017). Bu nedenle, bu çalışma kapsamında havza karakteristiklerinin elde edilmesinde MERIT DEM verisi kullanılmıştır.



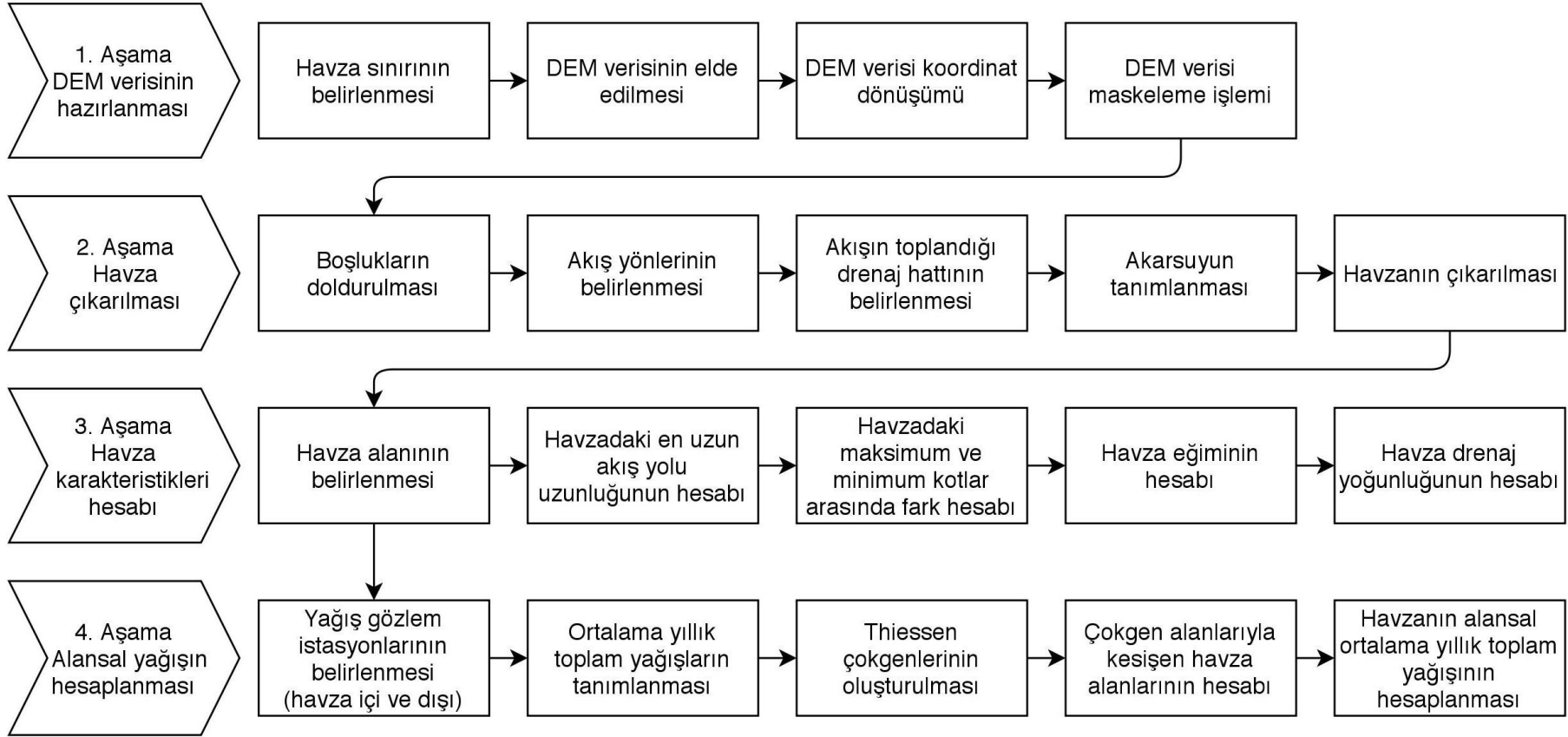
**Şekil 4.1** : Ağaç ve bitki yüksekliklerinin MERIT DEM verisine eklenmesi (Url-1).

MERIT DEM verisine ücretsiz bir şekilde erişim sağlanabilmektedir (Url-1). Bu veri kullanılarak yapılan hidrolojik modelleme çalışmalarında Ganj, Nil, Mekong Nehri gibi dünyadaki büyük taşkın yataklı havzalarda ve Amazon, Kongo, Vasyugan gibi büyük bataklık ormanlarında diğer DEM verilerine oranla daha doğru topografik eğimler hesaplanmıştır (Yamazaki ve diğ., 2017). Bu çalışma kapsamında da havza sınırları belirlenirken büyük havzalarda ASTER, SRTM ve MERIT DEM verilerinde benzer sonuçlar elde edilmekle birlikte küçük havzalarda en iyi sonuçlar MERIT DEM verisi kullanılarak elde edilmiştir.

## **4.2 Havza Karakteristikleri**

Havza karakteristiklerinin hesaplanması amacıyla Şekil 4.2’de belirtilen akış şeması izlenmiştir:

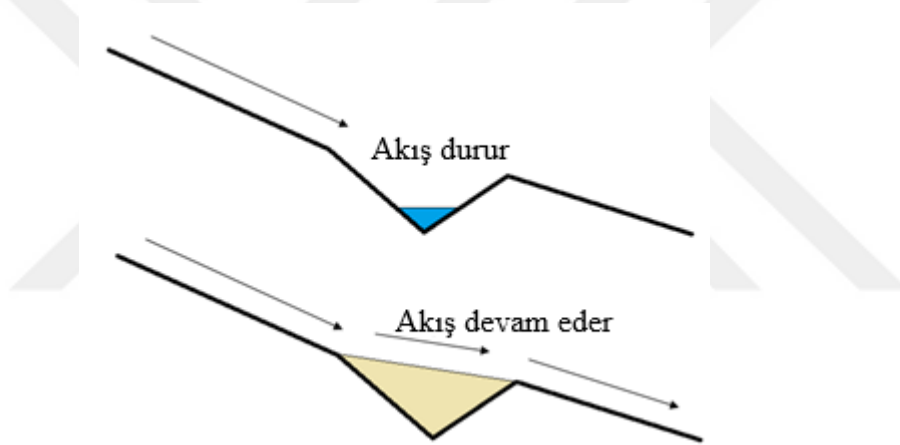
İlk aşamada uygulama yapılacak havza belirlenir. Ardından havzanın sınırlarını kapsayan koordinat bilgileri kullanılarak DEM verisi elde edilir. Hesaplamalarda metrik sistem kullanılmasından dolayı coğrafi koordinat sisteminin dönüştürülmesi



**Şekil 4.2 :** Havza karakteristikleri hesabında kullanılan akış şeması.

gerekir. Son olarak DEM verisinin havza sınırıyla kırılması aşaması maskeleme işlemiyle gerçekleştirilir. Maskeleme işleminde kullanılacak DEM verisi havza sınırı ile sınırlandırılarak hesap ve işlem yükü azaltılabilir.

Çıkış noktasına göre havza sınırlarının belirlenmesi için Şekil 4.2'deki akış şemasının 2. aşamasında belirtilen adımlar takip edilir. Boşluk doldurma işlemi, havzanın DEM verisinde bulunan çukur noktaların yükseltilmesidir. Veride her hücrenin bir sayısal değeri bulunur. Akış yönleri belirlenirken bu değerler dikkate alınır. Akış yönü her zaman hücre değeri büyük olandan küçük olana doğrudur. DEM verisinde boşluklar doldurulmadığında akış durur, kesintiye uğrar (Şekil 4.3). Boşluk doldurma işlemi bu problemi ortadan kaldırmak için hücredeki yükseklik değerini yeniden düzenler. Bu nedenle akışın kesilmeden havza çıkışına kadar devam edebilmesi amacıyla çukur noktalar mutlaka doldurulmalıdır.



**Şekil 4.3 :** Boşluk doldurma işlemi öncesi ve sonrası akış.

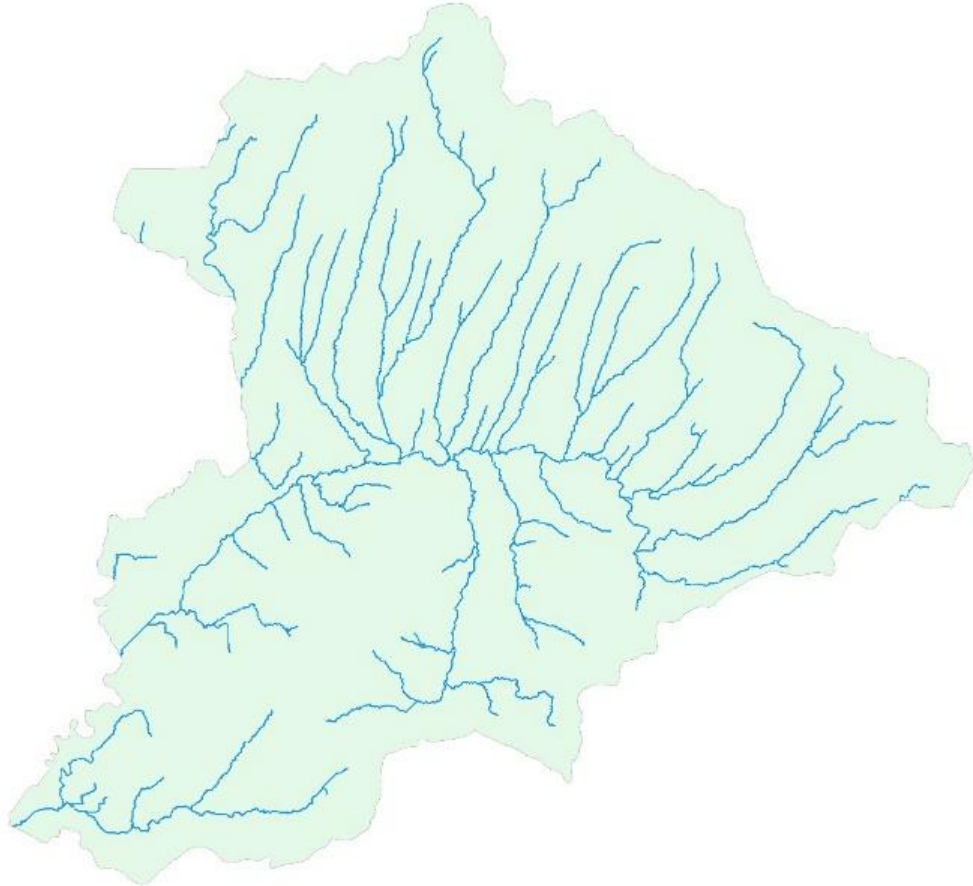
Bir hücredeki akış değerinin hangi yöne gideceğini belirlemek için komşu sekiz hücrede yükseklik değerine bakılır ve bu sekiz hücre içindeki en küçük yükseklik değerine doğru olacak şekilde akış yönü belirlenir (Şekil 4.4). Drenaj hattının çıkarılması için akışın bir önceki adımda belirlenen akış yönlerine göre toplanarak havza çıkışına doğru yönelmesi gerekir. Bu aşamada hücre su toplama alanında (havzasında) mevcut hücre sayısı hesaplanır. Bu şekilde alt havzalar ve akarsu kolları belirlenir.

Akarsu havzasının tanımlanabilmesi için öncelikle havzadaki akarsular belirlenir. Akarsular tanımlanırken akarsu havza alanı ya da hücre sayısının eşik olarak tanımlanması gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle dikkate alınacak en küçük havza alanı

85	70	65
60	55	50
75	65	30

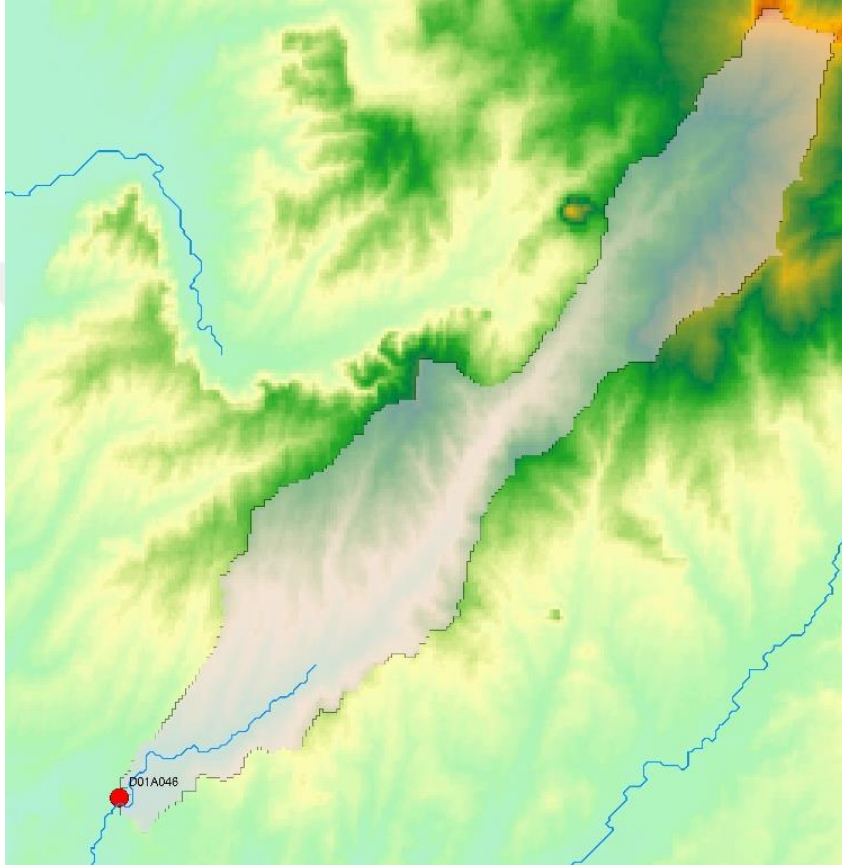
**Şekil 4.4 :** Komşu hücelere bakılarak akış yönünün belirlenmesi.

belirlenmelidir. Bu değer, çalışılan havzada ele alınacak en küçük havzanın drenaj alanı olabilir. Fakat hesapların uzun sürmesinden ve ayrıca tüm havzada yapılacak hesaplamaların bu eşik değere göre yapılacağı bilindiğinden daha büyük değerler seçilmesi uygun olacaktır. Büyük ve küçük havzaların bir arada değerlendirilmesi mümkün değildir. Bunun nedeni tanımlanan küçük eşik değerde havza içerisinde oluşacak havza sayısı fazla olacağından bilgisayar ortamında bu analizlerin yapılmasının güç olmasıdır. Akarsuyun tanımlanması aşamasında seçilen eşik drenaj alanından büyük alana sahip akarsu kolları belirlenir (Şekil 4.5).



**Şekil 4.5 :** Havzada akarsu kollarının belirlenmesi.

Bu aşamadan sonra hidrolojik hesaplarda akım verisi kullanılan akım gözlem istasyonu (AGİ) havzası çıkarılır, ardından havza karakteristikleri belirlenir (Şekil 4.2). Havza çıkış noktası, mutlaka havza drenaj hattı üzerinde olmalıdır (Şekil 4.6). Havza sınırının belirlenmesi işlemi tamamlandığında hesaplanan havza alanı ile AGİ drenaj alanı karşılaştırılmalıdır. Çünkü; ASTER GDEM verisi kullanıldığında özellikle küçük havzalarda hatalı sonuçlarla karşılaşabilmektedir.



**Şekil 4.6 :** Havza sınırının belirlenmesi.

Böylece sınırı belirlenen akarsu havzasının alanı kolayca bulunabilir. Havzanın en uzun akış yolu, drenaj hattı izlenerek hesaplanır. Hesaplanan akış yolunun kotları belli olduğundan havza eğimi elde edilebilir. Ayrıca havza sınırları içindeki maksimum ve minimum kot değerleri bilindiğinden havza kot farkı hesaplanabilir. Havza eğiminin büyük olması havza drenaj yoğunluğunun da büyük olduğunu, dolayısıyla yağışın hızla yüzeysel akışa geçtiğini gösterir. Bu iki değişken arasında yüksek korelasyonun olduğu literatürde belirtilmiştir (Reddy ve diğ., 2004). Ayrıca Fennessey ve Vogel (1990),

$$d = \frac{S}{H} \quad (4.1)$$

ilişkisini önermiştir. Bu çalışmada (4.1) denklemi kullanılarak drenaj yoğunluğu ( $d$ ) hesaplanmıştır.

### 4.3 Alansal Yağışın Hesaplanması

#### 4.3.1 Yağış gözlem istasyonları

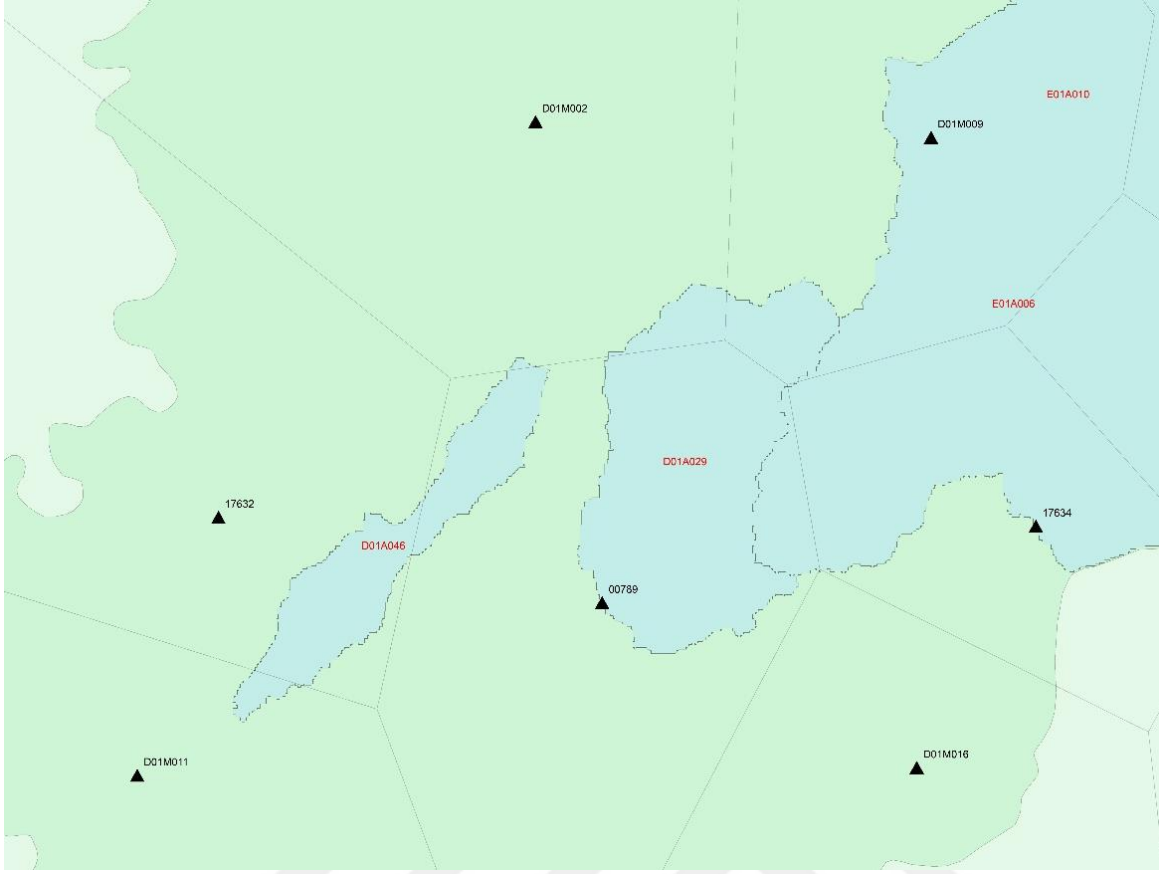
Akış şemasının (Şekil 4.2) dördüncü adımında havzanın alansal yağışının hesaplanması amacıyla öncelikle çalışma havzası içinde kalan ve havza dışında ancak havza sınırı yakınında bulunan yağış gözlem istasyonları (YGI) belirlenmiştir. Bu YGI'lerin aylık toplam yağışları kullanılarak yıllık toplam yağışları hesaplanmıştır.

#### 4.3.2 Yıllık toplam yağışın hesaplanması

Akarsu havzasında alansal yağışı hesaplayabilmek amacıyla çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlar, aritmetik ortalama, Thiessen ve izohiyet yöntemidir. Bu çalışmada, alansal yağışın hesaplanabilmesi için Thiessen yöntemi kullanılmıştır. Özellikle YGI'lerin üniform dağılmadığı havzalarda bu yöntem tercih edilmektedir. Yöntemde birbirine yakın YGI'ler doğru parçalarıyla birleştirilir ve birleştirilen doğrulardan orta dikmeler yardımıyla her YGI'ye ait alan elde edilir (Şekil 4.7). Bu şekilde yağışı havza üzerine düşen YGI'nin alanının havzada kalan kısmı hesaplanır. Havzanın yıllık toplam yağışı ( $P$ ),

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N P_i A_i}{A} \quad (4.2)$$

ile hesaplanır. Burada toplam  $N$  adet YGI'nin herbirinde  $A_i$ , yağış yüksekliği  $P_i$  olan YGI'nin çevresindeki bölgenin alanıdır.

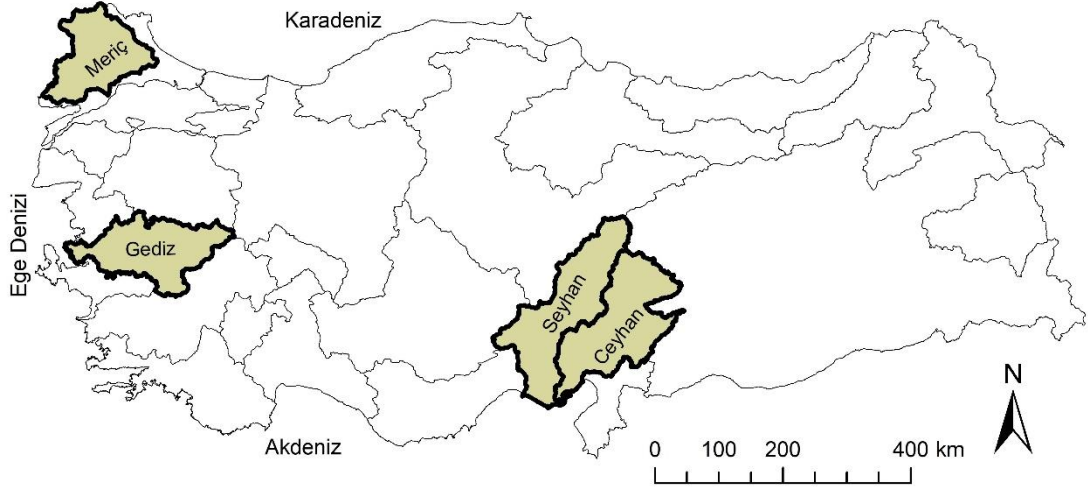


Şekil 4.7 : Thiessen çokgenlerinin çizilmesi.

## 5. UYGULAMA ALANLARI VE VERİ

### 5.1 Uygulama Alanları

Bu çalışma kapsamında kuruyan akarsuların yıllık, aylık ve günlük debi süreklilik çizgisi modelleri geliştirilmiştir. Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulaması, komşu iki havza olan Seyhan ve Ceyhan havzalarında yapılmıştır. Seyhan havzasından alınan akarsular sürekli akar nitelikte olduğundan kuruyan akarsuların aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasına Ceyhan havzası ile devam edilmiştir. Debi süreklilik çizgisi modelinin günlük zaman ölçeğinde uygulaması için de Ceyhan havzasının yanında kuruma oranının daha da yüksek olduğu Meriç ve Gediz havzalarından alınan veriler kullanılmıştır. Uygulama yapılan Seyhan, Ceyhan, Meriç ve Gediz havzaları aşağıda tanıtılmıştır (Şekil 5.1). Havzaların her biri ülkemizde su kaynakları ile ilgili yönetim, planlama ve uygulama çalışmaları açısından önemli konumdadır.

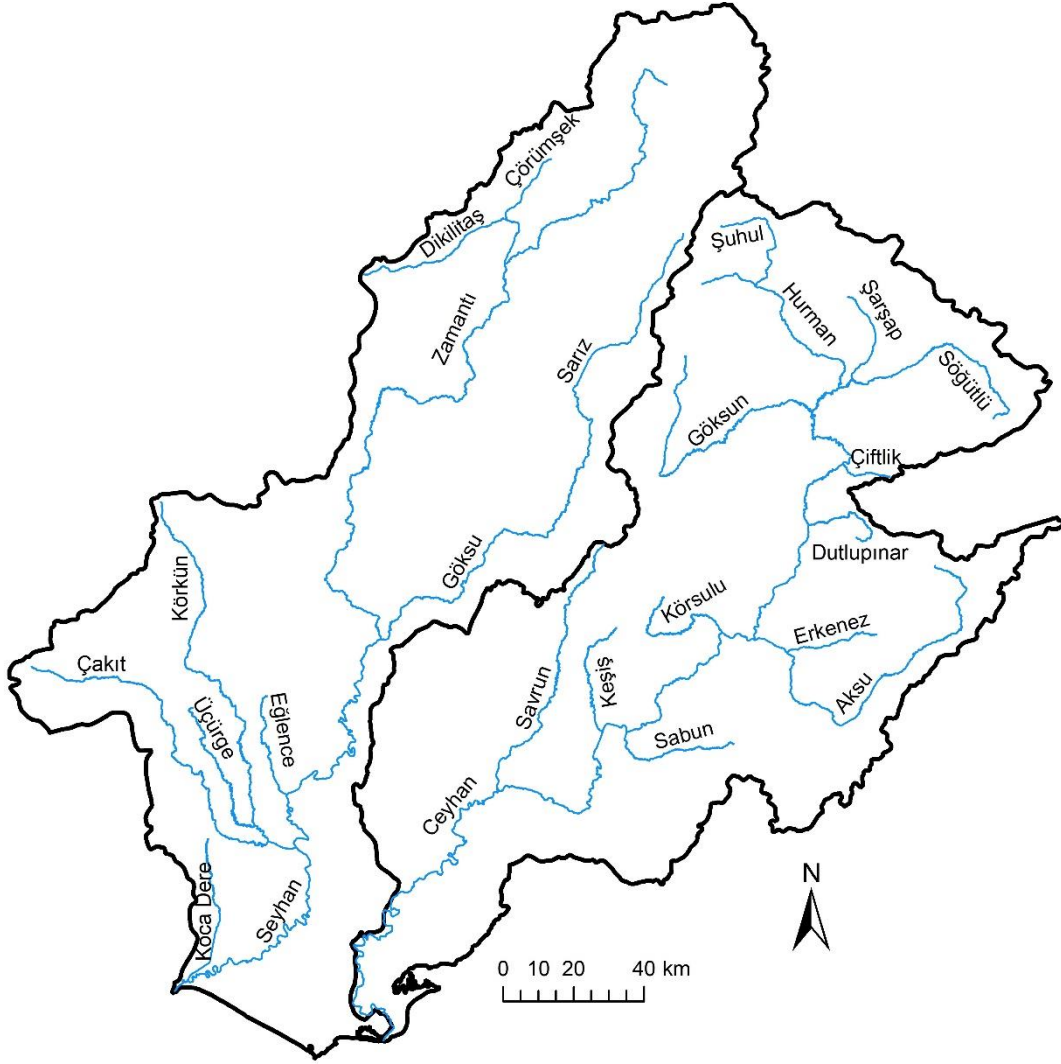


Şekil 5.1 : Uygulama havzalarının konumu.

#### 5.1.1 Seyhan Havzası

Çukurova'dan kuzeye doğru uzanan Seyhan havzasının yukarı bölümü İç Anadolu, orta ve aşağı bölümü Akdeniz bölgesinde yer alır. Zamanti ve Göksu nehirlerinin birleşmesi ile oluşan Seyhan nehri 560 km uzunluğa ulaşır (Şekil 5.2). Havzanın kuzeyinde Dikilitaş ve Çörümşek dereleri birleşerek Kayseri Pınarbaşı'nda 1500 m yükseklikten doğan Zamanti nehrine ulaşır. Zamanti nehri Çukurova'ya inmeden önce

Adana'nın 80 km kuzeyinde Göksu nehri ile birleşir. Göksu nehri, Sarız civarındaki küçük derelerin birleşmesiyle oluşur. Seyhan nehri, havzanın çıkışına doğru Eğlence, Körkün, Üçürge, Koca Dere ve Çakıt gibi küçük dereleri bünyesine katarak Akdeniz'e dökülür. Seyhan nehrinin yıllık debisi  $211.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.  $20450 \text{ km}^2$  alana sahip Seyhan havzasının yıllık yağış yüksekliği 629 mm ve yıllık akış yüksekliği 345.2 mm'dir. Ayrıca havzadaki akışın yağışa oranı %55'tir (Bayazıt, 1999). Seyhan havzası Türkiye'de yüksek akış katsayısına sahip havzalar arasında yer alır.



Şekil 5.2 : Seyhan ve Ceyhan havzası akarsuları.

Havzanın yukarı ve orta kısımları yağmurla beslenen tarım karakteri gösterirken havzanın aşağı kısmında çoğunlukla mısır, buğday, meyve gibi sulamalı tarım yaygındır. Zamanti nehrinden tarımsal sulama suyu ihtiyacı sağlanırken Göksu nehrinde çoğunlukla hidroelektrik güç üretilir. Seyhan nehrinden hidroelektrik güç üretiminin yanında endüstriyel sektörün su ihtiyacı da sağlanır.

### 5.1.2 Ceyhan Havzası

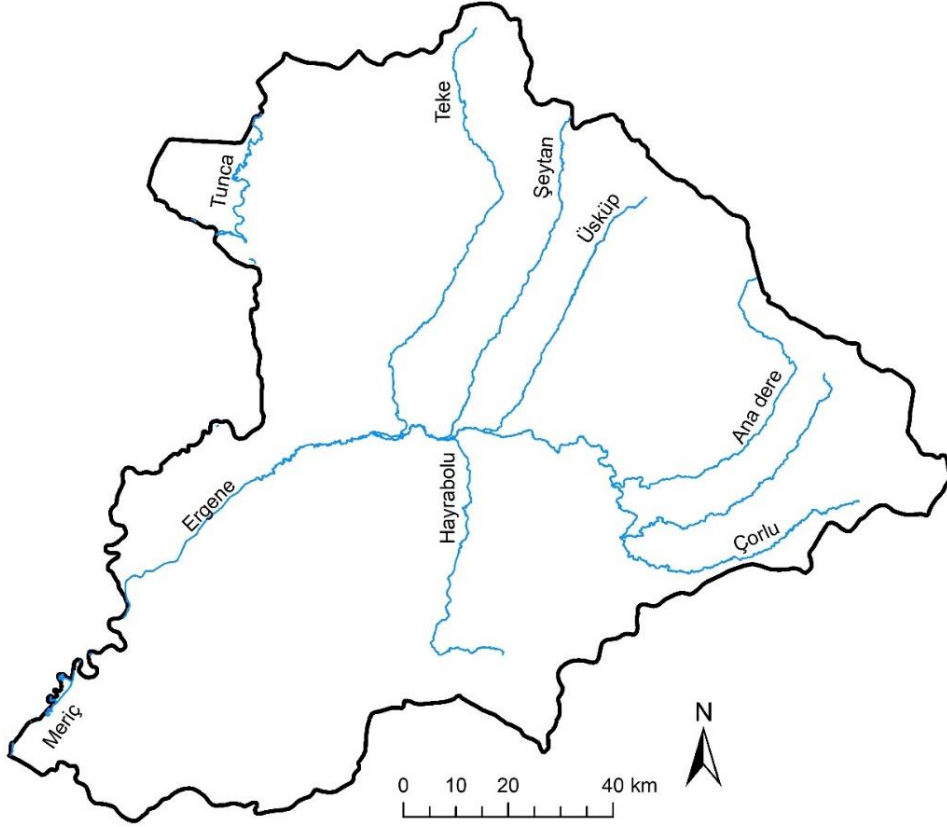
Havzanın en önemli akarsu kaynağı Ceyhan nehridir. Çukurova’da geniş bir delta oluşturarak Akdeniz’e İskenderun körfezinden dökülür (Şekil 5.2). Şuhul deresi ile beslenen Hurman, Şarşap, Söğütlü ve Göksun çayı birleşerek Ceyhan nehrinin menbasını oluşturur. Çiftlik, Dutlupınar, Erkenez, Keşiş, Sabun, Körsulu gibi küçük derelerle birlikte Aksu ve Savrun çayı Ceyhan nehri ile birleşir. Ceyhan nehri, Kahramanmaraş’ta genellikle derin vadilerden geçer. Ceyhan nehrinin dar ve derin vadiler içinde akması hidroelektrik santrali yapımı için elverişli bir durumdur. Bu nedenle nehir üzerinde birçok baraj bulunur.

Ceyhan nehrinin toplam uzunluğu 425 km ve yıllık debisi 82.9 m<sup>3</sup>/s’dir. Ceyhan havzası 21982 km<sup>2</sup>’lik alana sahiptir. Havzada yıllık yağış yüksekliği 758 mm ve yıllık akış yüksekliği 328 mm’dir, yani yağış-akış oranı %43’tür (Bayazıt, 1999).

### 5.1.3 Meriç Havzası

Meriç havzasında yer alan en önemli yüzeysel su kaynağı Meriç ve Ergene nehridir (Şekil 5.3). Ergene nehri, Ergene deresi adıyla Tekirdağ’ın Saray ilçesi kuzeyinde Yıldız (Istranca) dağlarının denizden 312 m yükseklikteki Taşpınar tepesi civarında Güneşkaya mevkiindeki kaynaklardan doğar ve Kuzeydoğu-Güneybatı yönünde akar. Uzunköprü ilçesinin 40 km güneybatısında Meriç-Adasarhanlı köyü yakınlarında 7 m kotunda Meriç nehri ile birleşir.

Ergene nehri, Yıldız dağlarındaki membadan Çorlu deresi ile birleşme yerine kadar 91 km, Ergene nehri adını aldıktan sonra Meriç nehri ile birleştiği yere kadar 194 km olmak üzere toplam 285 km’dir. Ergene nehrinin en önemli kolları ise Çorlu deresi, Ana dere, Üsküp deresi, Şeytan deresi, Teke dere ve Hayrabolu deresidir. Ergene ve Tunca nehri ile birleşen Meriç nehri Saros körfezinden Ege denizine dökülür. Havza, 14560 km<sup>2</sup> alana sahiptir. Meriç nehrinin yıllık debisi 264.1 m<sup>3</sup>/s’dir. Havzada yıllık yağış yüksekliği 640 mm ve yıllık akış yüksekliği 85.9 mm’dir, yani yağışın %13 kadarı akışa geçer (Bayazıt, 1999).

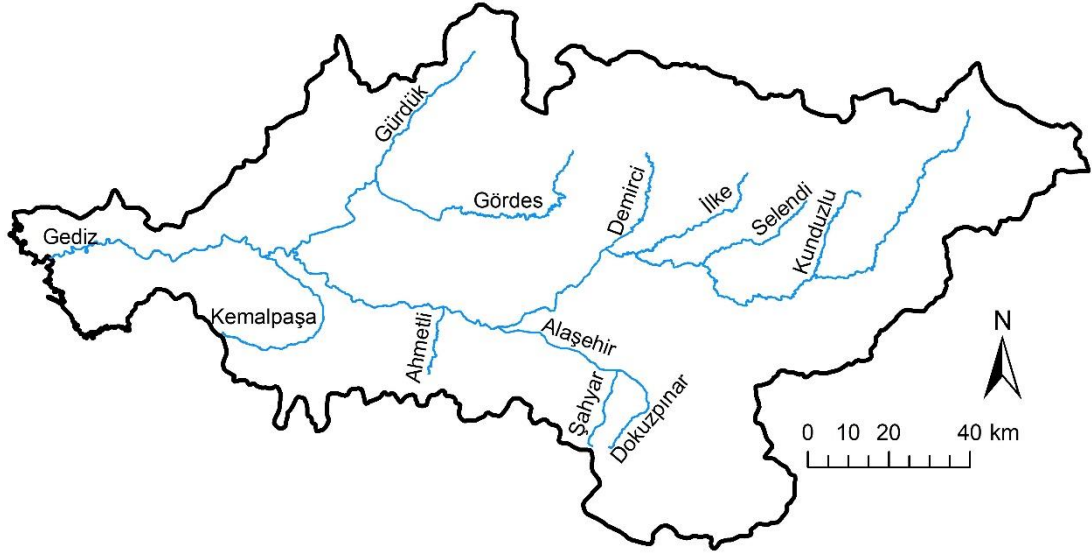


Şekil 5.3 : Meriç havzası akarsuları.

#### 5.1.4 Gediz Havzası

Gediz havzası, Türkiye'nin batısında Ege bölgesinde yer alan, sularını Gediz ve kolları vasıtasıyla Ege Denizi'ne boşaltan, Kuzey Ege, Susurluk ve Küçük Menderes havzaları arasındaki sahayı kaplayan bir akarsu havzasıdır. Havzaya adını veren Gediz nehri, Kütahya il sınırları içerisinde Murat ve Şaphane dağından doğarak havzanın kuzeyinden Kunduzlu, Selendi, İlke ve Demirci çayı, havzanın güneyinden Şahyar ve Dokuzpınar derelerinin beslediği Alaşehir ve Ahmetli çayı ile birleşir. Havza çıkışına doğru kuzeyden Gürdük ve Gördes, güneyden Kemalpaşa çayı ile birleşerek Foça ile Çamaltı Tuzlası arasından geçip İzmir körfezinden Ege denizine dökülür (Şekil 5.4).

Gediz havzası, 18000 km<sup>2</sup>'lik alana sahiptir. Gediz nehrinin ana kol uzunluğu 401 km'dir. Nehrin yıllık ortalama debisi ise 60.48 m<sup>3</sup>/s'dir. Yıllık yağış yüksekliği 639 mm ve yıllık akış yüksekliği 100.6 mm olan havzada yağışın %16'sı akışa geçer (Bayazıt, 1999).



Şekil 5.4 : Gediz havzası akarsuları.

## 5.2 Veri

Çalışma kapsamında kullanılan hidrometeorolojik veriler, havzada yer alan AGİ'lerin günlük akımı ve YGİ'lerin aylık toplam yağışıdır. Yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nden, akım verileri ise DSİ Genel Müdürlüğü'nden sağlanmıştır. Havzanın morfolojik karakteristikleri olan havza alanı ( $A$ ), havza en düşük ve en yüksek kot farkı ( $H$ ), havza eğimi ( $S$ ) ve havza drenaj yoğunluğu ( $d$ ) ise ücretsiz erişilebilen MERIT (*Multi-Error-Removed Improved-Terrain*) DEM verisi kullanılarak hesaplanmıştır. Aşağıda her bir veri detaylarıyla açıklanmıştır.

### 5.2.1 Akım

Çalışmada Seyhan, Ceyhan, Meriç ve Gediz havzalarında yer alan AGİ'lerin verisi kullanılmıştır. Öncelikle her bir havzada bulunan AGİ verisi için envanter çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda AGİ'lerin her bir yılındaki verisi eksik günler belirlenerek bu bilgiler ışığında değerlendirilmiş yıllar tablosu hazırlanmıştır (Çizelge 5.1-Çizelge 5.4). Eksik verisi bulunmayan yıllar X işaretiyle çizelgeye işlenmiştir. Eksik verisi bulunan yıllar ise mevcut verinin oranına göre dairenin içi doldurularak eksik olan yıl, ay ve gün bilgisi eklenmiştir. Çalışmada eksiksiz gözlemi bulunan yıllar ele alınmıştır.









Havzalarda mümkün olduğu kadar doğal akım kullanılabilmesi amacıyla membasında insan müdahalesi olan AGİ'ler değerlendirmeye alınmamıştır. Bunun için havzalarda inşa edilen veya inşa edilmekte olan baraj ve gölet gibi su yapıları belirlenerek inşaatın başladığı yıl ve sonrasındaki akım verileri kullanılmamıştır. İnşa öncesinde herhangi bir müdahale olmadığı kabul edilerek bu döneme ait veriler değerlendirilmiştir.

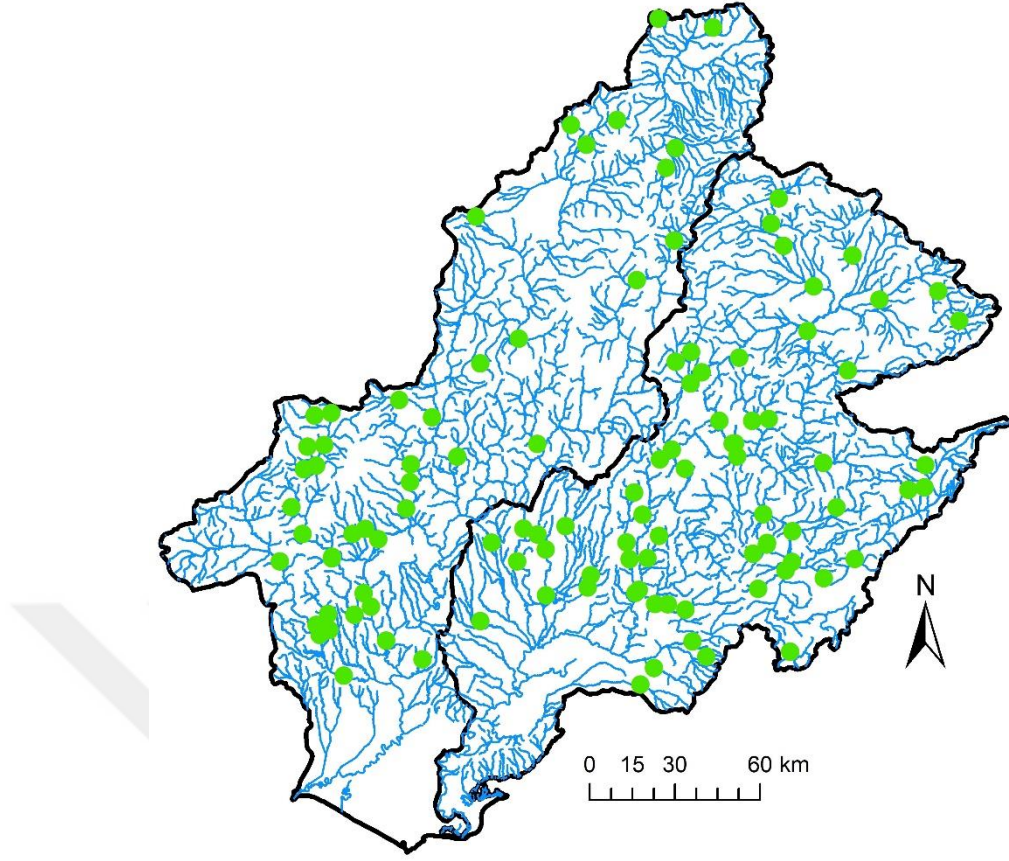
Bu çalışma üç kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım yıllık debi süreklilik çizgisi ile ilgilidir. Yıllık debi süreklilik çizgisi ile ilgili uygulamada gözlemi bulunan tüm AGİ'ler kullanılmış, yani bir yıl gözlemi bulunan olan bir AGİ bile hesaplara dahil edilmiştir. Çalışmanın ikinci ve üçüncü kısımlarında ise sırasıyla aylık ve günlük debi süreklilik çizgisi uygulaması gerçekleştirilmiş, burada en az on yıl gözlemi bulunan AGİ'ler kullanılmıştır. Buna karşın her bir AGİ'nin aynı gözlem periyodunda olması ve AGİ gözlemlerinin kesintisiz olması koşulu aranmamıştır. Dolayısıyla farklı gözlem periyotlarında en az on yıl sürekli gözlemi bulunan AGİ'lerin aylık ve günlük akım verileri kullanılmıştır.

Çalışmanın konusunun akım ölçümü olmayan akarsu havzaları olduğu göz önüne alındığında uygulamanın ana akarsular yerine yan kollarda yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Çünkü, akarsu ana kolları genellikle kurumamaktadır. Buna karşın ana akarsuları besleyen yan kollarda zaman zaman kurumalar gözlenebilir. Bu nedenle akım ölçümü olmayan akarsu havzaları olarak ana akarsuları besleyen yan akarsu kolları üzerindeki AGİ'ler kullanılmıştır.

Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulamasında toplam 109 AGİ kullanılmıştır (Şekil 5.5). Bunlardan 43'ü Seyhan ve 66'sı Ceyhan havzasından seçilmiştir. Kullanılan yıllık ortalama akım verileri ile ilgili bilgiler Çizelge 5.5'tedir. Buna göre, çoğunlukla Ceyhan havzasında olmak üzere yıllık debi süreklilik çizgisi uygulamasında toplam 1792 istasyon-yıl veri kullanılmıştır. Bu önemli bir miktar veriye karşı gelmektedir.

**Çizelge 5.5 : Yıllık akım verileri.**

Havza	AGİ sayısı	En kısa gözlem (yıl)	En uzun gözlem (yıl)	İstasyon-yıl
Seyhan	43	1	48	533
Ceyhan	66	1	60	1259
Toplam	109			1792



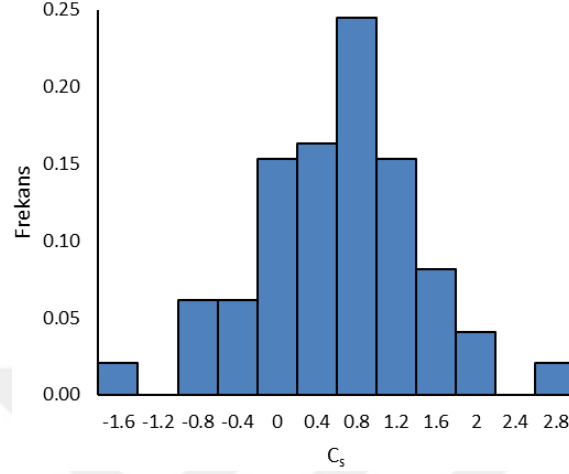
**Şekil 5.5 :** Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan AGİ'ler.

Seyhan ve Ceyhan havzalarının yıllık akım verilerinin istatistik özellikleri Çizelge 5.6'da verilmiştir. Yıllık akımların ortalaması Ceyhan havzasında daha yüksek olduğundan Ceyhan havzasının su potansiyeli Seyhan havzasından daha yüksektir. Minimum yıllık akımlar her iki havzada benzerdir ve yıllık ortalama akımların yarısı mertebesindedir. Bunun yanında Ceyhan havzasında minimum yıllık akımlar daha yüksektir. Maksimum yıllık akımlar ve çarpıklık katsayıları, Ceyhan havzasında Seyhan havzasına göre iki kat daha büyüktür, bu da havza akarsularının taşkına meyilli olduğunu göstermektedir. Her iki havzada yıllık akımların standart sapması farklı görünse de değişim katsayıları incelendiğinde havzalardaki yıllık akımların aynı değişkenliğe sahip olduğu söylenebilir.

Seyhan ve Ceyhan havzası yıllık akımlarının çarpıklık katsayılarının ( $C_s$ ) histogramı Şekil 5.6'daki gibidir. Buna göre yıllık akımların çoğunlukla sağa çarpık bir dağılıma sahip oldukları yani Seyhan ve Ceyhan havzası akımlarının taşkına meyilli bir karakterde olduğu görülmektedir. Seyhan ve Ceyhan havzasına ait yıllık akım verisinin AGİ bazında istatistiksel özellikleri Ek A'da Çizelge A.1 ve A.2'de verilmiştir.

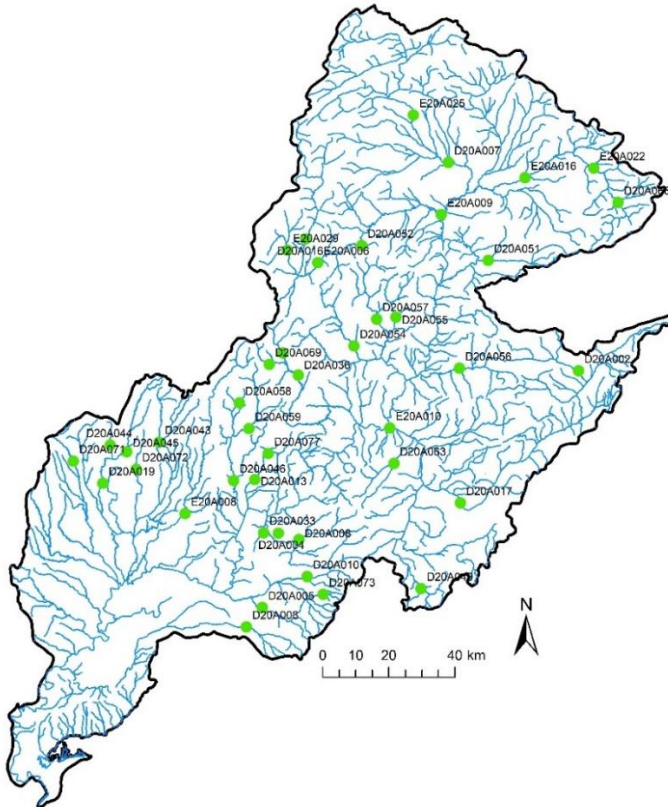
**Çizelge 5.6 :** Yıllık akımların istatistiksel özelliklerinin ortalamaları.

Havza	Ortalama (l/s-km <sup>2</sup> )	Min (l/s-km <sup>2</sup> )	Mak (l/s-km <sup>2</sup> )	St Sapma (l/s-km <sup>2</sup> )	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
Seyhan	12.1	6.33	19.6	4.30	0.390	0.256
Ceyhan	16.6	7.81	30.1	6.74	0.417	0.504



**Şekil 5.6 :** Yıllık akımların çarpıklık katsayılarının histogramı.

Aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasında Ceyhan havzasından 42 AGİ kullanılmıştır (Şekil 5.7). Aylık akım verisinin istatistik özellikleri Çizelge 5.7’de verilmiştir. AGİ’lerin toplam 13944 istasyon-ay verisi mevcuttur.



**Şekil 5.7 :** Aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan AGİ’ler.

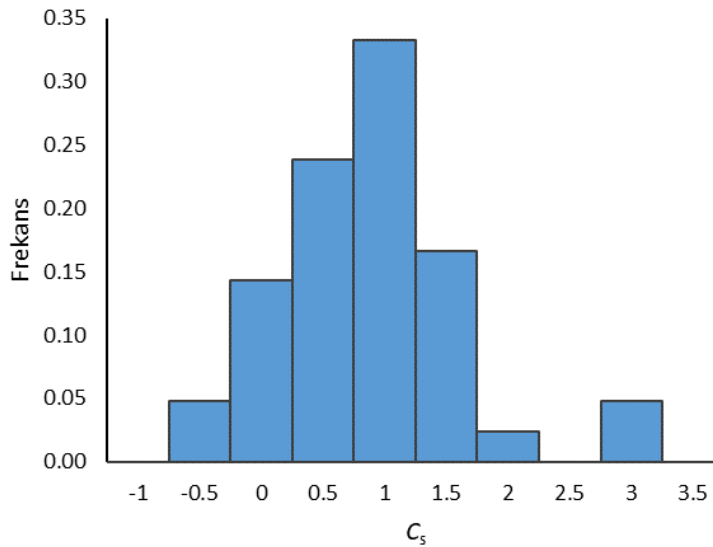
**Çizelge 5.7 :** Aylık akımların istatistiksel özelliklerinin ortalamaları.

Ortalama (l/s-km <sup>2</sup> )	Min (l/s-km <sup>2</sup> )	Mak (l/s-km <sup>2</sup> )	St Sapma (l/s-km <sup>2</sup> )	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
16.6	1.06	120	18.6	1.11	2.26

Aynı AGİ'lerin kullanılmasından dolayı aylık akımların ortalaması ile yıllık akımların ortalaması aynı hesaplanmıştır. Zaman ölçeğinde yıllıktan ayağına inildiğinden daha büyük taşkın debileri ve daha küçük düşük akım değerleri gözlenmiştir. Çarpıklık katsayısı artmış, dolayısıyla aylık akımlar sağa çarpık bir dağılıma uymuştur. Bu nedenle Ceyhan havzası aylık akımlarında çoğunlukla ortalamadan büyük değerler gözlenmiştir. Aylık akımların değişim katsayısı büyüdüğünden aylık akımlar yıllık akımlara göre daha değışkendir yani aylık akımların gözlem aralığı daha geniştir.

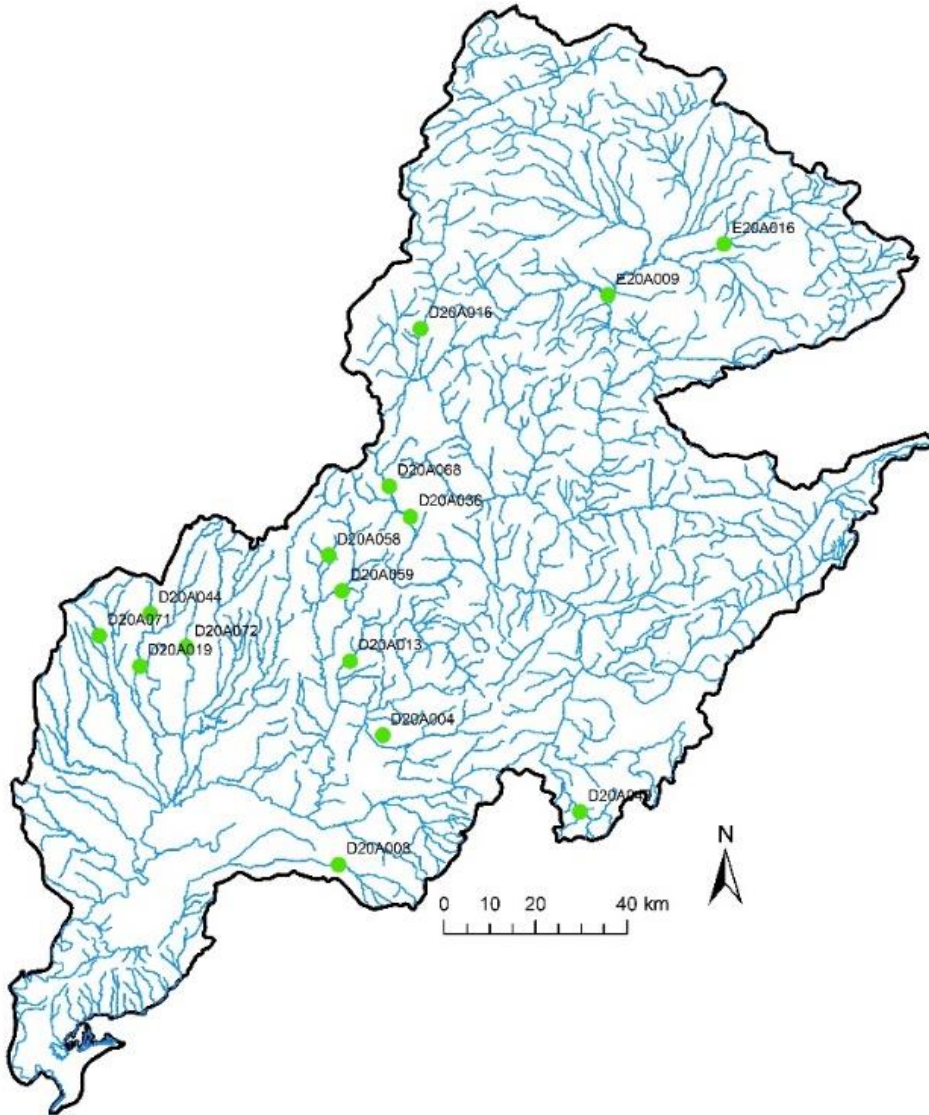
Yıllık zaman aralığından aylık zaman aralığına geçildiğinde en küçük ve en büyük akımların olduğu uç değerler daha iyi gözlenebilmiş ve havzadaki akımların özellikleri ortaya konmuştur. Aylık akım verilerinin çarpıklık katsayılarının (C<sub>s</sub>) histogramı Şekil 5.8'dedir. Histogramın sağa çarpık olması nedeniyle yıllık akımlarda olduğu gibi Ceyhan havzasının taşkına meyilli yapısı buradan gözlenebilir. Ceyhan havzasına ait aylık akım verisinin AGİ bazında istatistiksel özellikleri Ek A'da Çizelge A.3'te verilmiştir.

Ceyhan havzasında 10 AGİ gözlem süresi boyunca en az bir ay kurumuştur. Havzada 32 AGİ ise gözlem süresince hiç kurumamıştır. Kuruyan AGİ'lerde sıfır akımların tüm veriye oranı %0.21-16.67 aralığındadır. Buna göre Ceyhan havzası akarsularında aylık akımların kuruma oranları düşüktür.

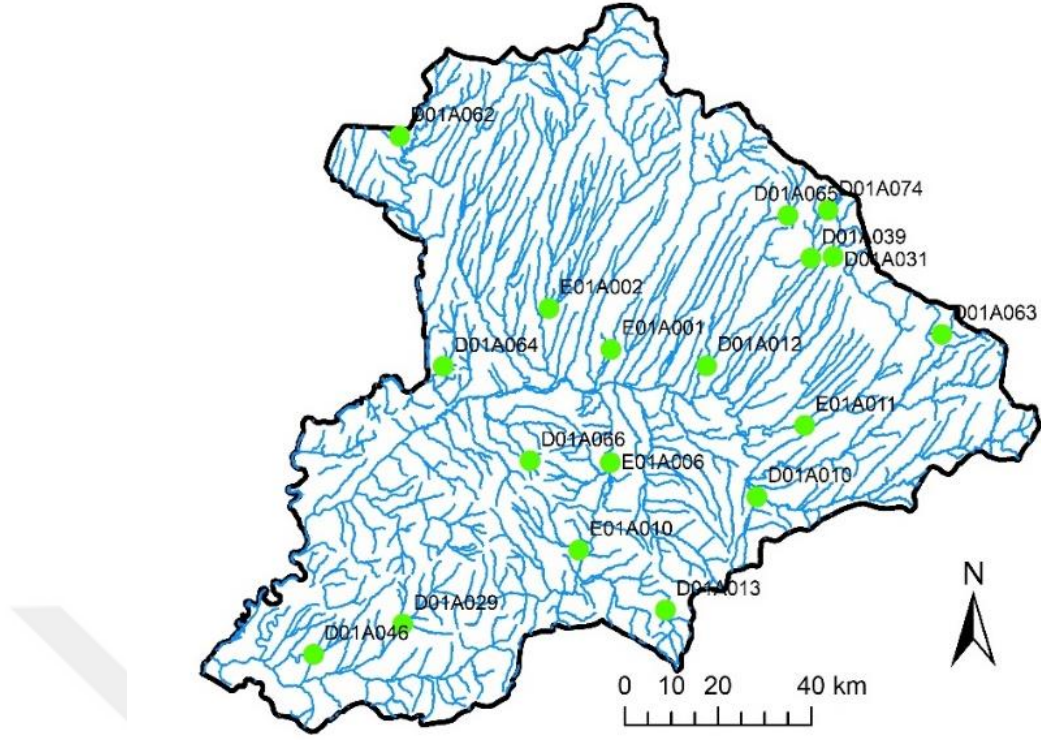


**Şekil 5.8 :** Aylık akımların çarpıklık katsayılarının histogramı.

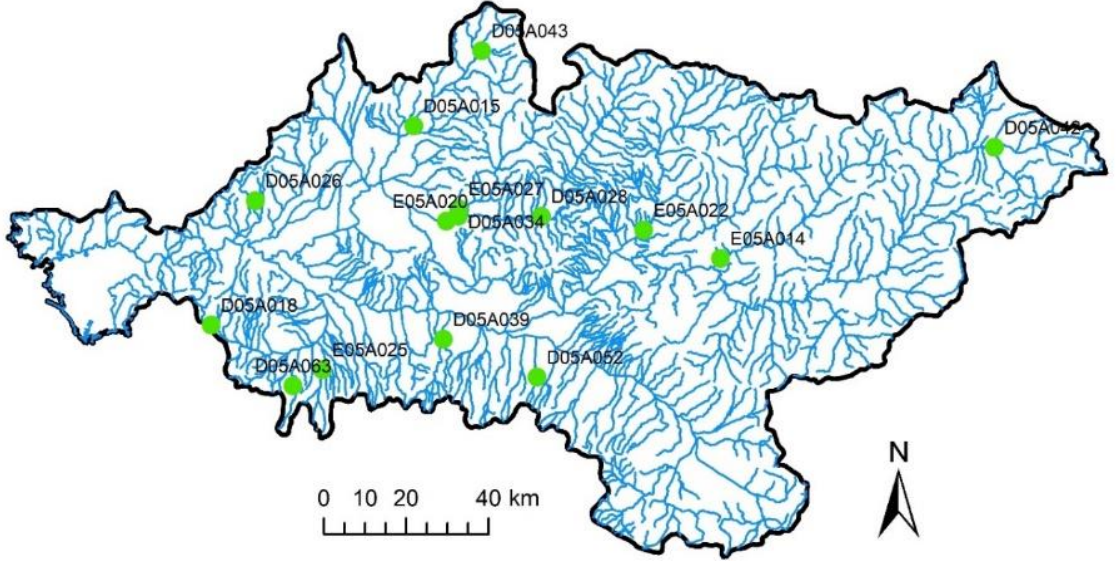
Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında ise sadece kuruyan akarsular dikkate alındığından Ceyhan havzasından 15 (Şekil 5.9), Meriç havzasından 18 (Şekil 5.10) ve Gediz havzasından 15 (Şekil 5.11) olmak üzere toplam 48 AGİ kullanılmıştır. Akım verileri, Ceyhan havzasında 1954-2015, Meriç havzasında 1961-2015 ve Gediz havzasında 1964-2015 dönemini kapsamaktadır. Her bir AGİ'deki en kısa gözlem tüm havzalarda 10 yıl ve en uzun gözlem Ceyhan, Meriç ve Gediz havzalarında sırasıyla 49, 50 ve 52 yıldır. Ceyhan havzasında 147825, Meriç havzasında 133225 ve Gediz havzasında 126290 istasyon-gün olmak üzere havzalarda günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında toplam 407340 istasyon-gün veri kullanılmıştır.



Şekil 5.9 : Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan Ceyhan havzası AGİ'leri.



**Şekil 5.10 :** Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan Meriç havzası AGİ'leri.



**Şekil 5.11 :** Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan Gediz havzası AGİ'leri.

Kullanılan günlük akım verisinin istatistik özellikleri Çizelge 5.8'de verilmiştir. Meriç ve Gediz havzası günlük akımlarının ortalaması aynı olmakla birlikte Ceyhan havzası günlük akımlarının ortalaması üç kat daha büyüktür. Ayrıca Ceyhan havzası günlük akımlarının ortalaması yıllık ve aylık akımların ortalamalarından biraz daha büyük hesaplanmıştır. Bunun nedeni yıllık ve aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasında

kullanılan AGİ'ler ile günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan AGİ'lerin farklı olmasıdır. AGİ'lerin sıfır akımlara sahip olmasının yanında havzadaki diğer AGİ'lerden daha büyük taşkın debilerine de sahip olduğu gözlenmiştir. Tüm havzalarda kuruyan akarsular ele alındığından minimum akım değerleri sıfırdır. Maksimum akım değerleri bakımından Ceyhan ve Meriç havzaları benzer karakterdedir ancak çarpıklık katsayısı ve standart sapma incelendiğinde Meriç ve Gediz havzalarının benzer mertebede olduğu görülmektedir. Buna göre Meriç ve Gediz havzalarındaki günlük akımların daha çok taşkına meyilli olduğu söylenebilir. Standart sapma ve değişim katsayılarının birbirine yakın olduğu Meriç ve Gediz havzalarında günlük akımlar benzer ancak Ceyhan havzasına göre daha yüksek değişkenliğe sahiptir.

**Çizelge 5.8 :** Günlük akımların istatistiksel özelliklerinin ortalamaları.

Havza	Ortalama (l/s-km <sup>2</sup> )	Min (l/s-km <sup>2</sup> )	Mak (l/s-km <sup>2</sup> )	St Sapma (l/s-km <sup>2</sup> )	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
Ceyhan	17.5	0.000	566	28.7	1.64	5.27
Meriç	5.86	0.000	579	16.6	3.10	12.9
Gediz	6.06	0.000	531	16.1	2.86	12.8

Günlük akımlarda mevsimsellik gözlenir ve gözlenen taşkın değerleri yıllık ve aylık akımlardan çok daha yüksektir. Meriç ve Gediz havzalarında gözlenen sıfır akımlı gün sayısı Ceyhan havzasından daha fazladır. Bunun yanında kuruma oranının yüksek olduğu Meriç havzasında ise diğer iki havzadan daha yüksek taşkın debisi gözlenmiştir. Ceyhan, Meriç ve Gediz havzasına ait günlük akım verisinin AGİ bazında istatistiksel özellikleri Ek A'da Çizelge A.4'te verilmiştir.

### 5.2.2 Yağış

Yağış verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Havzalara ait alansal yağış yüksekliği hesabı yöntem kısmında anlatılmıştır. Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulamasında yağış verisi olarak AGİ'lere en yakın YGİ değerleri alınmış, aylık ve günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında ise Thiessen yöntemi kullanılarak alansal yağış yükseklikleri hesaplanmıştır. Yağış verilerine ait değerlendirilmiş yıllar Çizelge 5.9-5.12'de, verilerin istatistik özellikleri ise Ek A'da Çizelge A.5'te verilmiştir.

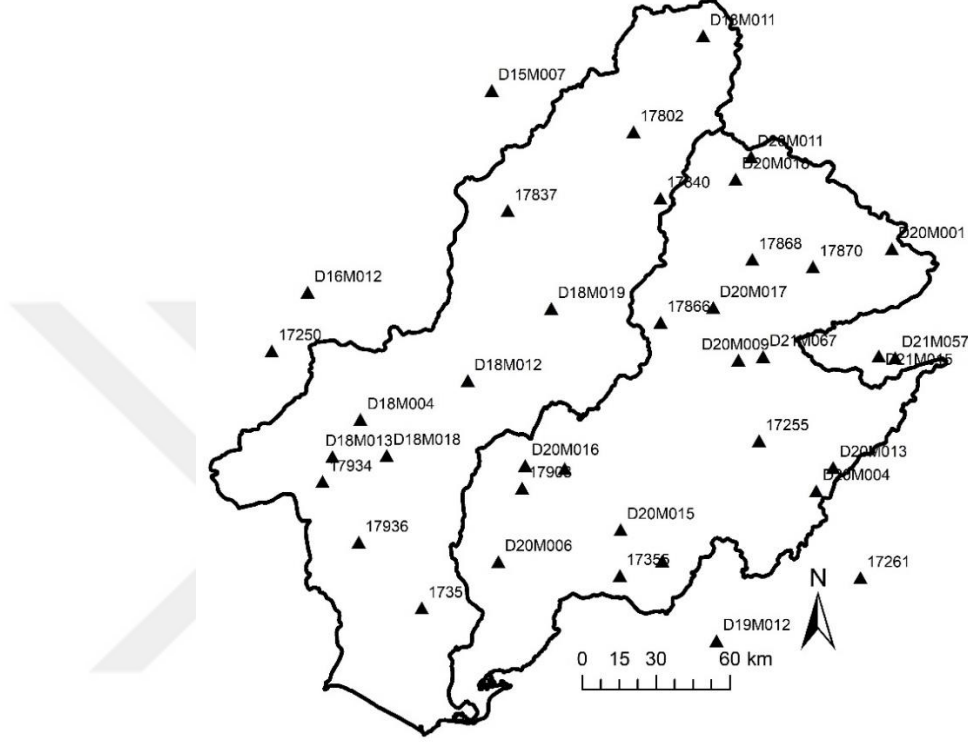








Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulamasında Seyhan ve Ceyhan havzalarında kullanılan YGİ'ler Şekil 5.12'de verilmiştir. Ceyhan havzasında yağış verileri Seyhan havzası yağış verilerinden daha büyüktür (Çizelge 5.13). Aylık uygulamada Ceyhan havzasında kullanılan YGİ'lerin yağış verileri ile yıllık uygulamada kullanılan veriler aynı mertebededir (Çizelge 5.14).



Şekil 5.12 : Seyhan ve Ceyhan havzalarındaki YGİ'lerin konumu.

Çizelge 5.13 : Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan havza karakteristiklerinin ortalamaları.

Havza	P (mm)	A (km <sup>2</sup> )	S
Seyhan	711	422	0.0471
Ceyhan	739	434	0.0423

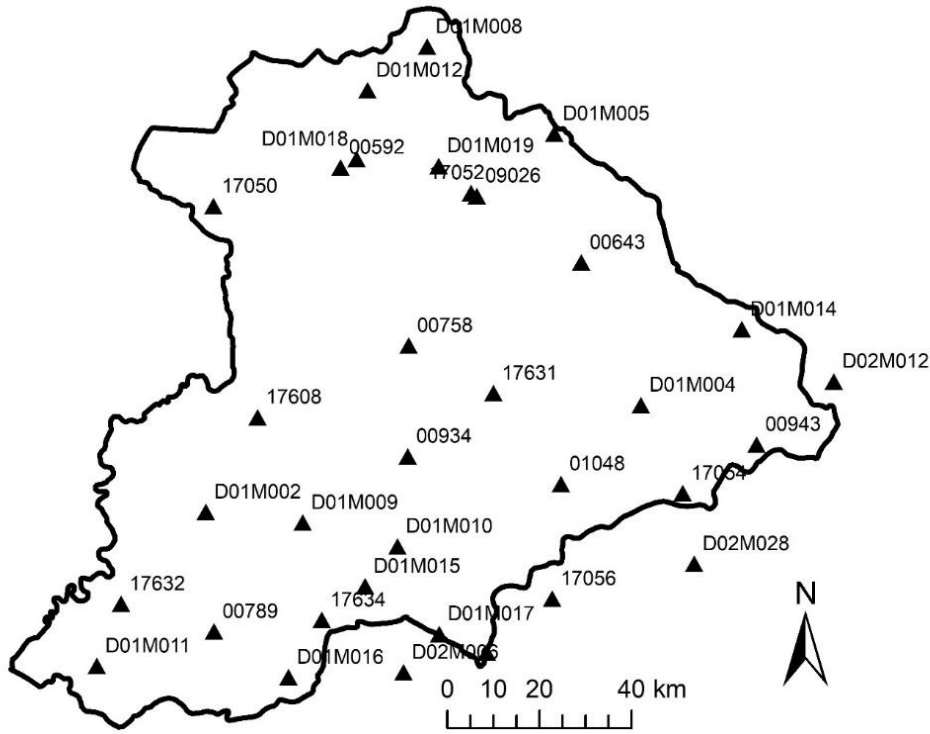
Çizelge 5.14 : Aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan havza karakteristiklerinin ortalamaları.

Havza	P (mm)	A (km <sup>2</sup> )	S
Ceyhan	742	393	0.0464

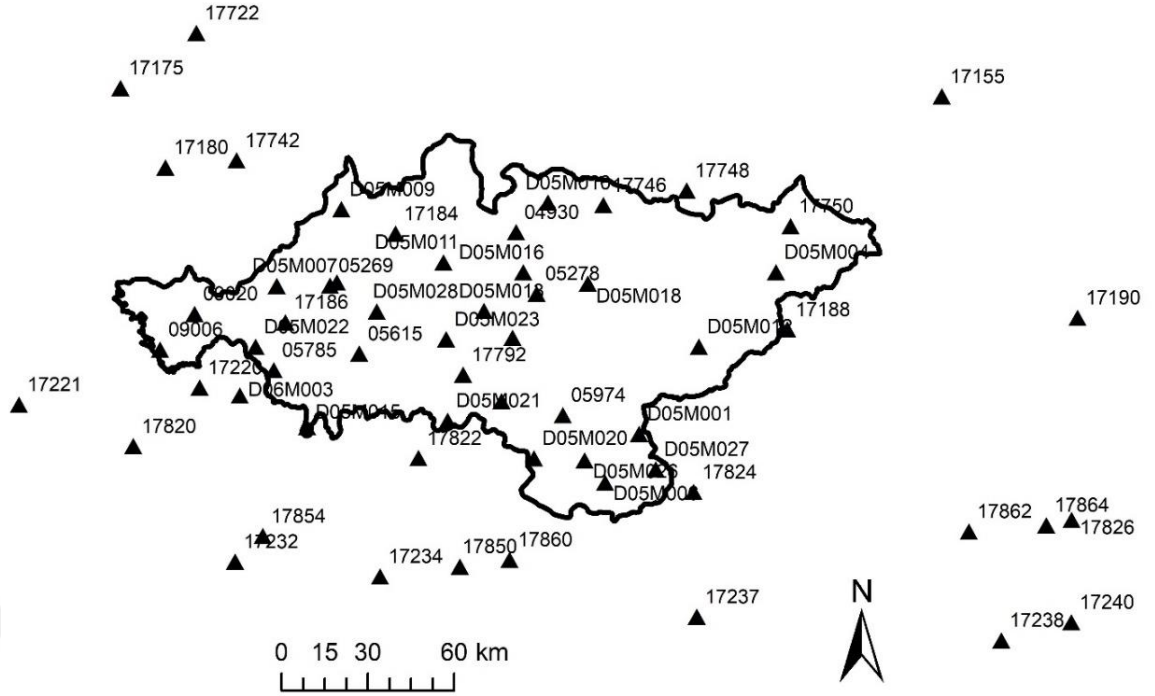
Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında Meriç ve Gediz havzalarındaki YGİ'lerin Thiessen çokgenleri oluşturularak havzaların alansal yağış yükseklikleri hesaplanmıştır. Meriç ve Gediz havzasındaki YGİ'ler Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te verilmiştir. Günlük zaman ölçeğindeki uygulamada Ceyhan havzasındaki yağış verileri aylık ve yıllık uygulamada kullanılan verilerden daha yüksek gözlenmiştir

(Çizelge 5.15). Bunun nedeni, kuruyan akarsuların çoğunlukla Ceyhan havzasının menbasında bulunması ve bu akarsuların akımlarının yağıştan beslenmesidir. Meriç havzasında ele alınan kuruyan akarsular ise daha çok havzanın mansabında yer almaktadır. Yağıştan daha az etkilenen bu akarsuların havzalarında yağışlar daha düşüktür. Diğer taraftan Gediz havzasında yağış verileri Ceyhan havzasıyla benzer özellik göstermiştir.

Havzalardaki yağış verileri benzer mertebede olmasına rağmen akarsular farklı kuruma noktalarına sahiptir. Bu durum, debi süreklilik çizgisindeki kuruma noktasına yağışın yanında diğer havza karakteristiklerinin de etki ettiğini gösterir. Bu nedenle kuruma noktası hesabında yağış ve havza karakteristiklerinden yararlanılmalıdır. Aynı durum yağış-akış ilişkisinde de geçerlidir, yani akım tahmininde yağışla beraber havza karakteristikleri de kullanılmıştır.



Şekil 5.13 : Meriç havzasındaki YGI'lerin konumu.



Şekil 5.14 : Gediz havzasındaki YGİ'lerin konumu.

Çizelge 5.15 : Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan havza karakteristiklerinin ortalamaları.

Havza	$P$ (mm)	$A$ (km <sup>2</sup> )	$H$ (m)	$S$	$d$
Ceyhan	795	261	1334	0.0459	0.0392
Meriç	599	286	458	0.0213	0.0531
Gediz	689	521	1181	0.0330	0.0303

### 5.2.3 Havza karakteristikleri

Havza karakteristikleri coğrafi bilgi sistemi destekli yazılım yardımı ile hesaplanmıştır. Çalışmada hesaplanan havza karakteristikleri;  $A$  havza alanı (km<sup>2</sup>),  $H$  havza kot farkı (m),  $S$  havzanın ortalama eğimi,  $d$  havza drenaj yoğunluğudur. Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulamasında ele alınan değişkenler  $A$  ve  $S$ 'dir. Aylık ve günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kullanılan değişkenler ise  $A$ ,  $H$ ,  $S$  ve  $d$ 'dir.

**a) Havza alanı:** AGİ'lere ait havza alanlarına DSİ'nin yayınladığı akım gözlem yıllıklarından ulaşılabilir. Kuruyan akarsular genellikle kurumayan akarsulara göre daha küçük havza alanına sahiptir. Yıllık, aylık ve günlük zaman ölçeğindeki debi süreklilik çizgisi uygulamasında akım, havza alanı ile ilişkili bir şekilde değişmektedir (Çizelge 5.13-Çizelge 5.15). Gediz havzasından alınan kuruyan bazı akarsulardaki

AGİ'ler Gediz nehrine bağlanan akarsuyun mansabına yakın bir noktada bulunduğundan bu AGİ'lerin havza alanları büyüktür.

**b) Havza kot farkı:** Havza kot farkı ( $H$ ) hesabında havzadaki en düşük kot olarak havza çıkış noktası alınmıştır. Havzadaki en yüksek kot belirlenerek aradaki fark hesaplanmıştır. Kot farkı, günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında bir değişken olarak kullanılmıştır. Ceyhan ve Gediz havzalarında benzer mertebede gözlenen kot farkı, Meriç havzasında kuruyan akarsuların havzanın yüksek kotlarında olmasından dolayı daha küçük gözlenmiştir (Çizelge 5.15). Kot farkının değişken mertebe ve aralıkta olması havzanın topografyasıyla ilişkilidir.

**c) Havza eğimi:** Havzadaki hidrolojik süreçlere havzanın eğimi önemli ölçüde etki eder. Havza eğiminin belirlenmesinde akarsu parçalara ayrılarak her bir parçanın eğimi bulunur, eğimlerin ortalaması alınarak havzanın ortalama eğimi hesaplanır. Seyhan havzasında topografyaya bağlı olarak havza eğiminin yüksek olduğu gözlenmiştir (Çizelge 5.13). Ayrıca Seyhan havzası kuzey bölgesinin dağlık olması ve güneye doğru ilerledikçe Çukurova'da deniz seviyesine inilmesi ile büyük havza eğimlerine rastlanmıştır. Ceyhan havzasında havza eğimi, Seyhan havzasından daha küçük gözlenmiştir (Çizelge 5.14). Ceyhan havzasında yıllık uygulamada kullanılan AGİ'lerden 10 yıldan daha kısa süreli gözlemi olanlar aylık uygulamada göz önünde bulundurulmamıştır. Aylık uygulamada kullanılan AGİ'lerden kuruma gözlenmeyenler günlük uygulamada hesaba katılmamıştır. Yani yıllık, aylık ve günlük uygulamada farklı sayıda AGİ ile çalışılmıştır. Bu nedenle, Ceyhan havzasında havza eğimi kullanılan AGİ'lere bağlı olarak her bir zaman ölçeğinde ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yine de bu havzada yıllık, aylık ve günlük uygulamada kullanılan havza eğimi önemli bir değişim göstermemiştir. Günlük uygulamada havzalar arasında karşılaştırma yapıldığında ise Meriç ve Gediz havza eğimlerinin nispeten daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 5.15).

**d) Havza drenaj yoğunluğu:** Drenaj yoğunluğu,  $\text{km}^2$ 'ye düşen ortalama akarsu uzunluğu olarak tanımlanır ve havzadaki yan kolların toplam uzunluğunun havza alanına bölünmesiyle elde edilir. Havza drenaj yoğunluğu, havza kot farkı ve havza eğimi ile ilişkilidir. Bu nedenle, Meriç havzasında daha büyük drenaj yoğunluğu gözlenmiştir (Çizelge 5.15).

## 6. YILLIK DEBİ SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ

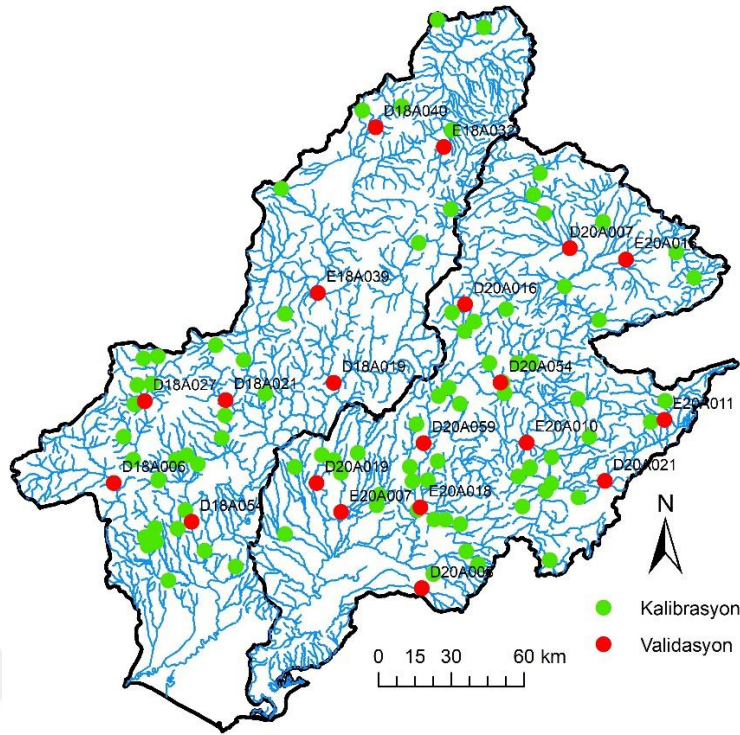
### 6.1 Giriş

Debi süreklilik çizgisinin %30-60 aralığındaki aşılma yüzdesinde yani yaklaşık orta bölgesinde yıllık, aylık ve günlük debi süreklilik çizgisi birbirine yakındır. Bu nedenle bu aşılma yüzdesi aralığında kalan özellikle %50 aşılma yüzdesindeki medyan debi değerini ( $Q_{50}$ ) belirlemek havzanın ortalama su potansiyelini hesaplamak açısından önemlidir.  $Q_{50}$ 'nin belirlenmesi amacıyla yıllık debi süreklilik çizgisinin kullanılması yeterlidir. Bunun yanında düşük akım ve taşkın çalışmalarında debi süreklilik çizgisinin yüksek (%95-100) ve düşük aşılma yüzdesinin (%0-5) belirlenmesi gerekir.

Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulaması için Seyhan havzasından 43 ve Ceyhan havzasından 66 olmak üzere toplam 109 AGİ kullanılmış; bunların yaklaşık %20'sine karşı gelen 20 AGİ validasyon, kalan 89 AGİ kalibrasyon için ayrılmıştır. Kalibrasyon AGİ'lerinin 35'i Seyhan ve 54'ü Ceyhan havzasına aittir (Çizelge 6.1, Şekil 6.1). Validasyon AGİ'lerinin ise 8'i Seyhan ve 12'si Ceyhan havzasına aittir. Validasyon amacıyla seçilen AGİ'lerin kısa ve uzun gözlem süreleri kalibrasyon AGİ'lerinin gözlem süresi içinde kalmaktadır. Kullanılan veri kalibrasyon aşamasında 1452 ve validasyon aşamasında 340 istasyon-yıldan oluşmakta, toplamı 1792 istasyon-yıl gibi önemli bir veri kümesine karşı gelmektedir.

**Çizelge 6.1 : Kullanılan yıllık akım verileri.**

	Havza	AGİ sayısı	En kısa gözlem (yıl)	En uzun gözlem (yıl)	İstasyon-yıl
Kalibrasyon	Seyhan	35	1	48	443
	Ceyhan	54	1	60	1009
Ara toplam		89			1452
Validasyon	Seyhan	8	5	17	90
	Ceyhan	12	3	49	250
Ara toplam		20			340
Toplam		109			1792



**Şekil 6.1 :** Yıllık uygulamada kullanılan kalibrasyon ve validasyon AGİ'leri.

Yıllık akım verilerinin istatistiksel özellikleri incelendiğinde (Çizelge 6.2) validasyon amacıyla ayrılan AGİ'lerin ortalama, maksimum ve minimum akımları kalibrasyon için seçilen AGİ'lerdeki değerlerin civarında bulunmuştur. Standart sapma ve değişim katsayılarına göre her iki aşamada seçilen AGİ'lerin akımları aynı değişkenliği göstermiştir. Validasyon AGİ'lerinin akımlarında kalibrasyon AGİ'lerine göre Ceyhan havzasında çarpıklık katsayısı bir miktar artmış, Seyhan havzasında ise sıfır civarında bulunmuştur. Çarpıklık katsayıları 0-1 aralığında değiştiğinden akımların dağılımı sağa çarpıktır.

**Çizelge 6.2 :** Kullanılan yıllık akım verilerinin istatistiksel özelliklerinin ortalamaları.

	Havza	Ortalama (l/s-km <sup>2</sup> )	Min (l/s-km <sup>2</sup> )	Mak (l/s-km <sup>2</sup> )	St Sapma (l/s-km <sup>2</sup> )	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
Kalibrasyon	Seyhan	12.5	6.40	20.6	4.61	0.410	0.340
	Ceyhan	16.9	8.42	30.1	6.62	0.400	0.441
Validasyon	Seyhan	10.7	6.01	15.4	3.07	0.311	-0.079
	Ceyhan	14.9	5.07	30.1	7.21	0.486	0.743

Ortalama debi tahmininde kullanılan havza karakteristiklerinin istatistiksel özellikleri Çizelge 6.3'te verilmiştir. Yağış, her iki havzada kalibrasyon ve validasyon aşamalarında benzerdir. Validasyon AGİ'lerinin havza alanları kalibrasyon AGİ'lerine göre daha büyüktür. Bunun nedeni, validasyon aşamasında kullanılan

AGİ'ler sayıca az olmakla birlikte büyük alana sahip AGİ'ler ağırlıktadır. Havza eğimi incelendiğinde kalibrasyon AGİ'lerinin daha büyük havza eğimine sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, validasyon için seçilen AGİ'lerin çoğunlukla havzaların mansabına yakın akarsularda bulunduğu anlaşılmaktadır.

**Çizelge 6.3 :** Yıllık uygulamada kullanılan havza karakteristiklerinin istatistiksel özellikleri.

	Havza	$P$ (mm)	$A$ (km <sup>2</sup> )	$S$
Kalibrasyon	Seyhan	706	368	0.0494
	Ceyhan	741	344	0.0451
Validasyon	Seyhan	735	661	0.0372
	Ceyhan	734	840	0.0298

## 6.2 Uygulama

**a) Boyutsuzlaştırma:** Öncelikle her bir AGİ'nin günlük akımlarından yıllık ortalama akımlar hesaplanmıştır. Elde edilen yıllık ortalama akım değerleri, (3.1) denklemi kullanılarak boyutsuz hale getirilmiştir. Bu işlem için kalibrasyon aşamasında 1452 istasyon-yıl boyutsuz debi kullanılmıştır. Örnek olarak; Seyhan havzasından D18A005 no.lu AGİ için yapılan boyutsuzlaştırma işlemi Çizelge 6.4'te verilmiştir. Bu AGİ'de gözlem süresi 8 yıldır.

**Çizelge 6.4 :** D18A018 no.lu AGİ'de boyutsuzlaştırma işlemi.

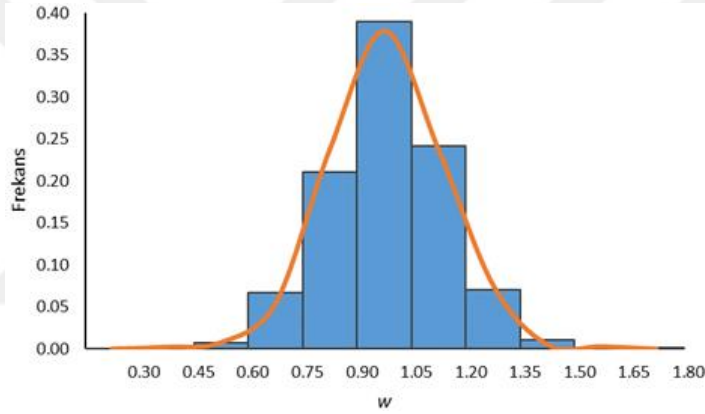
Yıl	$Q$	$q$
1961	10.947	0.736
1964	8.355	0.562
1966	13.546	0.911
1967	17.719	1.191
1968	16.413	1.103
1969	26.546	1.784
1970	12.252	0.824
1971	13.234	0.890
$\bar{Q}_g$ (m <sup>3</sup> /s)	14.877	

**b) Normalleştirme:** Bu aşamada boyutsuz hale getirilen debi değerlerinin dağılımı normal dağılıma uygun hale getirilmiştir. Bunun için boyutsuz debi değerleri  $\theta = 0.405$  alınarak denklem (3.2)'deki dönüşümle normal dağılıma uydurulmuştur. Çizelge 6.5'te D18A005 no.lu AGİ için örnek olarak hazırlanan normalleştirilmiş boyutsuz debi değerleri verilmiştir. Normal dağılıma uygunluk kontrolü yapıldığında boyutsuz debi ( $w$ ) değerlerinin normal dağılıma uyduğu Şekil 6.2'deki histogramdan

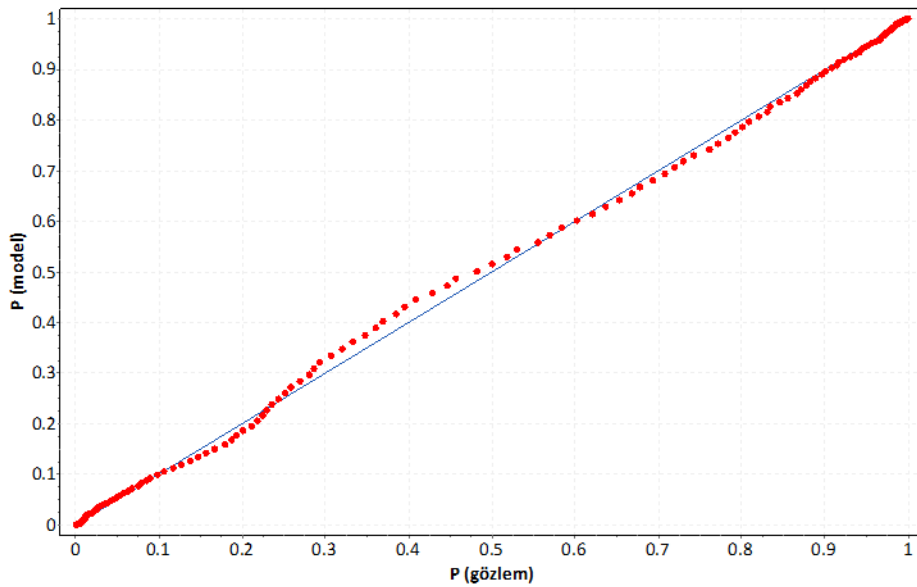
da görülebilir. Histogramın en büyük frekans değeri 0.39 olarak 0.90-1.05 aralığındadır. Ayrıca Şekil 6.3'te çift olasılık çizgisinde bulunan eklenik olasılık değerleri 1:1 çizgisi üzerindedir.  $\bar{w}/w_{50}$  oranı 0.993 olarak hesaplanmıştır. Bu oranın 1'e çok yakın olmasından dolayı verilerin simetrik dağıldığı anlaşılmıştır.

**Çizelge 6.5** : D18A018 no.lu AGİ'de normalleştirme işlemi.

Yıl	$q$	$w$
1961	0.736	0.883
1964	0.562	0.792
1966	0.911	0.963
1967	1.191	1.073
1968	1.103	1.041
1969	1.784	1.264
1970	0.824	0.924
1971	0.890	0.954



**Şekil 6.2** : Yıllık uygulamada boyutsuz debi değerlerinin histogramı.



**Şekil 6.3** : Yıllık uygulamada boyutsuz debilerin çift olasılık çizgisi.

Normal dağılım kontrolü için uygulanan  $\chi^2$  testinde ilk önce verilerin sınıf aralıklarının belirlenmesi gerekir. Bu uygulamada  $w$  değerleri 0.322-1.768 aralığında değiştiğinden sınıf aralıkları, 0.3-1.8 arasında 0.15'lik artışlarla 10 aralık oluşacak şekilde ayarlanmıştır. Bu sınıf aralıklarına göre  $w$  değerleri için hesaplanan eklenik frekans ile teorik eklenik frekans arasındaki farklar belirlenmiştir. Serbestlik derecesi 1449 için  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde  $\chi^2_{\alpha} = 1538.67 > \chi^2_c = 46.23$  olduğundan  $w$  değerlerinin normal dağılıma uygun olduğu  $\chi^2$  testi ile anlaşılmıştır.

**c) Normal kuantillerin hesabı:** Normalleştirilen boyutsuz debi ( $w$ ) değerlerinin ortalaması ve standart sapması yani normal dağılım parametreleri bilindiğinden herhangi bir kuantile karşı gelen, yani  $D$  aşılma yüzdesine karşı gelen boyutsuz debi ( $w_D$ ) değeri (3.7) denklemi ile elde edilir. Örneğin;  $D = \%25$  aşılma yüzdesinde boyutsuz debi ( $w_D$ ) değeri (3.7) denklemi yardımıyla 1.09 hesaplanmıştır. Çizelge 6.6'da %0-100 aralığında %5 artışla kuantillere karşı gelen boyutsuz debi ( $w_D$ ) değerleri belirlenmiştir.

**Çizelge 6.6 :** Yıllık uygulamada normal kuantillerin hesaplanması.

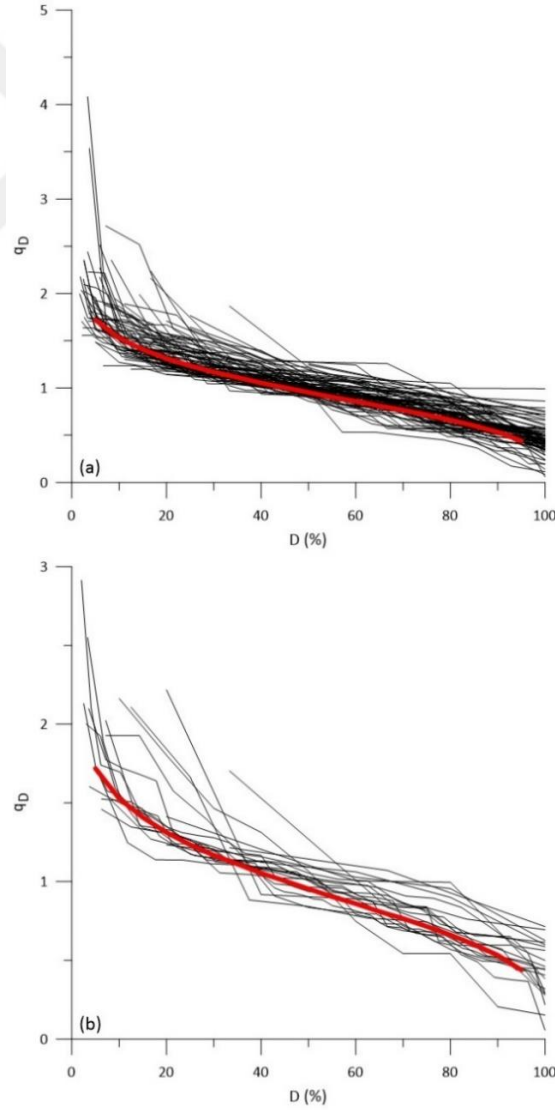
$D$ (%)	$z_D$	$w_D$	$D$ (%)	$z_D$	$w_D$
5	1.64	1.25	55	-0.13	0.96
10	1.28	1.19	60	-0.25	0.94
15	1.04	1.15	65	-0.39	0.92
20	0.84	1.12	70	-0.52	0.90
25	0.67	1.09	75	-0.67	0.87
30	0.52	1.06	80	-0.84	0.85
35	0.39	1.04	85	-1.04	0.81
40	0.25	1.02	90	-1.28	0.77
45	0.13	1.00	95	-1.64	0.72
50	0.00	0.98			

**d) Boyutsuz kuantillerin ters dönüşümü:** Normal dağılım kullanılarak belirlenen kuantillerde hesaplanan boyutsuz debileri orjinal dağılımına dönüştürmek için (3.8) denklemindeki ters dönüşüm kullanılmıştır (Çizelge 6.7). Örnek olarak yine  $D = \%25$  aşılma yüzdesinde boyutsuz debi ( $q_D$ ) değeri (3.8) denklemi yardımıyla 1.23 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen ve gözlenen boyutsuz debi süreklilik çizgileri Şekil 6.4'te verilmiştir. Şekil 6.4a'da kalibrasyon AGİ'lerinin gözlenen ve hesaplanan boyutsuz debi süreklilik çizgileri verilmiştir. Boyutsuz debi süreklilik çizgisi, gözlenen boyutsuz debi süreklilik çizgilerinin sınırları içerisinde kalmıştır. Ayrıca gözlenen boyutsuz debi süreklilik çizgilerinde özellikle küçük aşılma yüzdesinde büyük değerler vardır. Şekil

6.4b’de ise validasyon AGİ’lerinin gözlenen ve hesaplanan boyutsuz debi süreklilik çizgileri verilmiştir. Hesaplanan boyutsuz debi süreklilik çizgisi, validasyon AGİ’lerinin gözlenen boyutsuz debi süreklilik çizgilerini iyi temsil etmiştir.

**Çizelge 6.7 :** Yıllık uygulamada boyutsuz kuantillerin ters dönüşümü.

$D$ (%)	$w_D$	$q_D$	$D$ (%)	$w_D$	$q_D$
5	1.25	1.72	55	0.96	0.90
10	1.19	1.53	60	0.94	0.86
15	1.15	1.41	65	0.92	0.81
20	1.12	1.31	70	0.90	0.76
25	1.09	1.23	75	0.87	0.72
30	1.06	1.17	80	0.85	0.66
35	1.04	1.11	85	0.81	0.60
40	1.02	1.05	90	0.77	0.53
45	1.00	1.00	95	0.72	0.44
50	0.98	0.95			



**Şekil 6.4 :** Boyutsuz debi süreklilik çizgileri (a) kalibrasyon (b) validasyon.

e) **Ortalama debi hesabı:** Uzun dönem ortalama debi hesabında havza karakteristiklerinden yararlanılmıştır. Özellikle havza alanı ve ortalama debi arasında iyi bir ilişki olduğu bilinmektedir ancak bu çalışmada ortalama debi hesabı için havza alanının tek başına alınmasının yeterli olmadığı düşünülmüştür. Bu nedenle yıllık ölçekte yapılan ortalama debi tahmininde havza alanının yanında yağış ve havza eğimi de değişken olarak kullanılmıştır. Yapılan uygulama sonrasında birbirine alternatif olmak üzere,

$$\bar{Q}_m = 0.0493A^{0.768} \quad (6.1)$$

$$\bar{Q}_m = 0.000225A^{0.750}P^{0.838} \quad (6.2)$$

$$\bar{Q}_m = 0.000378(AP)^{0.755} \quad (6.3)$$

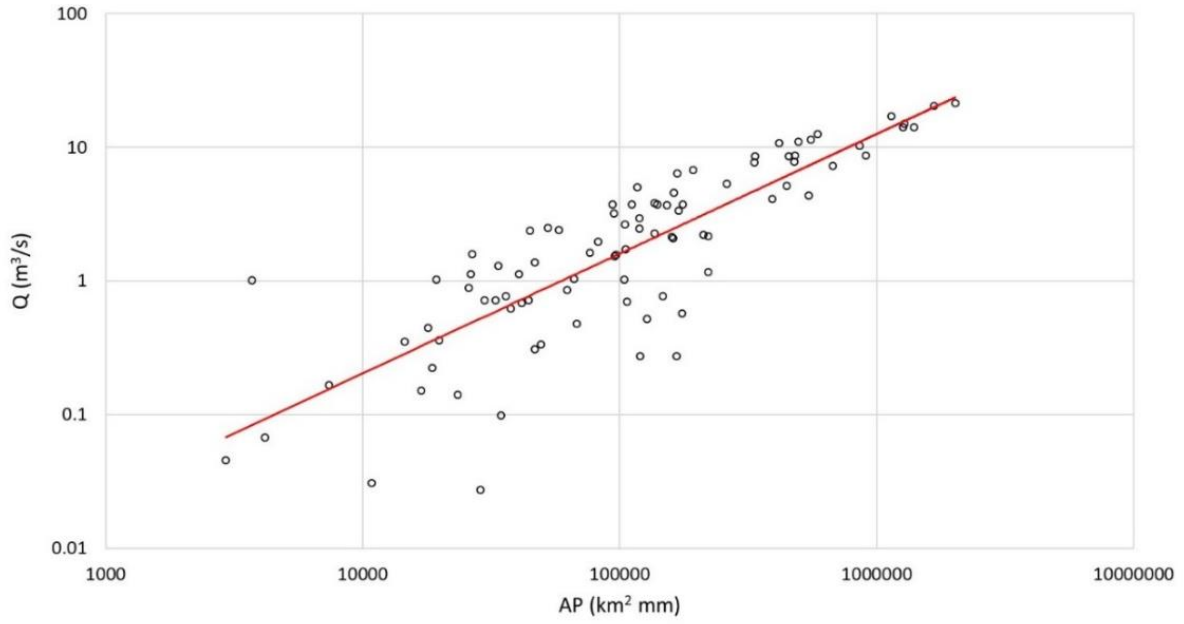
$$\bar{Q}_m = 0.0901A^{1.017}S^{0.606} \quad (6.4)$$

$$\bar{Q}_m = 0.000332(AP)^{0.813}S^{0.175} \quad (6.5)$$

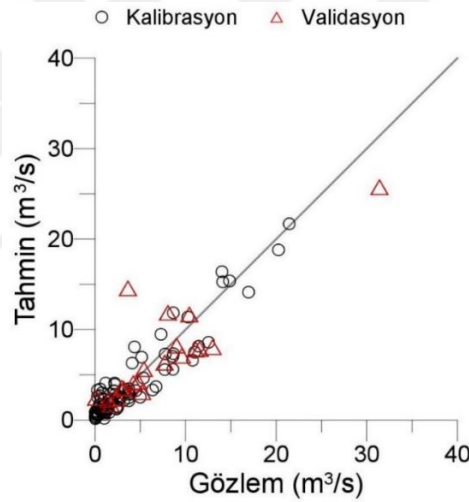
denklemleri geliştirilmiştir. Denklemlerin performansını incelemek amacıyla determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) hesaplanmıştır (Çizelge 6.8). Bu ölçütlere göre en başarılı sonucu (6.2) denklemi vermekle birlikte ortalama debi ve değişken arasındaki ilişkiyi doğrusal olarak inceleyebilmek ve değişken sayısını azaltmak için (6.2) denklemine çok yakın tahmin veren (6.3) denklemi tercih edilmiştir. Şekil 6.5'te denklem (6.3)'ün ortalama akımlar ile olan uyumu görülmektedir. Denklem (6.3) ile tahmin edilen ve gözlenen ortalama debiler Şekil 6.6'da karşılaştırılmış, tahmin edilen ortalama debi değerlerinin gözlem verilerine yakın çıktığı görülmüştür.

**Çizelge 6.8 :** Yıllık uygulamada ortalama debi denklemlerinin değerlendirme ölçütleri.

	Ölçüt	Denklem				
		(6.1)	(6.2)	(6.3)	(6.4)	(6.5)
Kalibrasyon	$R^2$	0.815	0.883	0.882	0.868	0.889
	RMSE	2.025	1.612	1.616	1.712	1.571
	MAE	1.380	1.209	1.217	1.180	1.165
Validasyon	$R^2$	0.629	0.738	0.733	0.555	0.702
	RMSE	4.115	3.414	3.434	4.576	3.634
	MAE	3.055	2.209	2.262	3.187	2.256



Şekil 6.5 :Yıllık uygulamada havza alanı-yağış ile ortalama debi ilişkisi.



Şekil 6.6 :Yıllık uygulamada tahmin edilen ve gözlenen ortalama debiler.

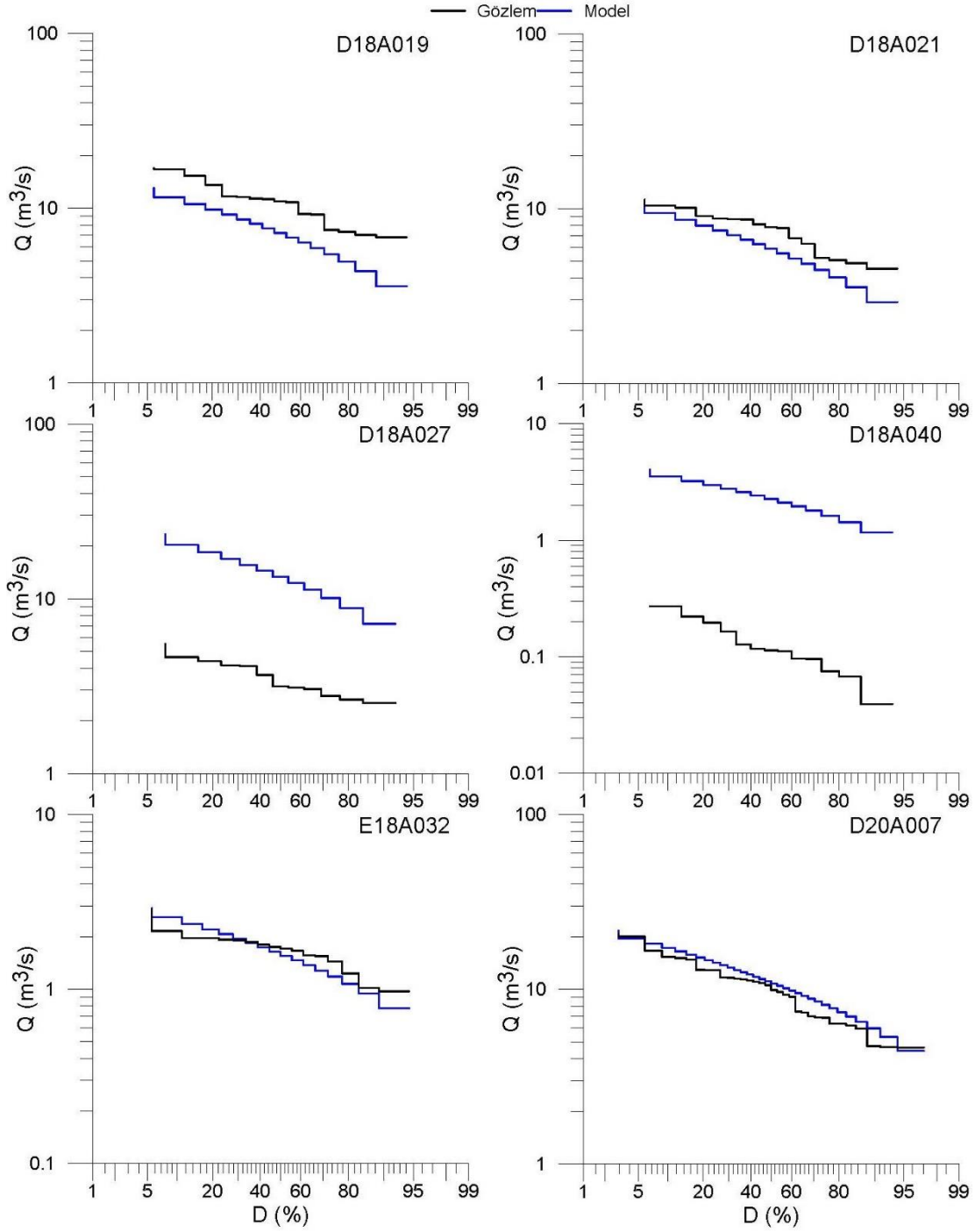
**f) Boyutlu kuantillerin hesabı:**  $D$  aşılma yüzdelere karşı gelen boyutsuz debi değerleri (a-d) adımlarında açıklandığı üzere hesaplanabilir. Bir önceki adımda havza karakteristiklerinden geliştirilen (6.3) denklemi ile ortalama debi tahmin edilmiştir. Bu şekilde Seyhan ve Ceyhan havzalarında akım ölçümü olmayan bir alt havzada ortalama debi tahmini mümkündür. Yani Seyhan ve Ceyhan havzalarında akım ölçümü olmayan herhangi bir alt havzada herhangi bir aşılma yüzdesindeki debi değeri ( $Q_D$ ) (3.10) denklemi ile hesaplanarak alt havzanın yıllık debi süreklilik çizgisi çizilebilir.

Seyhan ve Ceyhan havzalarında validasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri Şekil 6.7'de, kalibrasyon AGİ'lerinin debi süreklilik çizgileri de Ek B'de Şekil B.1'de verilmiştir.

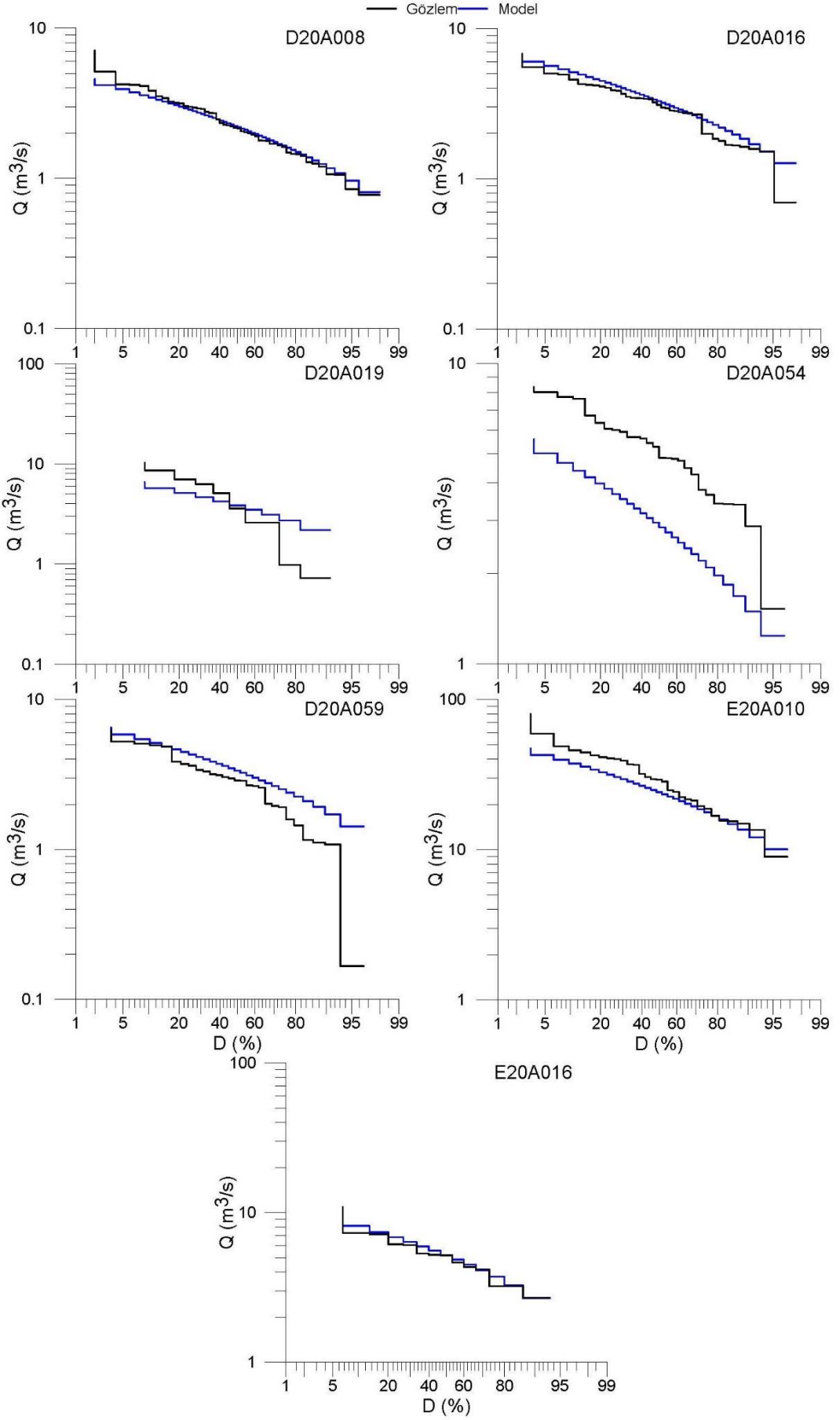
Çizelge 6.9'da validasyon AGİ'lerinin debi süreklilik çizgisinin kuantillerini değerlendirmek amacıyla değerlendirme ölçütleri hesaplanmıştır. Çizelge 6.10'da ise tüm kuantiller için AGİ bazında hesaplanan diğer değerlendirme ölçütleri elde edilmiştir. Çizelge 6.9 ve 6.10'a göre D18A027 ve D18A040 AGİ'lerinin hatalarının yüksek olduğu görülmektedir. Bu iki AGİ çok düşük akımlara sahiptir. Hatanın yüksek olması bu AGİ'lerin akımının düşük olmasına bağlanabilir. Çünkü, Seyhan ve Ceyhan havzalarında alınan AGİ'lerin akımları genellikle yüksektir. Dolayısıyla havzada akımları düşük olan AGİ'lerde böyle bir durum beklenebilir. Akım ölçümü olmayan bir havzada uygulama yapıldığı hesaba katıldığında elde edilen sonuçların kabul edilebilir mertebede olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada Seyhan ve Ceyhan havzaları bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Seyhan ve Ceyhan havzaları her ne kadar birbirine komşu olsa da akımları açısından birbiriyle farklılıkları tespit edilmiştir. Seyhan havzasında akım değerleri daha yüksektir. Ayrıca Seyhan havzasından alınan AGİ'lerin tamamı günlük zaman ölçeğine inildiğinde bile kuruyan nitelikte değildir. Buna karşın Ceyhan havzasında bazı akarsular günlük hatta aylık ölçekte kuru kalmıştır.

Bu çalışmanın başlangıç noktası olan yıllık uygulamada AGİ sayısını fazla tutmak amacıyla iki havza birlikte ele alınmıştır. Çalışmanın sonraki adımı olan aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasına (Bölüm 7) Ceyhan havzası ile devam edilmiştir.



Şekil 6.7 : Validasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri.



Şekil 6.7 (devam) : Validasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri.

**Çizelge 6.9 :** Validasyonda boyutlu kuantiller için hesaplanan rölatif hata değerleri.

Havza	AGİ No	RE (%)								
		Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>30</sub>	Q <sub>40</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>60</sub>	Q <sub>70</sub>	Q <sub>80</sub>	Q <sub>90</sub>
Seyhan	D18A006		46.42	40.68	37.92	28.35	19.04	14.65	7.98	4.49
	D18A019	-28.87	-31.55	-24.49	-28.36	-33.82	-38.18	-35.46	-34.24	-42.27
	D18A021	-9.43	-15.67	-15.79	-22.87	-25.32	-29.61	-26.98	-22.58	-32.22
	D18A027	316.2	321.54	300.12	272.19	279.48	297.86	261.85	233.86	189.8
	D18A040	1281.85	1290.2	1409.64	1711.49	1890.47	1769.15	1791.24	1671.42	1746.35
	D18A054		-2.79	-10.78	-16.9	-20.27	-23.56	-29.51	-36.78	-38.44
	E18A032	11.16	15.22	4.86	-2.95	-7.32	-12.62	-16.31	-23.07	-21.36
	E18A039		39.71	34.15	31.43	29.81	28.74	15.03	-0.18	16.11
Ceyhan	D20A007	9.73	12.1	15.12	8.13	3.85	6.84	21.83	15.46	3.03
	D20A008	-13.34	-3.59	-6.61	-3.94	1.89	1.83	2.34	4.67	-0.02
	D20A016	7.92	9.65	5.83	6.63	2.99	5.62	-2.47	16.02	11.63
	D20A019	-37.28	-35.37	-29.26	-28.75	-20.59	2.06	25.17	8.16	130.82
	D20A021		-63.26	-53.76	-28.74	-34.5	-40.03	-34.9	-27.87	-32.18
	D20A054	-39.59	-38.17	-39.71	-42.65	-44.95	-44.99	-47.55	-44.94	-51.55
	D20A059	7.11	10.58	18.42	19.06	14.49	13.32	21.89	32.88	66.15
	E20A007		-51.53	-41.24	-18.08	-22.95	-25.26	-30.93	-32.58	-31.55
	E20A010	-19.39	-20.19	-25.16	-26.01	-16.54	-10.91	-8.93	-9.17	-11.31
	E20A011				-34.27	-38.24	-42.13	-45.3	-47.28	-51.98
	E20A016	-9.11	3.03	7.57	5.77	3.23	-2.29	-1.74	-6.59	-6.8
	E20A018				-33.44	-27.39	-17.67	-7.42	-6.89	-10.28

**Çizelge 6.10 :** Yıllık uygulamada validasyon için hesaplanan diğer ölçütler.

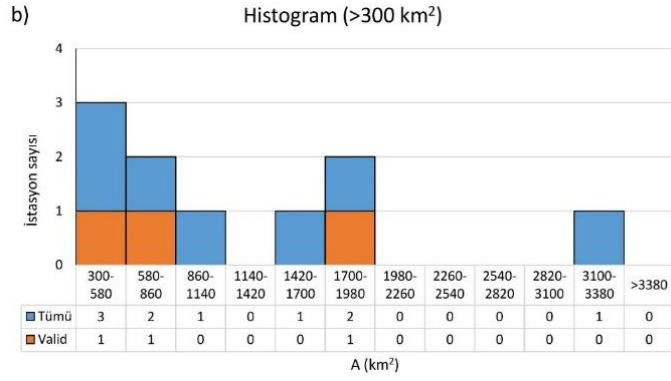
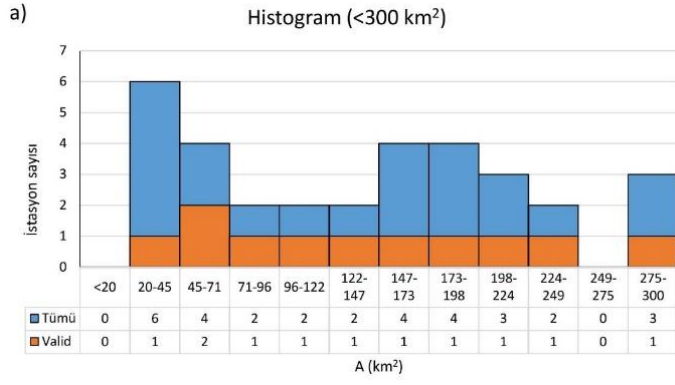
Havza	AGİ No	Değerlendirme ölçütleri							
		RSR	NSE	VE	MAE	RMSE	BiasFHV	SFDCE	BiasFLV
Seyhan	D18A006	0.63	0.61	0.61	2.21	3.46	71.08	-14.23	75.13
	D18A019	0.27	0.93	-0.27	1.97	2.58	-24.56	37.94	-34.42
	D18A021	0.13	0.98	-0.13	0.62	0.87	-5.49	47.72	-21.55
	D18A027	3.34	-10.15	3.22	7.38	10.13	356.47	17.93	258.33
	D18A040	14.89	-220.83	15.92	1.54	2.08	1363.62	-35.78	2188.00
	D18A054	0.11	0.99	0.00	0.38	0.65	8.49	-12.44	4.17
	E18A032	0.12	0.99	0.03	0.11	0.18	12.43	124.20	-9.84
	E18A039	0.67	0.55	0.72	0.46	0.69	63.14	-52.88	179.56
Ceyhan	D20A007	0.13	0.98	0.13	1.12	1.47	9.91	-11.97	23.00
	D20A008	0.24	0.94	-0.10	0.31	0.72	-18.05	-13.84	7.64
	D20A016	0.12	0.98	0.10	0.28	0.41	10.88	27.49	9.05
	D20A019	0.29	0.92	-0.09	0.95	1.35	-25.47	-45.69	93.34
	D20A021	0.48	0.77	-0.31	1.93	4.77	-43.77	-33.86	9.05
	D20A054	0.36	0.87	-0.36	1.51	1.86	-33.83	36.65	-38.63
	D20A059	0.24	0.94	0.26	0.63	0.75	14.55	-20.87	84.96
	E20A007	0.44	0.81	-0.32	1.86	4.25	-48.78	-51.15	-2.17
	E20A010	0.28	0.92	-0.20	5.97	10.08	-25.91	-18.67	-0.17
	E20A011	0.25	0.94	-0.24	0.71	1.35	-20.05	1.44	-20.67
	E20A016	0.11	0.99	0.04	0.34	0.55	1.27	0.61	9.30
	E20A018	0.29	0.92	0.09	0.41	0.74	-25.52	-58.70	49.44

## 7. AYLIK DEBİ SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ

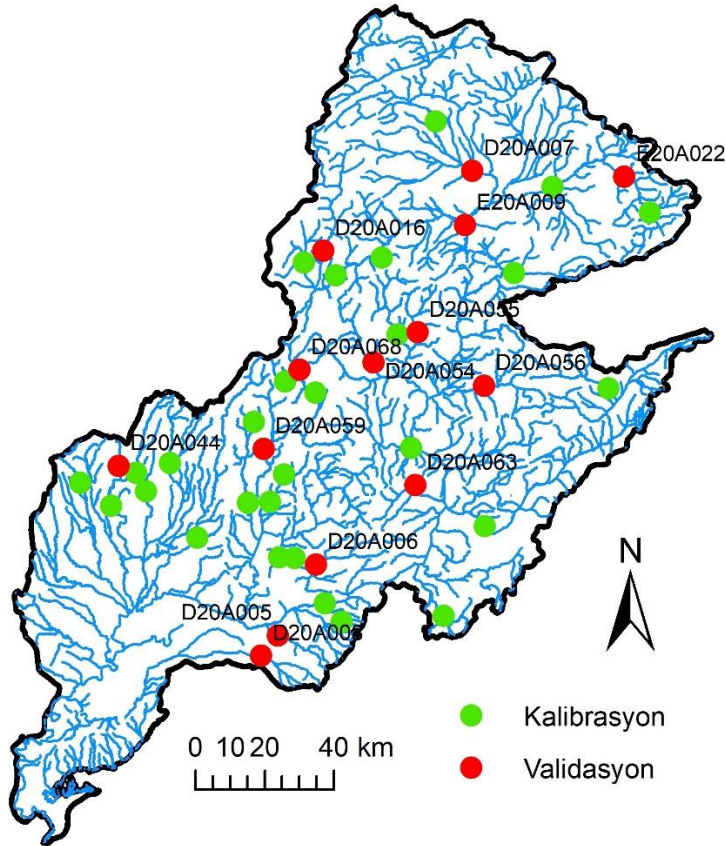
### 7.1 Giriş

Aylık ve günlük debi süreklilik çizgisi Şekil 2.2’de gösterildiği gibi genellikle birbiriyle eşleşir. Bu nedenle pratik amaçlar için aylık debi süreklilik çizgisi kullanılabilir. Aylık akımlarda mevsimsellik bulunur. Yağışın hızlı bir şekilde akışa geçtiği bir havzada ise aylık ve günlük debi süreklilik çizgisi bir miktar farklıdır. Özellikle ani taşkınların gözlemlendiği bu havzalarda günlük debi süreklilik çizgisinden yararlanılması gerekli olabilir.

Aylık debi süreklilik çizgisinin Ceyhan havzası uygulamasında en az on yıl gözlemi bulunan 42 AGİ kullanılmıştır. Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulamasında validasyon aşamasında kullanılan AGİ’lerin havza üzerinde rastgele dağılmasına dikkat edilmiştir. Modelin validasyonunda kullanılan AGİ’lerin seçiminde bir tercih yapılmış; alanı büyük ve küçük olan AGİ’lerin seçilmesine çalışılmıştır. Yani AGİ’lerin sadece küçük veya büyük alanlı AGİ’lerden oluşması önlenmiştir. Validasyon için seçilen AGİ sayısının havza alanı ile değişimini veren histogramlar Şekil 7.1’de verilmiştir. Histogramlar oluşturulurken Şekil 7.1a’da 300 km<sup>2</sup>’den küçük havza alanları için 32, Şekil 7.1b’de de 300 km<sup>2</sup>’den büyük havza alanları için 10 AGİ kullanılmıştır. Validasyon AGİ’leri seçilirken mümkün olduğunca her sınıf aralığından AGİ seçilmiştir. Bu sayede validasyon AGİ seçiminde havza alanına göre tarafsızlık sağlanmaya çalışılmıştır. Mevcut 42 AGİ’den 2/3’ü kalibrasyon (28 AGİ) ve 1/3’ü validasyon (14 AGİ) için ayrılmıştır (Şekil 7.2). Buna göre mevcut AGİ’ler alanlarına göre sınıflandırılmış, her bir sınıf aralığından en az bir validasyon AGİ’si seçilerek havza alanları bakımından homojen dağılımları sağlanmıştır.



Şekil 7.1 : Validasyon AGİ seçimi için havza alanlarının histogramı  
a) <300 km<sup>2</sup>, b) >300 km<sup>2</sup>.



Şekil 7.2 : Aylık uygulamada kullanılan kalibrasyon ve validasyon AGİ'leri.

Gözlem süresi uzunluğu, kalibrasyon AGİ'lerinde 10-60, validasyon AGİ'lerinde 10-50 yıl arasındadır (Çizelge 7.1). Kalibrasyon için kullanılan veri uzunluğu 8664, validasyon için kullanılan veri uzunluğu ise 5280 aydan oluşmaktadır. Yani aylık uygulamada verilerin %40 gibi önemli bir kısmı validasyon işlemi için ayrılmıştır.

**Çizelge 7.1 : Kullanılan aylık akım verileri.**

	AGİ sayısı	En kısa gözlem (yıl)	En uzun gözlem (yıl)	İstasyon-ay
Kalibrasyon	28	10	60	8664
Validasyon	14	10	50	5280
Toplam	42			13944

Aylık akımların en yüksek değerlerinde yıllık akımlara göre daha büyük pikler gözlenmiştir. Bu durum zaman aralığının küçülmesi ile ortaya çıkmaktadır. Çizelge 7.2'de kalibrasyon AGİ'lerinin akım ortalamaları validasyon AGİ'lerinin akım ortalamalarına çok yakındır. Akımların maksimum değerleri ve çarpıklık katsayılarına göre validasyon AGİ'lerinin biraz daha taşkına meyilli olduğu anlaşılmaktadır. Kalibrasyon ve validasyon için standart sapma ve değişim katsayısı değerleri birbirine benzer olduğundan akımlar aynı değişkenliğe sahiptir. Akımların minimum değerleri incelendiğinde validasyon AGİ'si akımlarının daha çok kuruma eğiliminde olduğu görülür.

**Çizelge 7.2 : Kullanılan aylık akım verilerinin istatistiksel özelliklerinin ortalamaları.**

	Ortalama (l/s-km <sup>2</sup> )	Min (l/s-km <sup>2</sup> )	Mak (l/s-km <sup>2</sup> )	St Sapma (l/s-km <sup>2</sup> )	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
Kalibrasyon	16.9	1.29	102	17.8	1.06	1.98
Validasyon	16.1	0.586	156	20.1	1.21	2.82

Aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasında ortalama debi tahmini için kullanılan havza karakteristiklerinin istatistiksel özellikleri Çizelge 7.3'te verilmiştir. Havza karakteristikleri zamana bağlı olmadığından aylık uygulamada yıllık uygulamadaki yağış ve havza eğimine benzer değişim gözlenmiştir. Kalibrasyon aşamasında yağış, havza alanı ve havza eğimi değişkenlerinin ortalamaları validasyon aşamasından biraz daha yüksektir. Ayrıca verilerin istatistiksel özellikleri incelendiğinde kalibrasyon AGİ değerlerinin validasyon AGİ değerlerini içine aldığı gözlenmiştir. Modelin validasyon işleminin geçerliliği açısından bunun sağlanmış olması önemlidir. Çünkü modellerin ekstrapolasyon yapmaları istenmeyen bir durumdur.

**Çizelge 7.3 :** Aylık uygulamada kullanılan havza karakteristiklerinin istatistiksel özelliklerinin ortalamaları.

	$P$ (mm)	$A$ (km <sup>2</sup> )	$S$
Kalibrasyon	771	403	0.0466
Validasyon	683	372	0.0461

## 7.2 Uygulama

**a) Boyutsuzlaştırma:** Her bir AGİ'deki günlük akım değerlerinden hesaplanan aylık ortalama akım değerleri (3.1) denklemi ile boyutsuz debi değerlerine dönüştürülmüştür. Bu aşamada kalibrasyon için 8664 adet boyutsuz istasyon-ay değeri kullanılmıştır. Örnek olarak; Ceyhan havzasında D20A019 no.lu AGİ için yapılan boyutsuzlaştırma işlemi Çizelge 7.4'te verilmiştir. Bu AGİ'de gözlem periyodu 1963-1972 arasını kapsayan on yıldır.

**Çizelge 7.4 :** D20A019 no.lu AGİ'de boyutsuzlaştırma işlemi.

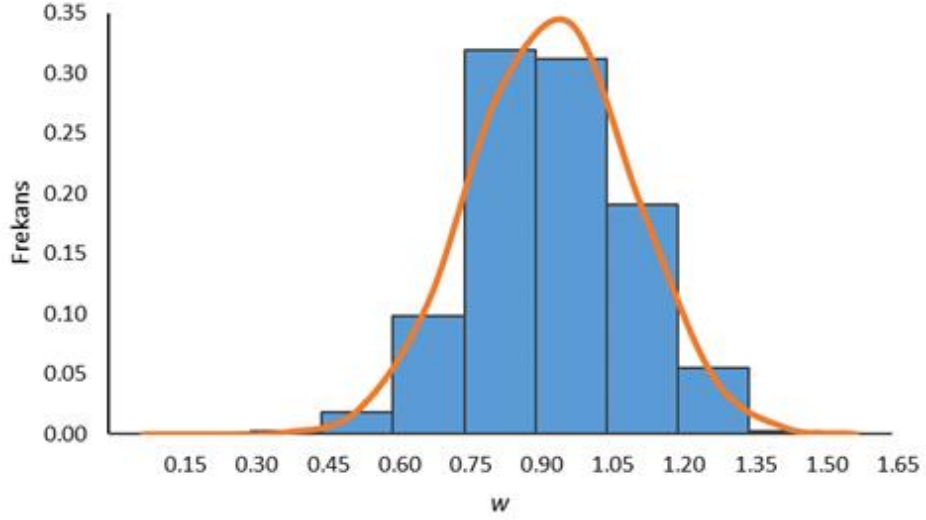
Yıl	Ay	$Q$	$q$
1963	1	1.567	0.324
1963	2	0.167	0.035
1963	3	12.589	2.607
⋮	⋮	⋮	⋮
1972	10	1.181	0.245
1972	11	1.240	0.257
1972	12	1.707	0.353
$\bar{Q}_g$ (m <sup>3</sup> /s)		4.829	

**b) Normalleştirme:** Bu aşamada boyutsuz hale getirilen debi değerlerinin dağılımı normal dağılıma uydurulmaktadır. Kullanılan veri içinde 31 istasyon-ay değeri sıfır olduğundan bu değerler hariç tutularak kalan 8633 boyutsuz debi değerinin ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır. Boyutsuz hale getirilen debi değerleri (3.2) denkleminde  $\theta = 0.166$  alınarak normal hale getirilmiştir. Aylık uygulamada ele alınan  $\theta$  değeri yıllık uygulamadan daha büyüktür. Uç değerlerin artması nedeniyle sıfıra yakın değerler ile taşkın piklerinin  $\theta$  değerini arttırdığı düşünülmüştür. Çizelge 7.5'te örnek olarak hazırlanan normalleştirilmiş boyutsuz debi değerleri verilmiştir.

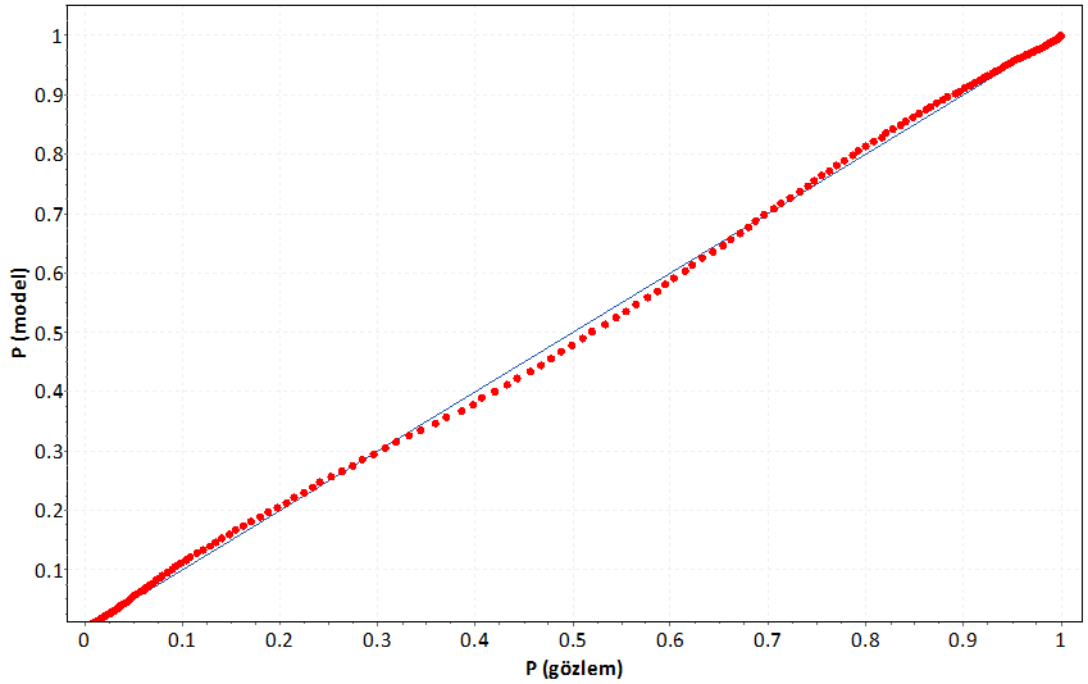
Normalleştirilmiş debilerin histogramı Şekil 7.3'te verilmiştir. Histogramın en büyük frekans değeri 0.32 ile 0.75-0.90 aralığındadır. Ayrıca Şekil 7.4'te çift olasılık çizgisinde bulunan eklenik olasılık değerleri 1:1 çizgisi üzerindedir.  $\bar{w}/w_{50}$  oranı 1.010 olarak hesaplanmış, buna göre verilerin dağılımının simetrik olduğu görülmüştür.

**Çizelge 7.5 :** D20A019 no.lu AGİ'de normalleştirme işlemi.

Yıl	Ay	$q$	$w$
1963	1	0.324	0.830
1963	2	0.035	0.572
1963	3	2.607	1.172
⋮	⋮	⋮	⋮
1972	10	0.245	0.792
1972	11	0.257	0.798
1972	12	0.353	0.841



**Şekil 7.3 :** Aylık uygulamada boyutsuz debi değerlerinin histogramı.



**Şekil 7.4 :** Aylık uygulamada boyutsuz debilerin çift olasılık çizgisi.

Normal dağılım kontrolü için  $\chi^2$  testi de uygulanmıştır. Normalize edilmiş boyutsuz akım değerleri 0.281-1.457 aralığındadır. Histogram için sınıf aralıkları 0.15-1.65 arasında 0.15'lik artışla belirlenmiştir. Buna göre boyutsuz debi ( $w$ ) için hesaplanan eklenik frekans değerleri ile teorik eklenik frekans değerleri arasındaki farklar hesaplanmıştır. Bu test için serbestlik derecesi 8630 olarak alınmış, bu serbestlik derecesi için  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde  $\chi^2_{\alpha} = 8850.27 > \chi^2_c = 99.19$  olduğundan dönüştürülen  $w$  değerlerinin normal dağılıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

**c) Normal kuantillerin hesabı:** Boyutsuz debi ( $w$ ) değerlerinin ortalaması ve standart sapması yani normal dağılım parametreleri bilindiğinden herhangi bir kuantile karşı gelen ya da  $D$  aşılma yüzdesine karşı gelen boyutsuz debi ( $w_D$ ) değeri bulunabilir (Çizelge 7.6). Bu aşamada %0-100 aralığında belirlenen kuantillere karşı gelen boyutsuz debi ( $w_D$ ) değerleri hesaplanmıştır. Belirlenen kuantillerin dışında herhangi bir kuantil de dağılım parametreleri yardımıyla elde edilebilir. Örneğin;  $D = \%25$  aşılma yüzdesinde boyutsuz debi ( $w_D$ ) değeri (3.7) denklemi yardımıyla 1.05 olarak hesaplanabilir.

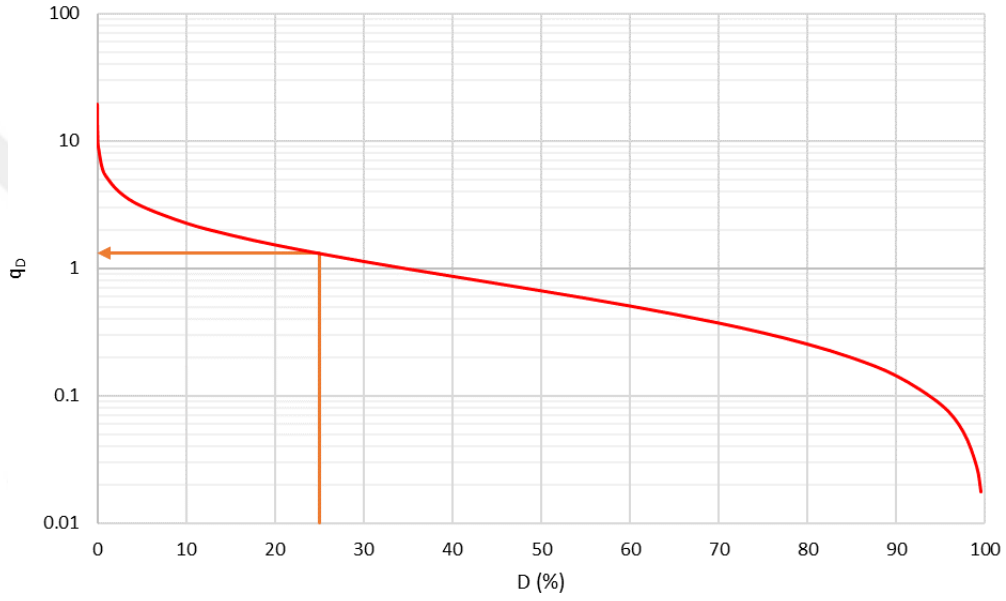
**Çizelge 7.6 :** Aylık uygulamada normal kuantillerin hesaplanması.

$D$ (%)	$z_D$	$w_D$	$D$ (%)	$z_D$	$w_D$
5	1.64	1.20	55	-0.13	0.91
10	1.28	1.15	60	-0.25	0.89
15	1.04	1.10	65	-0.39	0.87
20	0.84	1.07	70	-0.52	0.85
25	0.67	1.05	75	-0.67	0.82
30	0.52	1.02	80	-0.84	0.80
35	0.39	1.00	85	-1.04	0.76
40	0.25	0.98	90	-1.28	0.72
45	0.13	0.96	95	-1.64	0.66
50	0.00	0.93			

**d) Boyutsuz kuantillerin ters dönüşümü:** Boyutsuz debilerin ( $w_D$ ) ters dönüşümü için (3.8) denklemi kullanılır (Çizelge 7.7). Deneme-yanılma yoluyla  $\theta = 0.166$  bulunmuştur. Yapılan hesaplama örneği olarak  $D = \%25$  aşılma yüzdesinde boyutsuz debi ( $q_D$ ) değeri 1.31 olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.5).

**Çizelge 7.7 :** Aylık uygulamada boyutsuz kuantillerin ters dönüşümü.

$D$ (%)	$w_D$	$q_D$	$D$ (%)	$w_D$	$q_D$
5	1.20	3.07	55	0.91	0.58
10	1.15	2.26	60	0.89	0.51
15	1.10	1.82	65	0.87	0.44
20	1.07	1.53	70	0.85	0.37
25	1.05	1.31	75	0.82	0.31
30	1.02	1.13	80	0.80	0.25
35	1.00	0.99	85	0.76	0.20
40	0.98	0.87	90	0.72	0.14
45	0.96	0.76	95	0.66	0.09
50	0.93	0.67			



**Şekil 7.5 :** Aylık uygulamada boyutsuz debi süreklilik çizgisi.

**e) Ortalama debi hesabı:** Aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasında havza alanıyla birlikte yağış ve havza eğimi de ortalama debi tahmininde değişken olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda ortalama debi tahmininde

$$\bar{Q}_m = 0.0391A^{0.810} \quad (7.1)$$

$$\bar{Q}_m = 0.000813A^{0.811}P^{0.600} \quad (7.2)$$

$$\bar{Q}_m = 0.000137(AP)^{0.841} \quad (7.3)$$

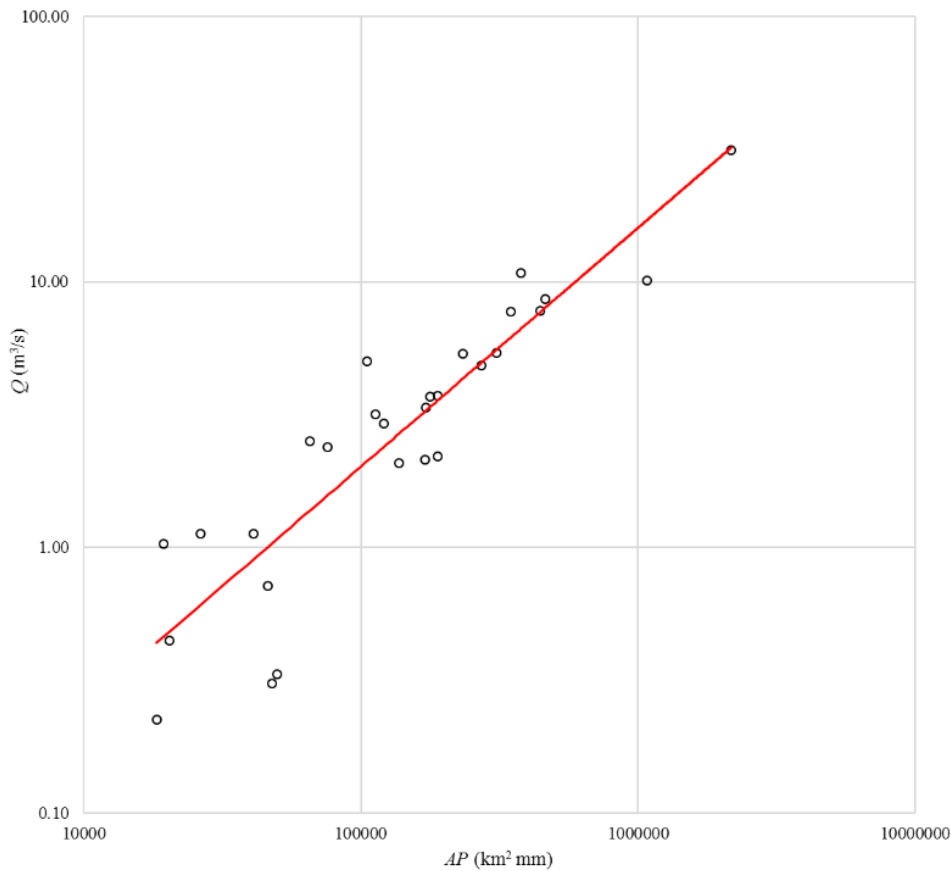
$$\bar{Q}_m = 0.0289A^{1.128}S^{0.454} \quad (7.4)$$

$$\bar{Q}_m = 0.000370(AP)^{1.025}S^{0.279} \quad (7.5)$$

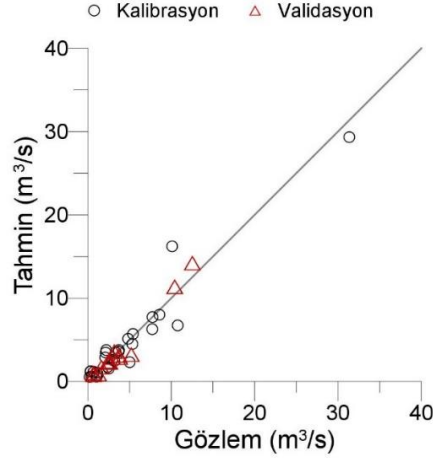
denklemleri elde edilmiştir. Yukarıdaki denklemlerin performansını incelemek amacıyla determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) hesaplanmıştır. Bu ölçütlere göre en başarılı sonucu (7.5) denklemi vermekle birlikte modelde parsimoni bakımından (7.5) denkleminin çok yakın tahmin veren (7.3) denklemi tercih edilmiştir. Hesaplanan ölçüt sonuçları Çizelge 7.8’de verilmiştir. Şekil 7.6 ise denklem (7.3) kullanılarak ortalama akımlar ile havza karakteristikleri arasında elde edilen regresyon denkleminin ne derece iyi bir ilişkiye işaret ettiğini göstermektedir. Bu ilişki kullanılarak tahmin edilen ortalama debilerin gözlenen debilerle olan uyumu da Şekil 7.7’de görülebilir.

**Çizelge 7.8 :** Aylık uygulamada ortalama akımların değerlendirme ölçütleri.

Kademe	Ölçüt	Denklem				
		(7.1)	(7.2)	(7.3)	(7.4)	(7.5)
Kalibrasyon	$R^2$	0.877	0.916	0.921	0.891	0.933
	RMSE	2.097	1.713	1.664	1.995	1.536
	MAE	1.372	1.040	1.023	1.371	1.050
Validasyon	$R^2$	0.890	0.959	0.964	0.911	0.952
	RMSE	1.980	0.998	0.829	2.233	0.948
	MAE	1.190	0.667	0.582	1.427	0.589



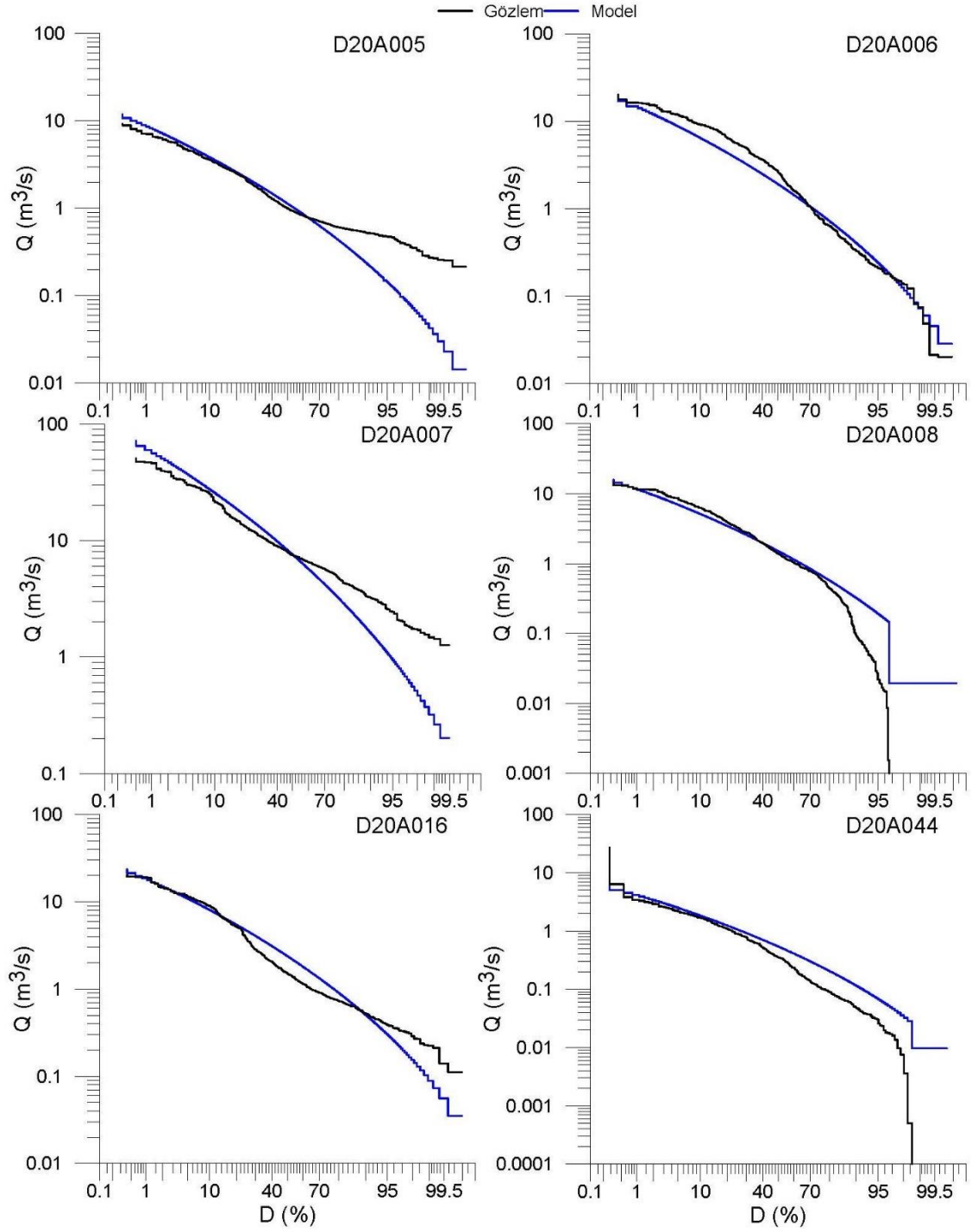
**Şekil 7.6 :** Aylık uygulamada havza alanı-yağış ile ortalama debi ilişkisi.



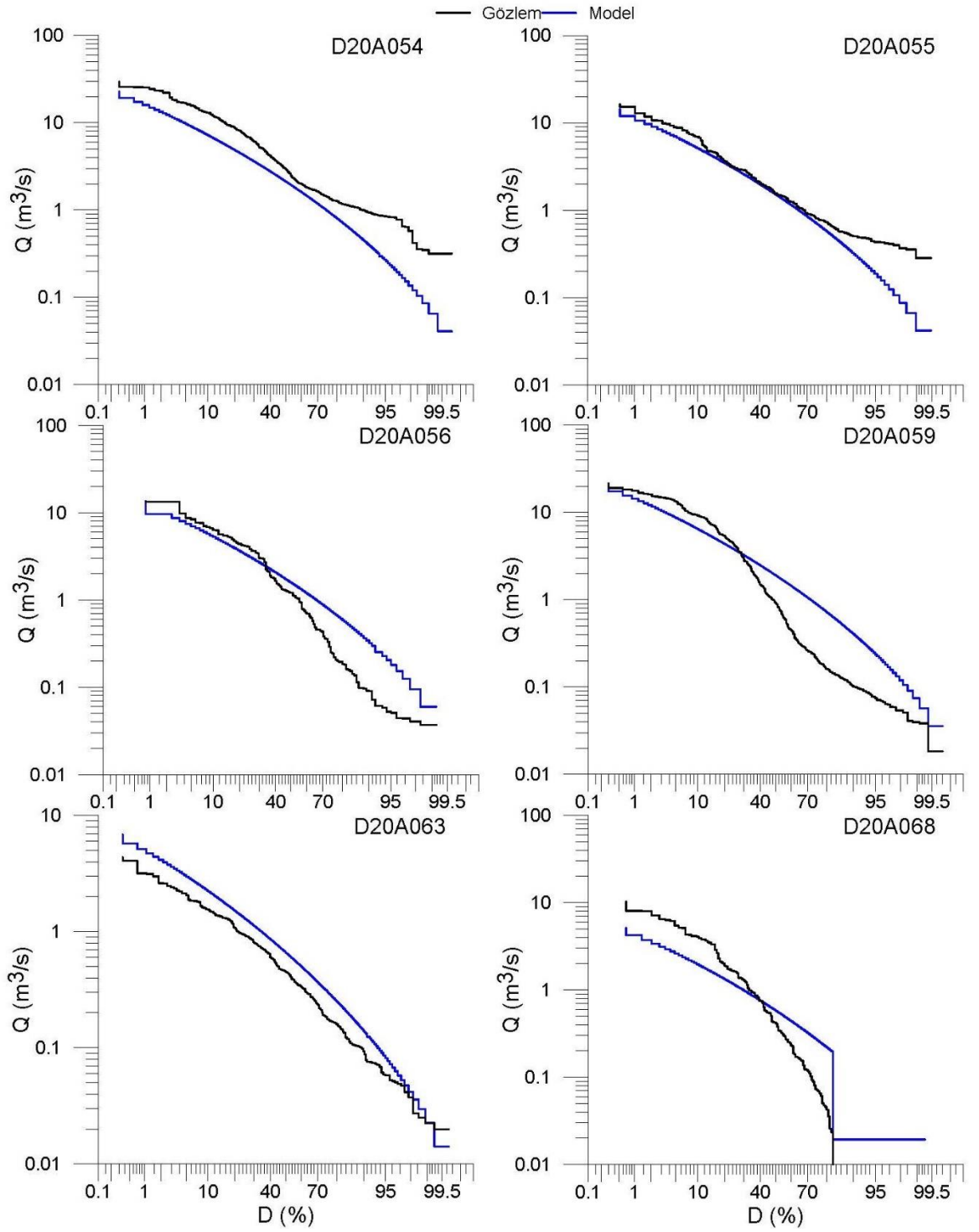
**Şekil 7.7 :** Aylık uygulamada tahmin edilen ve gözlenen ortalama debiler.

**f) Boyutlu kuantillerin hesabı:** Herhangi bir  $D$  aşılma yüzdesine karşı gelen debi değeri ( $Q_D$ ), boyutsuz debi ( $q_D$ ) değeri ile (7.3) denkleminde elde edilen ortalama debi ( $\bar{Q}_m$ ) kullanılarak (3.10) denkleminde bulunabilir. Uygulanan yöntemle Ceyhan havzasında akım ölçümü olmayan fakat havza karakteristikleri bilinen bir alt havzanın aylık debi süreklilik çizgisi elde edilebilir.

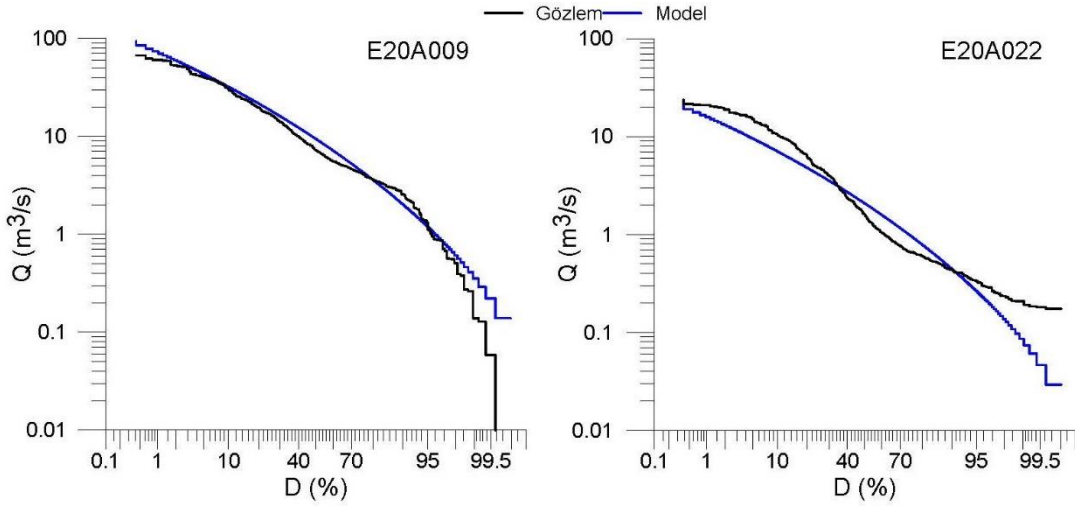
Ceyhan havzası validasyon AGİ'lerinin aylık debi süreklilik çizgileri Şekil 7.8'de verilmiştir. Kalibrasyon AGİ'lerinin sonuçları ise Ek B'de Şekil B.2'de sunulmuştur. Çizelge 7.9'da validasyon AGİ'lerinin debi süreklilik çizgisinin kuantillerini değerlendirmek için AGİ bazında hesaplanan değerlendirme ölçütleri verilmiştir. Hesaplanan değerlendirme ölçütlerine göre aylık debi süreklilik çizgisi modelinin yıllık debi süreklilik çizgisi modeline göre çok daha başarılı olduğu görülmüştür. Validasyon uygulama sonuçlarına göre özellikle D20A005, D20A007, D20A054 ve D20A055 AGİ'lerinde %70'den büyük aşılma yüzdelere karşı gelen düşük debilerde gözlem ve model debi süreklilik çizgilerinde ayrılmalar görülse de hesaplanan ölçütlere göre sonuçlar kabul edilebilir mertebededir. D20A044, D20A056, D20A059 ve D20A068 AGİ'lerinde ise hesaplanan ölçütlere göre debi süreklilik çizgisinin düşük akım kısmında yüksek hatalar gözlenmiştir. Bu duruma Ceyhan havzası akımlarının yüksek olmasının neden olduğu düşünülmüştür. Kuruma gözlenen iki AGİ'den biri olan E20A009'da ise hesaplanan değerlendirme ölçütleri ve debi süreklilik çizgisine göre değerlendirme yapıldığında çok başarılı sonuç elde edildiği söylenebilir. Kuruyan diğer AGİ D20A044'te ise çok düşük akımlar bulunduğu için özellikle düşük akım kısmında model ile gözlem arasında farklılıklar gözlenmiştir.



**Şekil 7.8 :** Validasyon AGİ'lerinin aylık debi süreklilik çizgileri.



**Şekil 7.8 (devam) :** Validasyon AGİ'lerinin aylık debi süreklilik çizgileri.



**Şekil 7.8 (devam) :** Validasyon AGİ'lerinin aylık debi süreklilik çizgileri.

**Çizelge 7.9 :** Aylık uygulamada validasyon için hesaplanan değerlendirme ölçütleri.

İstasyon	Değerlendirme ölçütleri							
	RSR	NSE	VE	MAE	RMSE	BiasFHV	SFDCE	BiasFLV
D20A005	0.07	1.00	0.10	0.44	0.67	16.88	12.80	-46.82
D20A006	0.26	0.93	-0.21	1.14	1.64	-20.56	-22.52	8.96
D20A007	0.30	0.91	0.16	3.54	5.05	23.60	60.24	-43.92
D20A008	0.06	1.00	-0.08	0.47	0.74	-11.22	-12.53	57.76
D20A016	0.08	0.99	0.02	0.44	0.56	-1.14	-18.87	7.93
D20A044	0.05	1.00	0.23	0.23	0.33	19.32	-30.86	138.11
D20A054	0.43	0.82	-0.40	3.11	4.51	-39.58	-16.53	-47.60
D20A055	0.24	0.94	-0.19	0.79	1.26	-19.10	1.00	-33.96
D20A056	0.11	0.99	-0.09	0.64	0.99	-13.67	-38.94	163.61
D20A059	0.29	0.92	-0.17	1.39	2.04	-23.90	-53.10	284.57
D20A063	0.30	0.91	0.54	0.51	0.82	55.13	-6.53	52.25
D20A068	0.51	0.74	-0.43	1.10	1.80	-47.50	-49.76	391.92
E20A009	0.21	0.95	0.15	2.77	4.82	14.82	-1.92	2.92
E20A022	0.34	0.88	-0.25	1.72	2.74	-28.64	-32.07	12.20

Bu çalışmada, debi süreklilik çizgisi bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme ölçütlerinin debi süreklilik çizgisinin düşük akımlar kısmı için ayrıca değerlendirilmesi de mümkündür. Böylece modelin performansı daha detaylı olarak ortaya konabilir. Yine de aylık uygulama sonuçları değerlendirme ölçütleriyle birlikte değerlendirildiğinde akım ölçümü olmayan akarsu havzasında elde edilecek debi süreklilik çizgisi için başarılı sonuç verdiği söylenebilir. Taşkın ve kuraklık gibi ekstrem olayların incelenmesi için günlük debi süreklilik çizgisinin kullanılması daha uygundur. Bu nedenle günlük debi süreklilik çizgisi uygulaması gerçekleştirilmiş, sonuçlar Bölüm 8'de incelenmiştir.

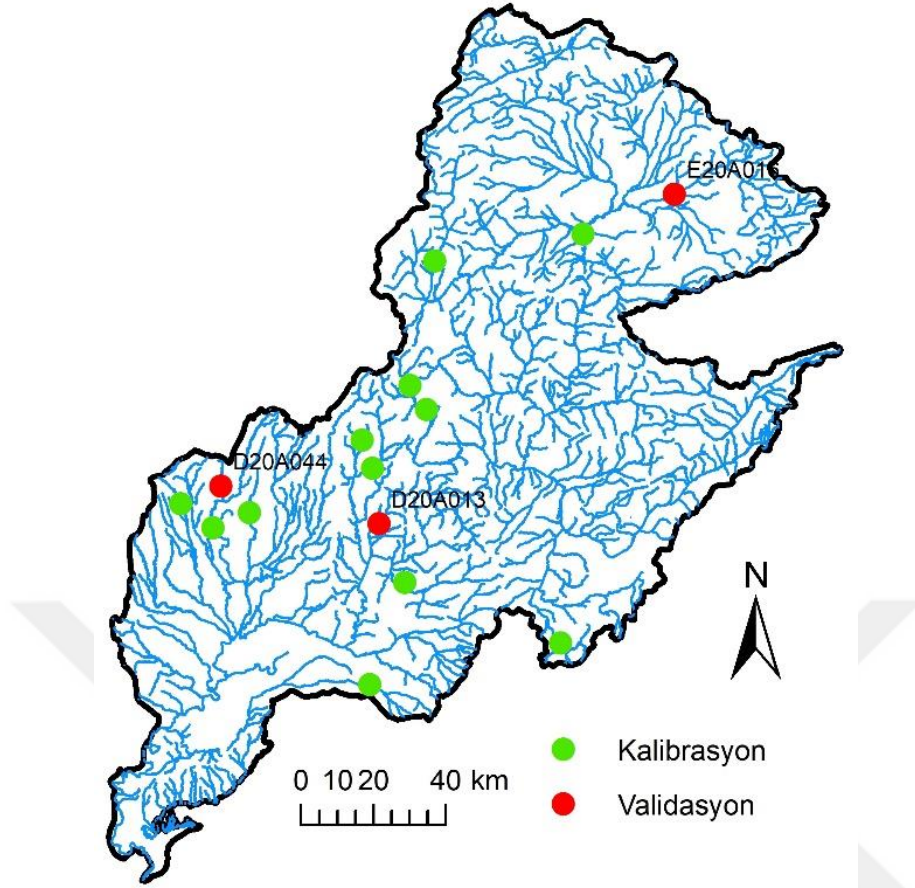
## 8. GÜNLÜK DEBİ SÜREKLİLİK ÇİZGİSİ

### 8.1 Giriş

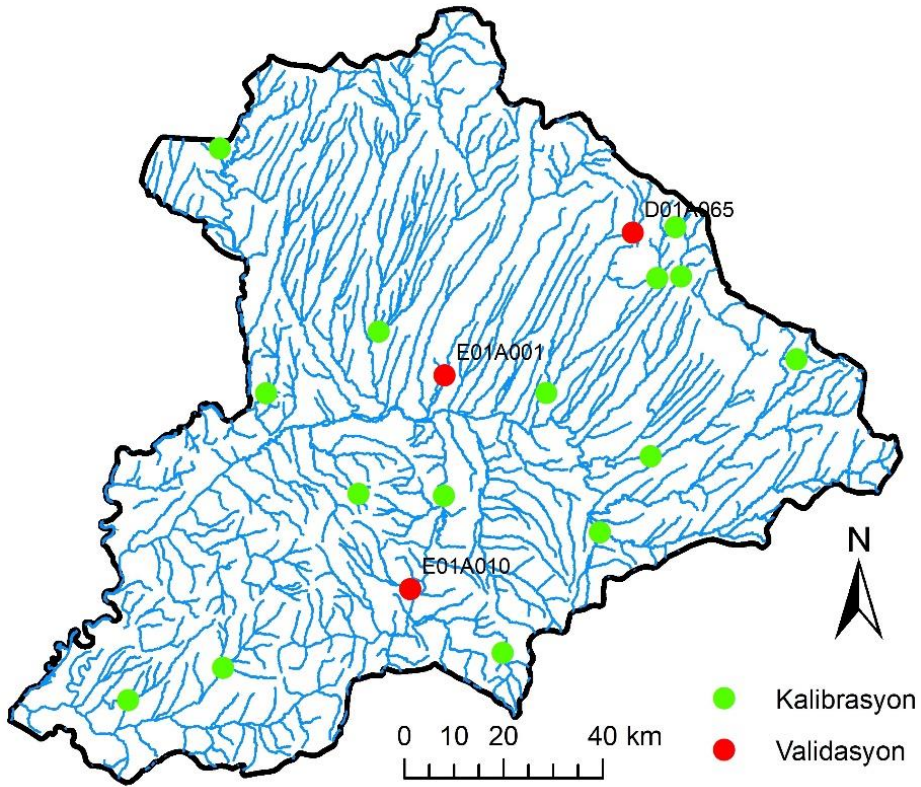
Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında sadece kuruma gözlenen akarsulara ait AGİ'ler kullanılmıştır. Uygulama amacıyla Ceyhan, Meriç ve Gediz havzaları seçilmiştir. Meriç havzasındaki AGİ'lerin Ceyhan havzasındakilere, Gediz havzasındaki AGİ'lerin de her iki havzaya göre daha düşük kuruma noktasına sahip olduğu gözlenmiştir. Bu durum havzaların kendine özgü hidrolojik ve jeomorfolojik özelliklerinin bir sonucudur. Kuruma noktası hesabı için yağışın yanında havza alanı, havza eğimi, havza kot farkı ve drenaj yoğunluğu gibi havza karakteristiklerinden de yararlanılmıştır.

Uygulamada Ceyhan havzasında 15, Meriç havzasında 18 ve Gediz havzasında 15 AGİ'nin günlük akım verisi kullanılmıştır. Validasyon AGİ'lerini belirlemek için her havzada AGİ'ler, havza alanlarına göre üç sınıfa ayrılmış, her bir sınıftan validasyon için birer AGİ seçilmiştir. Böylelikle her havzadan üçer AGİ validasyon amacıyla ayrılmıştır (Şekil 8.1-8.3). Ayrıca ortalama debi ve kuruma noktası tahmini için kalibrasyon aşamasında kullanılan havza karakteristiklerinin minimum ve maksimum değerleri, validasyon için seçilen AGİ'lerin havza karakteristiklerini içine aldığına dikkat edilmiştir.

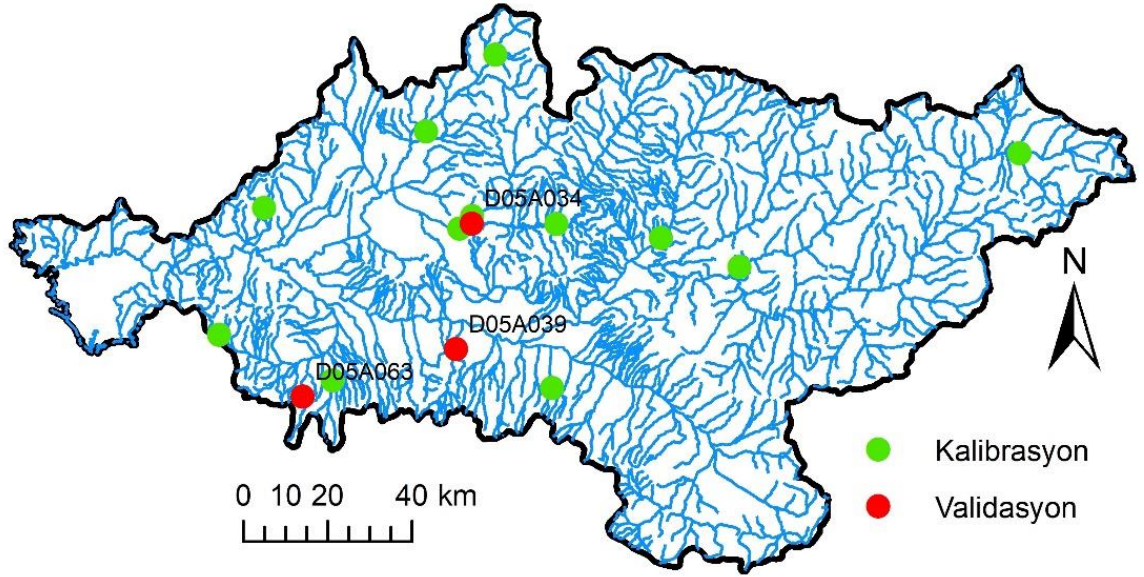
Günlük debi süreklilik çizgisi uygulaması sayesinde havzada gözlenen taşkın ve düşük akım değerleri değerlendirilebilir. Uygulamada kullanılan kalibrasyon AGİ'lerinin gözlem uzunluğu 10-52 yıl arasındadır (Çizelge 8.1). En uzun gözlem 52 yıl ile Gediz havzasındaki E05A014 no.lu AGİ'ye aittir. Genel olarak Ceyhan havzası AGİ'lerinin daha uzun gözlem periyoduna sahip olduğu görülmüştür. Aylık uygulamada olduğu gibi on yıl ve daha uzun gözlemi bulunan AGİ'ler değerlendirmeye alınmıştır. Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında her bir havzadan kalibrasyon aşaması için 100000'den fazla istasyon-gün akım verisi kullanılmıştır.



Şekil 8.1 : Günlük uygulamada kullanılan Ceyhan havzası AGİ'leri.



Şekil 8.2 : Günlük uygulamada kullanılan Meriç havzası AGİ'leri.



Şekil 8.3 : Günlük uygulamada kullanılan Gediz havzası AGİ'leri.

Çizelge 8.1 : Kullanılan günlük akım verileri.

	Havza	AGİ sayısı	En kısa gözlem (yıl)	En uzun gözlem (yıl)	İstasyon-gün
Kalibrasyon	Ceyhan	12	10	49	116800
	Meriç	15	10	50	116800
	Gediz	12	10	52	110960
Ara toplam		39			344560
Validasyon	Ceyhan	3	14	41	31025
	Meriç	3	10	18	16425
	Gediz	3	10	17	15330
Ara toplam		9			62780
Toplam		48			407340

Günlük akım verilerinin istatistiksel özellikleri Çizelge 8.2’de verilmiştir. Kuruyan akarsular ele alındığından gözlenen en küçük akım değeri sıfırdır. Meriç ve Gediz havzasında günlük akımların karakteri benzer yapıda, ortalama akımların maksimum değerleri ile çarpıklık katsayıları da aynı mertebededir. Meriç ve Gediz havzasında büyük çarpıklık katsayısına sahip yüksek akımlar bulunsa da Ceyhan havzasındaki akımların daha çok taşkına meyilli olduğu görülmüştür. Kalibrasyon aşamasında seçilen günlük akımlar, validasyon aşamasının günlük akımlarını kapsayan bir aralığa sahiptir.

**Çizelge 8.2 :** Kullanılan günlük akım verilerinin istatistiksel özelliklerinin ortalamaları.

	Havza	Ortalama (l/s-km <sup>2</sup> )	Min (l/s-km <sup>2</sup> )	Mak (l/s-km <sup>2</sup> )	St Sapma (l/s-km <sup>2</sup> )	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
Kalibrasyon	Ceyhan	17.4	0.000	539	27.6	1.61	4.95
	Meriç	6.02	0.000	627	17.3	3.12	13.6
	Gediz	6.06	0.000	585	16.3	2.89	13.4
Validasyon	Ceyhan	17.9	0.000	674	33.4	1.77	6.53
	Meriç	5.03	0.000	341	13.2	2.97	9.3
	Gediz	6.06	0.000	316	15.7	2.72	10.3

Sıfır akımların çoğunlukla günlük akımlarda gözlenmesi nedeniyle günlük debi süreklilik çizgisinde kuruma noktası dikkate alınmıştır. Kuruma noktası ve ortalama debi hesabında havza alanı, yağış ve havza eğiminin yanında drenaj yoğunluğu ve havza kot farkı karakteristikleri kullanılmıştır. Çizelge 8.3'te günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında ortalama debi tahmini için kullanılan havza karakteristiklerinin istatistiksel özellikleri verilmiştir. Ceyhan havzasının topografyasına bağlı olarak dağlık bölgeden deniz seviyesine kadar inen drenaj hattı bulunduğundan yüksek kot farkları gözlenmiştir. Ayrıca Ceyhan havzasında gözlenen yağış değerleri diğer havzalara göre daha geniş bir aralığa sahiptir. Havzalarda yağış ve havza kot farkında benzer mertebede değişim vardır.

Havza topografyası ile ilgili olarak Gediz havzasında akarsuların daha küçük havza alanlarına sahip olduğu ve akımlarının kurumaya meyilli olduğu görülmüştür. Meriç havzası da havza alanı bakımından küçük ve kuruyan akarsulara sahiptir. Havza alanı kadar akım üzerinde etkili olan bir diğer değişken olan havza eğimi, Ceyhan havzasından daha düşük akımlara sahip Meriç ve Gediz havzalarında daha küçüktür. Gediz havzasında akarsu dallanma oranları da düşüktür.

**Çizelge 8.3 :** Günlük uygulamada kullanılan havza karakteristiklerinin istatistiksel özelliklerinin ortalamaları.

	Havza	P (mm)	A (km <sup>2</sup> )	H (m)	S	d
Kalibrasyon	Ceyhan	786	243	1306	0.0471	0.0404
	Meriç	600	299	443	0.0221	0.0568
	Gediz	646	521	1179	0.0339	0.0313
Validasyon	Ceyhan	830	333	1448	0.0411	0.0346
	Meriç	595	222	532	0.0176	0.0346
	Gediz	863	523	1187	0.0295	0.0262

## 8.2 Uygulama

**a) Boyutsuzlaştırma:** Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında sadece kuruyan akarsular ele alınmıştır. Boyutsuzlaştırma işlemi için (3.1) denkleminde yararlanılmıştır. Uygulamada Ceyhan ve Meriç havzalarının her birinde 116800 ve Gediz havzasında 110960 istasyon-gün akım verisi kullanılmıştır. Örnek olarak, Ceyhan havzasında D20A004 no.lu AGİ için yapılan boyutsuzlaştırma işlemi Çizelge 8.4'te verilmiştir. Bu AGİ'de gözlem periyodu 1962-1991 yılları arasındaki dönemi kapsamaktadır ve toplam gözlem süresi 30 yıldır.

**Çizelge 8.4 :** D20A004 no.lu AGİ'de boyutsuzlaştırma işlemi.

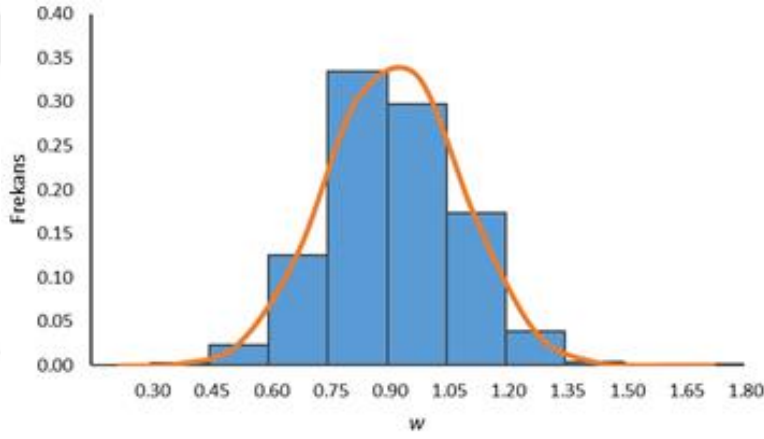
Yıl	Gün	$Q$	$q$
1962	1	0.360	0.173
1962	2	0.330	0.159
1962	3	0.250	0.120
⋮	⋮	⋮	⋮
1991	363	0.920	0.443
1991	364	0.920	0.443
1991	365	0.920	0.443
$\bar{Q}_g$ (m <sup>3</sup> /s)		2.078	

**b) Normalleştirme:** Boyutsuz debi değerlerinin dağılımını normal dağılıma uygun hale getirilmiştir. Toplam 344560 gün olan gözlem süresince Ceyhan havzasında 3731, Meriç havzasında 20111 ve Gediz havzasında 15610 gün sıfır akım gözlenmiştir. Sıfır akımlar normalleştirme işleminin dışında tutulmuştur. Sıfır akımların dışında kalan boyutsuz debi ( $q$ ) değerlerine, (3.2) denklemi ile dönüşüm uygulanmıştır. Ceyhan, Meriç ve Gediz havzaları için sırasıyla  $\theta = 0.131$ ,  $\theta = 0.095$  ve  $\theta = 0.085$  alınmıştır. Havzalarda akarsuyun kuruma oranı arttıkça  $\theta$ 'nın azaldığı gözlenmiştir. Çizelge 8.5'te Ceyhan havzasında D20A004 no.lu AGİ'de örnek olarak hazırlanan normalleştirilmiş boyutsuz debiler ( $w$ ) verilmiştir.

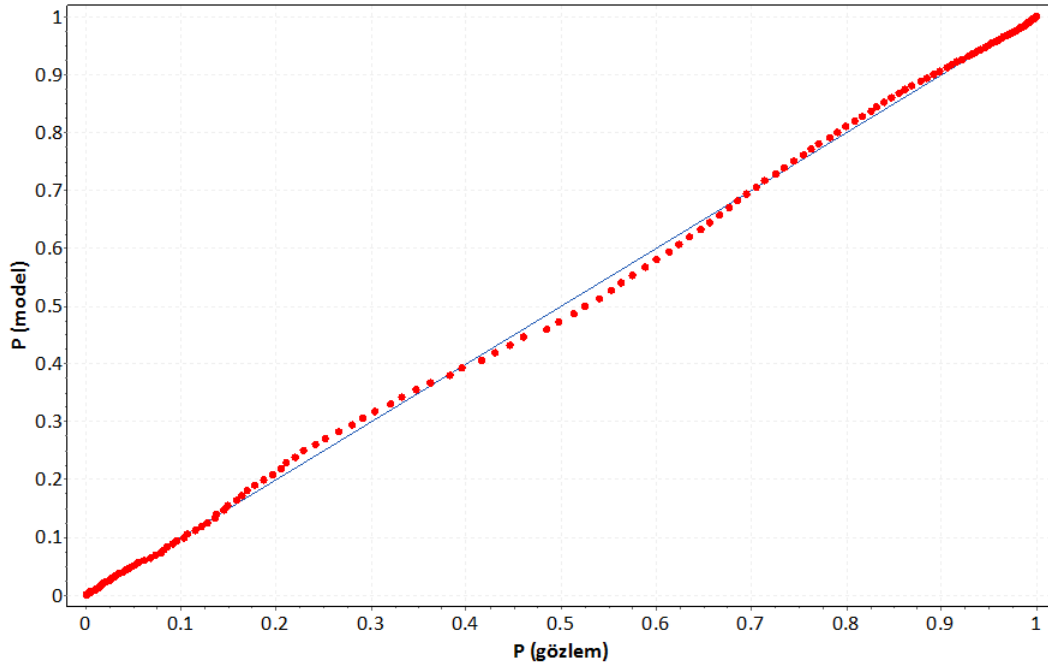
**Çizelge 8.5 :** D20A004 no.lu AGİ'de normalleştirme işlemi.

Yıl	Gün	$q$	$w$
1962	1	0.173	0.795
1962	2	0.159	0.786
1962	3	0.120	0.757
⋮	⋮	⋮	⋮
1991	363	0.443	0.899
1991	364	0.443	0.899
1991	365	0.443	0.899

Normalleştirme işlemi uygulandıktan sonra dönüştürülen boyutsuz debilerin normal dağılıma uyup uymadıkları kontrol edilmiştir. Ceyhan havzasında boyutsuz debi değerlerinin histogramı Şekil 8.4'te verilmiştir. Histogramın en büyük frekans değeri 0.33 ile 0.75-0.90 aralığındadır. Ayrıca Şekil 8.5'te çift olasılık çizgisinde bulunan eklenik olasılık değerleri 1:1 çizgisi üzerindedir.  $\bar{w}/w_{50}$  oranı da 1.011 olarak hesaplanmış, bu oranın 1'e yakın olması nedeniyle verilerin dağılımının simetrik olduğu anlaşılmıştır. Normal dağılıma uygunluk kontrolü için kullanılan  $\chi^2$  testinde veriler 0.330-1.726 aralığında değiştiğinden histogram 0.3-1.8 arasında 0.15'lik artışlarla 10 sınıf aralığına bölünmüştür. Serbestlik derecesi 113066 için  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde  $\chi^2_{\alpha} = 113852.33 > \chi^2_c = 2373.09$  olduğundan dönüştürülen  $w$  değerlerinin normal dağılıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

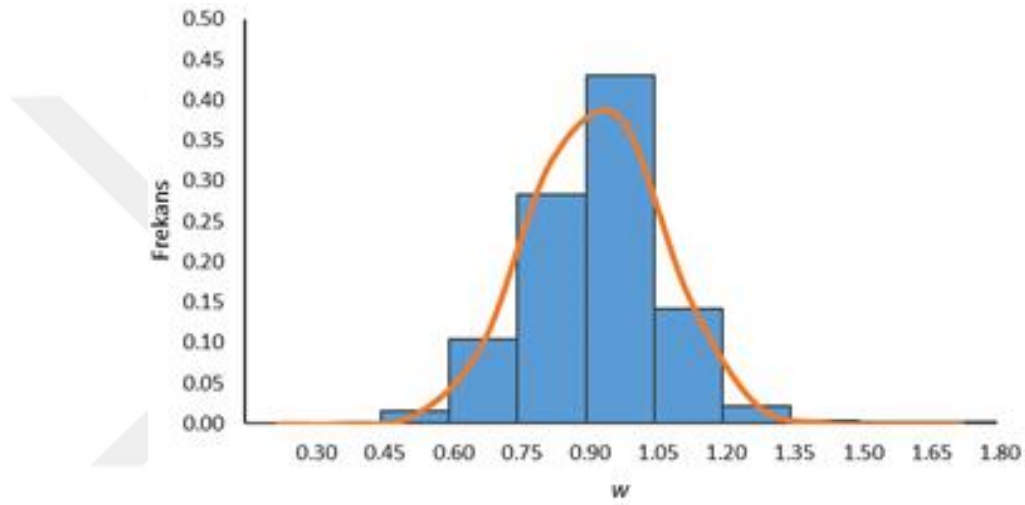


Şekil 8.4 : Ceyhan havzasında boyutsuz debilerin histogramı.

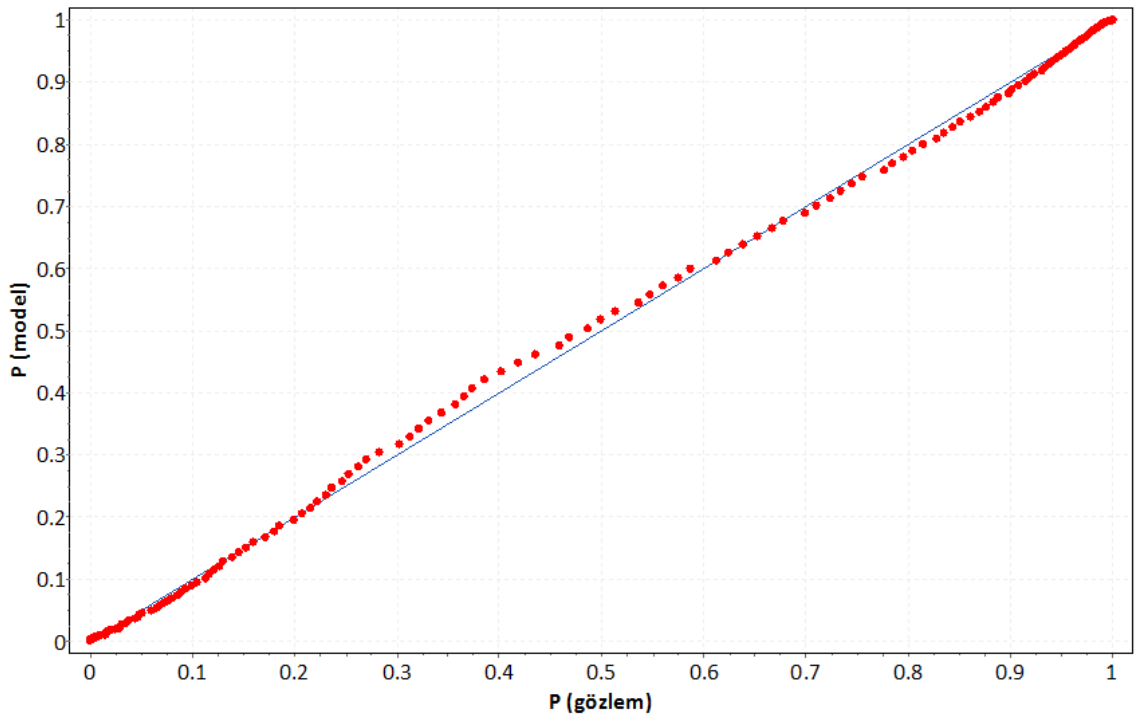


Şekil 8.5 : Ceyhan havzasında boyutsuz debilerin çift olasılık çizgisi.

Meriç havzasında  $w$  değerlerinin histogramı Şekil 8.6'da verilmiştir. Histogramın en büyük frekans değeri 0.43 ile 0.90-1.05 aralığındadır. Ayrıca Şekil 8.7'de çift olasılık çizgisinde bulunan eklenik olasılık değerleri 1:1 çizgisi üzerindedir. Hesaplanan  $\bar{w}/w_{50}$  oranı 0.993 olarak hesaplanmıştır. Bu oranın 1'e çok yakın olması nedeniyle verilerin dağılımının simetrik olduğu anlaşılmıştır. Meriç havzası için  $w$  değerleri 0.481-1.710 aralığında değiştiğinden sınıf aralıkları 0.3-1.8 arasında 0.15'lik artışlarla oluşturulmuştur. Bu testte serbestlik derecesi 96686 için  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde  $\chi^2_{\alpha} = 97413.46 > \chi^2_c = 1843.21$  olduğundan dönüştürülen  $w$  değerlerinin normal dağılıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

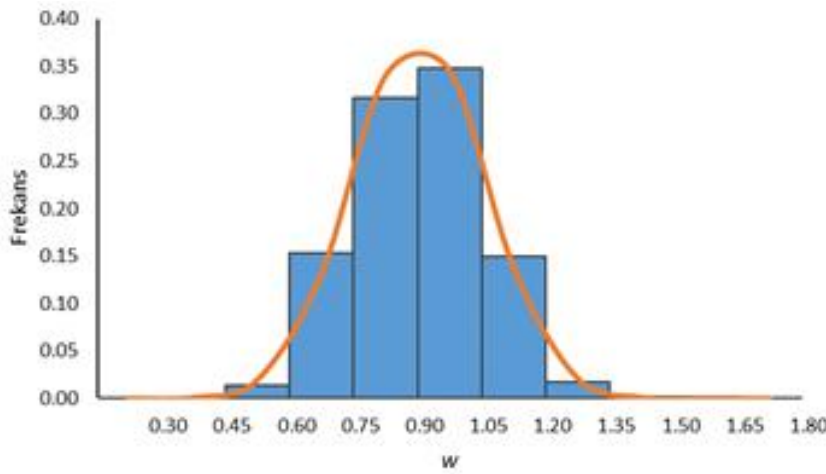


Şekil 8.6 : Meriç havzasında boyutsuz debilerin histogramı.

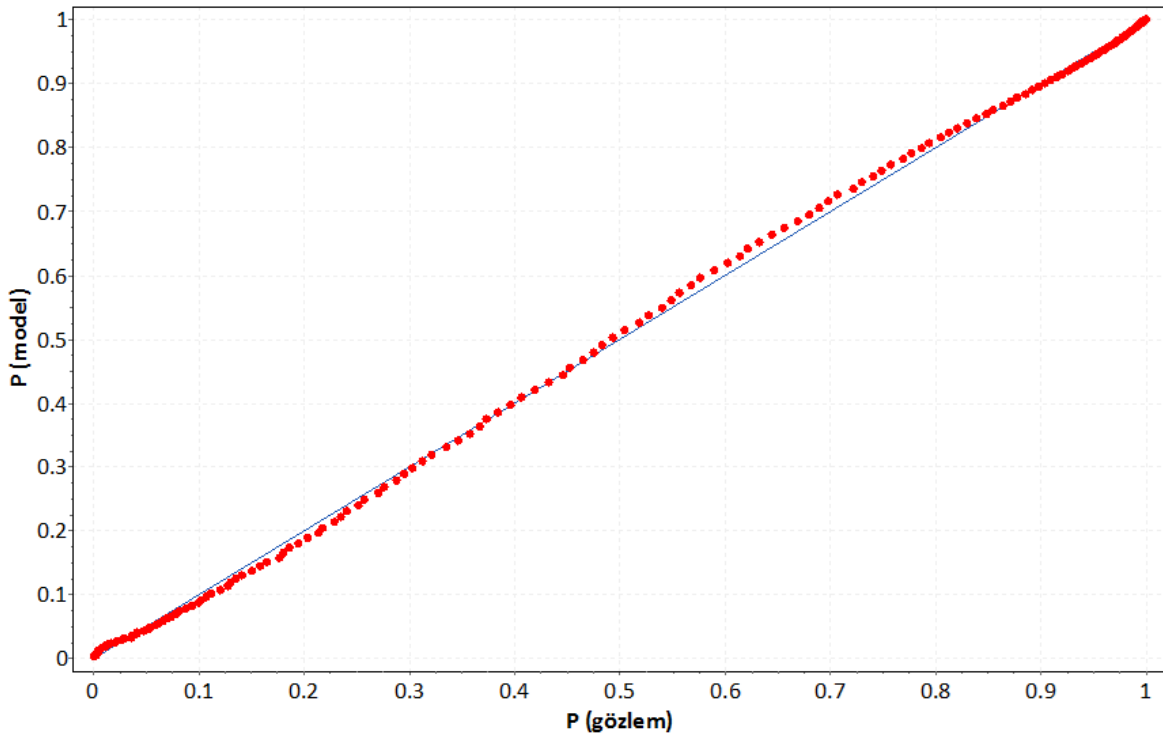


Şekil 8.7 : Meriç havzasında boyutsuz debilerin çift olasılık çizgisi.

Gediz havzası  $w$  değerlerinin histogramı da Şekil 8.8'deki gibidir. Histogramın en büyük frekans değeri olan 0.35, 0.90-1.05 aralığındadır. Ayrıca Şekil 8.9'da çift olasılık çizgisinde bulunan eklenik olasılık değerlerinin 1:1 çizgisi üzerinde bulunduğu gözlenmiştir.  $\bar{w}/w_{50}$  oranı 0.996 olarak hesaplanmıştır. Bu oranın 1'e yakın olması verilerin dağılımının simetrik olduğunu göstermektedir. Gediz havzası  $w$  değerleri 0.488-1.593 aralığında değiştiğinden sınıf aralıkları 0.3-1.8 arasında 0.15'lik artışlarla oluşturulmuştur. Bu testte serbestlik derecesi 95347 için  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde  $\chi^2_{\alpha} = 96069.43 > \chi^2_c = 902.49$  olduğundan dönüştürülen  $w$  değerlerinin normal dağılıma uygun olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 8.8 : Gediz havzasında boyutsuz debilerin histogramı.



Şekil 8.9 : Gediz havzasında boyutsuz debilerin çift olasılık çizgisi.

**c) Kuruma noktası:** Kurumayan bir akarsuyun debi süreklilik çizgisi yatay eksenle kesişmez. Oysa kuruyan bir akarsuda debi süreklilik çizgisi aşılan zaman yüzdesi %100 olmadan sıfır değerine iner ve yatay eksenini keser. Buna akarsuyun kuruma noktası denir. Örnek olmak üzere, D20A004 no.lu AGİ'de gözlenen kuruma noktası ( $\tau$ ) %99.18'dir. Çizelge 8.6'da bu AGİ için  $D$ , sıfır akımlar dahil belli bir akımın aşılma yüzdesi olmak üzere (3.5) denklemi ile sıfır olmayan akımların  $D'$  aşılma yüzdeleri elde edilmiştir. Böylece, debi süreklilik çizgisinde  $0 - \tau$  arasında değişen aşılma yüzdesi, 0-100 aralığına taşınmıştır.

**Çizelge 8.6 :** D20A004 no.lu kuruyan AGİ'de kullanılan aşılma yüzdeleri.

$D$ (%)	$D'$ (%)	$D$ (%)	$D'$ (%)
1	1.01	50	50.67
2	2.03	70	70.94
5	5.07	80	81.07
10	10.13	90	91.20
20	20.27	95	96.27
30	30.40	98	99.31

Kullanılan AGİ'lerin günlük debi süreklilik çizgisi kuruma noktaları %50-100 aralığında değişmektedir. Kuruma noktasının tahmininde yağışın yanı sıra havza karakteristiklerinden yararlanılmıştır. Bunun için modelde havza alanı, havza eğimi, havza kot farkı ve drenaj yoğunluğu değişkenlerinin de kuruma noktası ile ilişkisi araştırılmıştır. Kuruma noktası ( $\tau$ ) ile havza karakteristikleri arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek amacıyla denklem (3.6)'daki değişkenlerin logaritmaları alınarak

$$\log \tau = \text{Sabit} + b_1 \log A + b_2 \log P + b_3 \log H + b_4 \log S + b_5 \log d \quad (8.1)$$

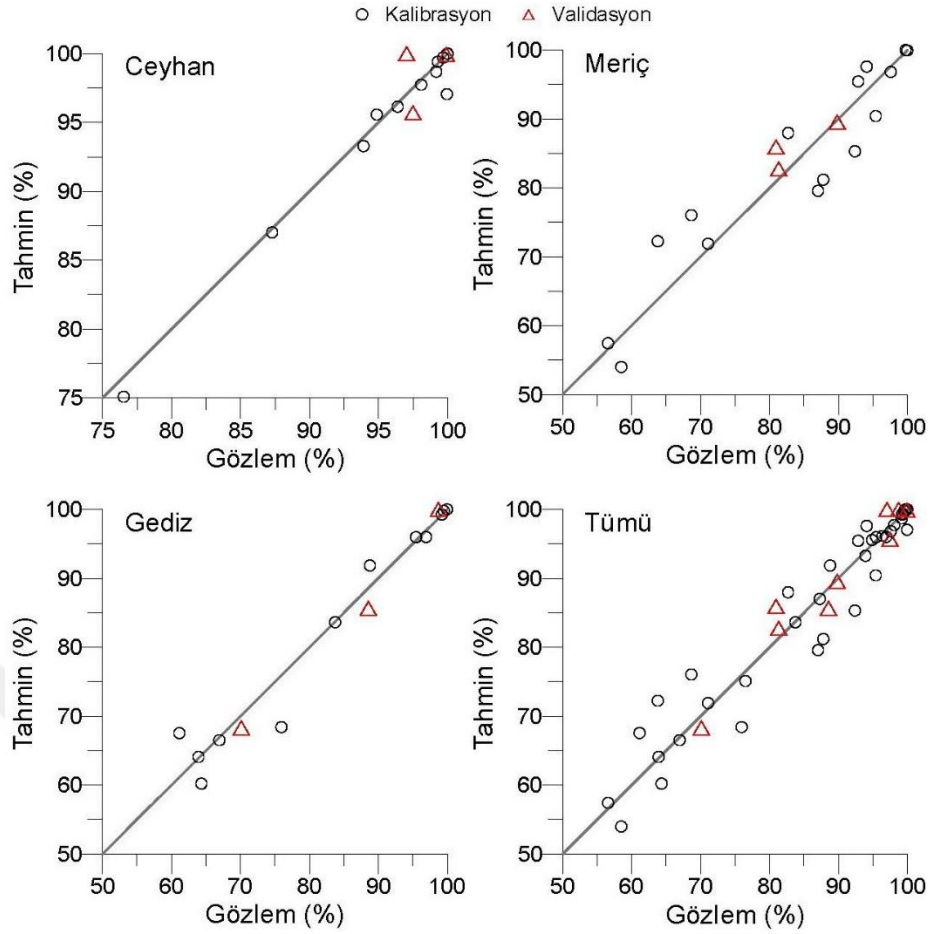
şeklinde doğrusal bir denkleme dönüştürülmüştür. Değişkenlere ait katsayılar Çizelge 8.7'deki gibi her bir havza için hesaplanmıştır. Kuruma noktası hesabında her bir havzadan alınan AGİ'ler kendi içinde alanlarına bağlı olarak sınıflandırılmıştır. Her bir havzadaki AGİ'ler alanlarına göre küçükten büyüğe sıralanmış ve üç sınıfa ayrılmıştır. Havzada küçük alana sahip AGİ'ler 1, orta büyüklükte alana sahip AGİ'ler 2 ve büyük alana sahip AGİ'ler 3 olarak sınıflandırılmıştır. Validasyon amacıyla bu sınıfların her birinden birer AGİ seçilmiştir.

**Çizelge 8.7 :** Kuruma noktası hesabında kullanılan değişkenlerin katsayıları.

Alansal Sınıflama	Katsayı	Havza		
		Ceyhan	Meriç	Gediz
1 Ceyhan (<90 km <sup>2</sup> ) Meriç (<73 km <sup>2</sup> ) Gediz (<64 km <sup>2</sup> )	Sabit	-8.402	3.261	3.216
	$b_1$		-0.041	
	$b_2$	1.579	-0.455	-1.056
	$b_3$	1.744		0.355
	$b_4$			
	$b_5$	-0.422		-0.548
2 Ceyhan (90-175 km <sup>2</sup> ) Meriç (73-175 km <sup>2</sup> ) Gediz (64-700 km <sup>2</sup> )	Sabit	-1.998	-4.580	-22.143
	$b_1$		-0.289	
	$b_2$		2.590	8.208
	$b_3$	1.294	-0.047	0.910
	$b_4$	-1.327		
	$b_5$	1.261		0.865
3 Ceyhan (>175 km <sup>2</sup> ) Meriç (>175 km <sup>2</sup> ) Gediz (>700 km <sup>2</sup> )	Sabit	2.315	17.725	5.516
	$b_1$	-0.005	1.608	-0.434
	$b_2$	-0.107	-3.704	
	$b_3$		-0.662	-0.739
	$b_4$			
	$b_5$		4.206	

Kuruma noktası için Ceyhan, Meriç ve Gediz havzaları ayrı ayrı ve tüm havzalar birlikte alınarak yapılan uygulamadan elde edilen gözlem ve tahmin sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların başarılı olduğu görülmüştür (Şekil 8.10). Üç havzanın bir arada verildiği grafik üzerinde yüksek kuruma noktalarında dahi başarılı tahmin yapıldığı anlaşılmaktadır. Gözlenen ve tahmin edilen kuruma noktaları arasındaki en büyük fark %9 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlendirme ölçütlerine göre model sonuçları kabul edilebilir mertebededir (Çizelge 8.8). Ayrıca kuruma oranı diğer iki havzaya göre daha yüksek olan Gediz havzasında hem kalibrasyon hem de validasyon aşamasında daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kuruma noktası hesabı bu çalışmanın özgün yanlarından birini oluşturmaktadır. Kuruma noktası ile havza karakteristikleri arasında iyi bir ilişki elde edilmiştir. Akım ölçümü olmayan kuruyan akarsuyun debi süreklilik çizgisinin elde edilmesinde bu yöntem kullanılabilir.



Şekil 8.10 : Gözlenen ve tahmin edilen kuruma noktaları.

Çizelge 8.8 : Kuruma noktasının değerlendirme ölçütleri.

	Ölçüt	Ceyhan	Meriç	Gediz
Kalibrasyon	$R^2$	0.984	0.892	0.956
	RMSE	1.001	24.084	10.488
	MAE	0.599	3.969	1.960
Validasyon	$R^2$	0.998	0.749	0.988
	RMSE	7.246	8.950	4.376
	MAE	2.626	2.204	1.981

**d) Normal kuantillerin hesabı:** Normalleştirilen boyutsuz debilerin ortalaması ve standart sapması yani normal dağılım parametreleri bilindiğinden herhangi bir  $D$  aşılma yüzdesine karşı gelen boyutsuz debi ( $w_D$ ) hesaplanabilir (Çizelge 8.9). Bu aşamada debi süreklilik çizgisi uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılan 12 kuantil ele alınmış ve bu kuantillere karşı gelen boyutsuz debiler ( $w_D$ ) belirlenmiştir. Bu kuantiller Çizelge 8.9’da verilmiştir. Bunun dışında %0-100 aralığında herhangi bir kuantile karşı gelen boyutsuz debi ( $w_D$ ) değeri bulunabilir. Örnek olarak; D20A004 no.lu AGİ için  $D = \%25$  aşılma yüzdesinde boyutsuz debi, (3.7) denklemi ile 1.03 olarak hesaplanmıştır.

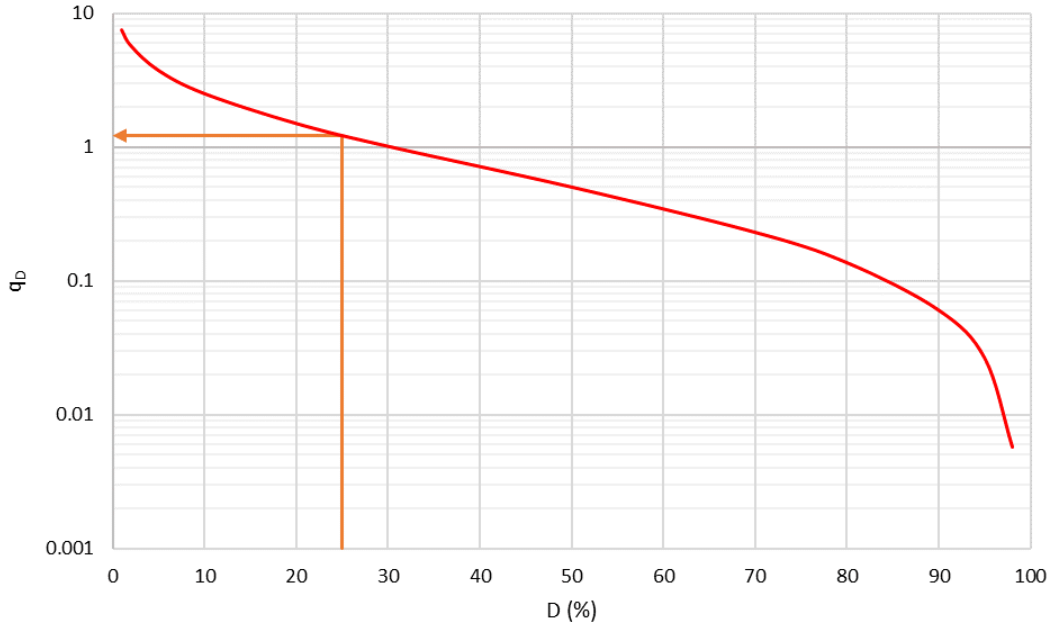
**Çizelge 8.9 :** D20A004 no.lu AGİ’de normal kuantillerin hesaplanması.

$D$ (%)	$z_{D_r}$	$w_D$	$D$ (%)	$z_{D_r}$	$w_D$
1	2.32	1.30	50	-0.02	0.91
2	2.05	1.25	70	-0.55	0.83
5	1.64	1.19	80	-0.88	0.77
10	1.27	1.13	90	-1.35	0.69
20	0.83	1.05	95	-1.78	0.62
30	0.51	1.00	98	-2.46	0.51

**e) Boyutsuz kuantillerin ters dönüşümü:** Normalleştirme işlemi uygulanan boyutsuz debileri kendi dağılımına dönüştürmek için (3.8) denklemi kullanılır (Çizelge 8.10). Yapılan hesaplama örnek olarak D20A004 no.lu AGİ’de  $D = \%25$  aşılma yüzdesinde boyutsuz debi ( $q_D$ ) denklem (3.8) ile 1.22 olarak bulunur (Şekil 8.11).

**Çizelge 8.10 :** D20A004 no.lu AGİ’de boyutsuz kuantillerin ters dönüşümü.

$D$ (%)	$w_D$	$q_D$	$D$ (%)	$w_D$	$q_D$
1	1.30	7.45	50	0.91	0.50
2	1.25	5.69	70	0.83	0.23
5	1.19	3.72	80	0.77	0.14
10	1.13	2.50	90	0.69	0.06
20	1.05	1.50	95	0.62	0.03
30	1.00	1.01	98	0.51	0.01



**Şekil 8.11 :** D20A004 no.lu AGİ’nin boyutsuz debi süreklilik çizgisi.

**f) Ortalama debi:** Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında yağış, havza alanı, havza eğimi, havza kot farkı ve havza drenaj yoğunluğu ortalama debi tahmininde değişken olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda ortalama debi tahmininde değişken sayısı

fazla olduğundan yöntem kısmında değişken seçiminde anlatılan testler uygulanmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkiyi doğrusal regresyonla belirleyebilmek amacıyla denklemler logaritmik formda kullanılmıştır. Ortalama debi için

$$\log \bar{Q}_{m,c} = -5.822 + 0.45 \log A + 1.66 \log H \quad (8.2)$$

$$\log \bar{Q}_{m,M} = -23.759 + 0.575 \log A + 0.635 \log P + 6.776 \log H \\ - 6.502 \log S + 6.254 \log d \quad (8.3)$$

$$\log \bar{Q}_{m,G} = -6.093 + 0.666 \log A + 0.962 \log P + 0.596 \log H \\ - 0.041 \log d \quad (8.4)$$

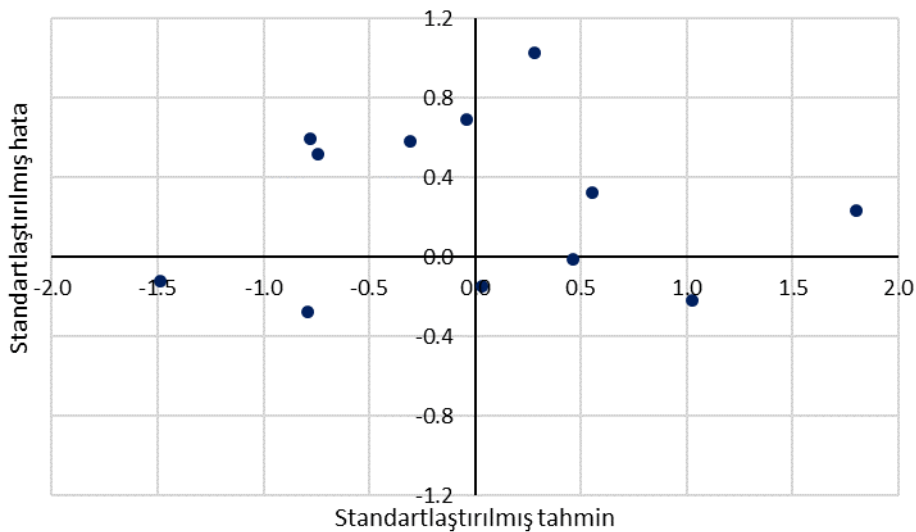
elde edilmiştir. Denklemlerde  $\bar{Q}_{m,c}$  Ceyhan havzasında modelden tahmin edilen ortalama debiyi ( $m^3/s$ ),  $\bar{Q}_{m,M}$  Meriç havzasında modelden tahmin edilen ortalama debiyi ( $m^3/s$ ) ve  $\bar{Q}_{m,G}$  Gediz havzasında modelden tahmin edilen ortalama debiyi ( $m^3/s$ ) ifade etmektedir.

Değişkenlerin anlamlılık derecelerini belirlemek amacıyla t testi ve modelin anlamlılık derecesini belirlemek için F testi kullanılmıştır. Ceyhan havzasında t testi sonuçlarına göre  $A$  ve  $H$  değişkenleri en fazla  $p = 0.099$  düzeyinde modelde anlamlıdır (Çizelge 8.11).  $F$  istatistik değeri (3.15) denklemiyle 8.69 olarak hesaplanmış,  $p = 0.007$  düzeyinde model anlamlı bulunmuştur. Anlamlılık düzeyi sıfıra yakın olduğundan hesaplanan  $F$  değeri ile modelin her düzeyde anlamlı olduğu söylenebilir. Yağış, havza eğimi ve drenaj yoğunluğu değişkenleri ise modele dahil edilmemiştir. Meriç havzasında t testinde  $A$ ,  $P$ ,  $H$ ,  $S$  ve  $d$  değişkenleri en fazla  $p = 0.079$  düzeyinde anlamlıdır. Dolayısıyla tüm değişkenler modelde kullanılmak üzere seçilmiştir.  $F$  istatistik değeri ise 12.8 olarak hesaplanmış,  $p = 0.001$  düzeyinde model anlamlı bulunmuştur. Gediz havzasında t testinde  $A$ ,  $P$ ,  $H$  ve  $d$  değişkenleri için hesaplanan  $t$  istatistiği değerleri en fazla  $p = 0.017$  düzeyinde anlamlı olduğundan  $S$  hariç diğer değişkenler modelde kullanılmıştır. Ayrıca  $F$  istatistik değeri 2.353 olarak hesaplanmış ve  $p = 0.017$  düzeyinde model anlamlı bulunmuştur. Her üç modelde hesaplanan  $F$  istatistiğinin anlamlılık düzeyleri sıfıra çok yakın hesaplanmıştır. Bu nedenle ortalama debi için geliştirilen modeller her anlamlılık düzeyinde geçerlidir.

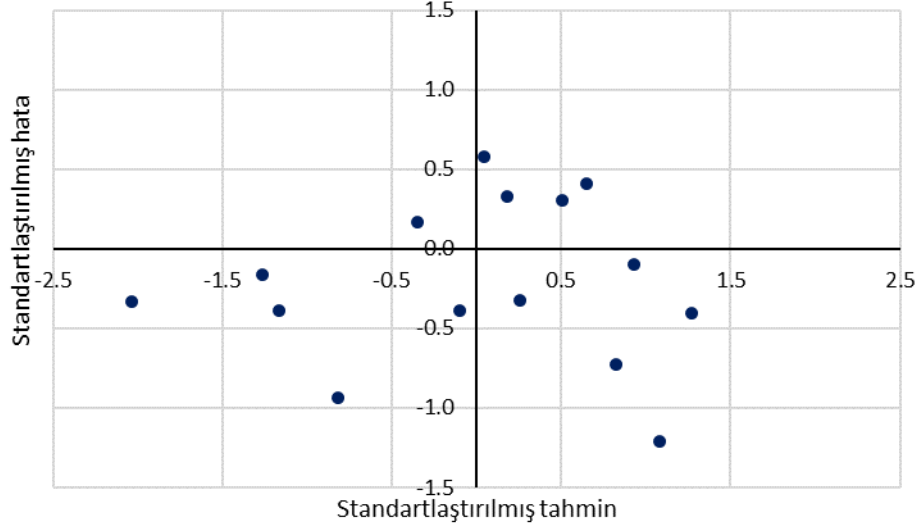
**Çizelge 8.11** : Ortalama debi hesabında değişkenler için t testi sonuçları.

Havza	Değişken	<i>t</i>	Anlamlılık <i>p</i>
Ceyhan	Sabit	-2.77	0.022
	<i>A</i>	1.84	0.099
	<i>H</i>	2.10	0.065
Meriç	Sabit	-1.24	0.068
	<i>A</i>	3.06	0.034
	<i>P</i>	1.29	0.068
	<i>H</i>	0.96	0.076
	<i>S</i>	-0.88	0.078
	<i>d</i>	0.81	0.079
Gediz	Sabit	-7.06	0.000
	<i>A</i>	16.0	0.000
	<i>P</i>	3.50	0.010
	<i>H</i>	3.80	0.007
	<i>d</i>	-1.53	0.017

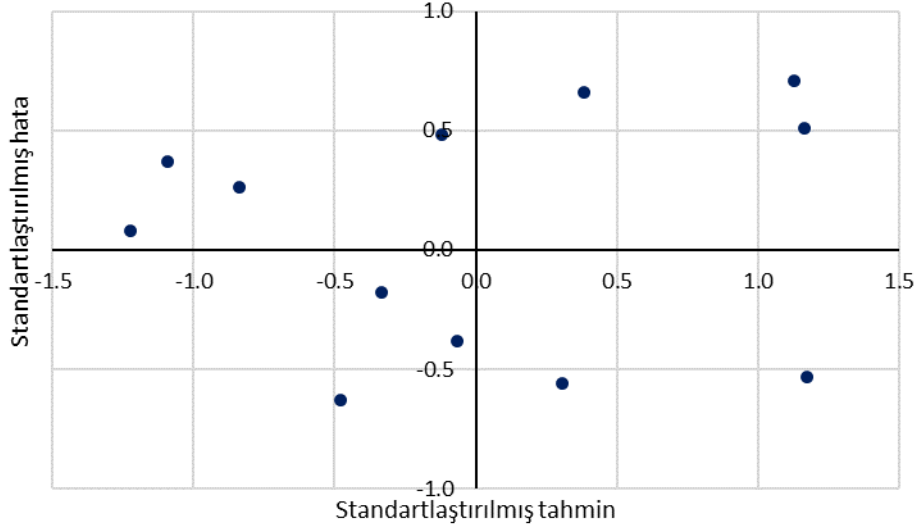
Modelin validasyonu amacıyla varyans artış faktörü (VIF) Ceyhan, Meriç ve Gediz havzalarında sırasıyla 1.44, 1.25, 1.49 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan VIF değerleri kritik değerden küçük olduğundan modellerde kullanılan değişkenler arasında çoklu bağlantı yoktur. Hatalar arasındaki otokorelasyon için Durbin-Watson testi uygulanmıştır. Uygulanan modellerde *DW* istatistiği Ceyhan, Meriç ve Gediz havzalarında sırasıyla 2.13, 2.30 ve 1.62 olarak hesaplanmıştır. Bu testte hesaplanan değerler 1.5-2.5 arasında olduğundan modellerde herhangi bir otokorelasyonun olmadığı söylenebilir. Standartlaştırılmış hata ve standartlaştırılmış tahmin değerleri karşılaştırıldığında da hata değerlerinin rastgele dağıldığı gözlenmiştir (Şekil 8.12-8.14). Dolayısıyla modellerin eşit varyans varsayımı doğrulanmıştır.



**Şekil 8.12** : Ceyhan havzasında ortalama debi hesabında eşit varyans varsayımı.



**Şekil 8.13 :** Meriç havzasında ortalama debi hesabında eşit varyans varsayımı.

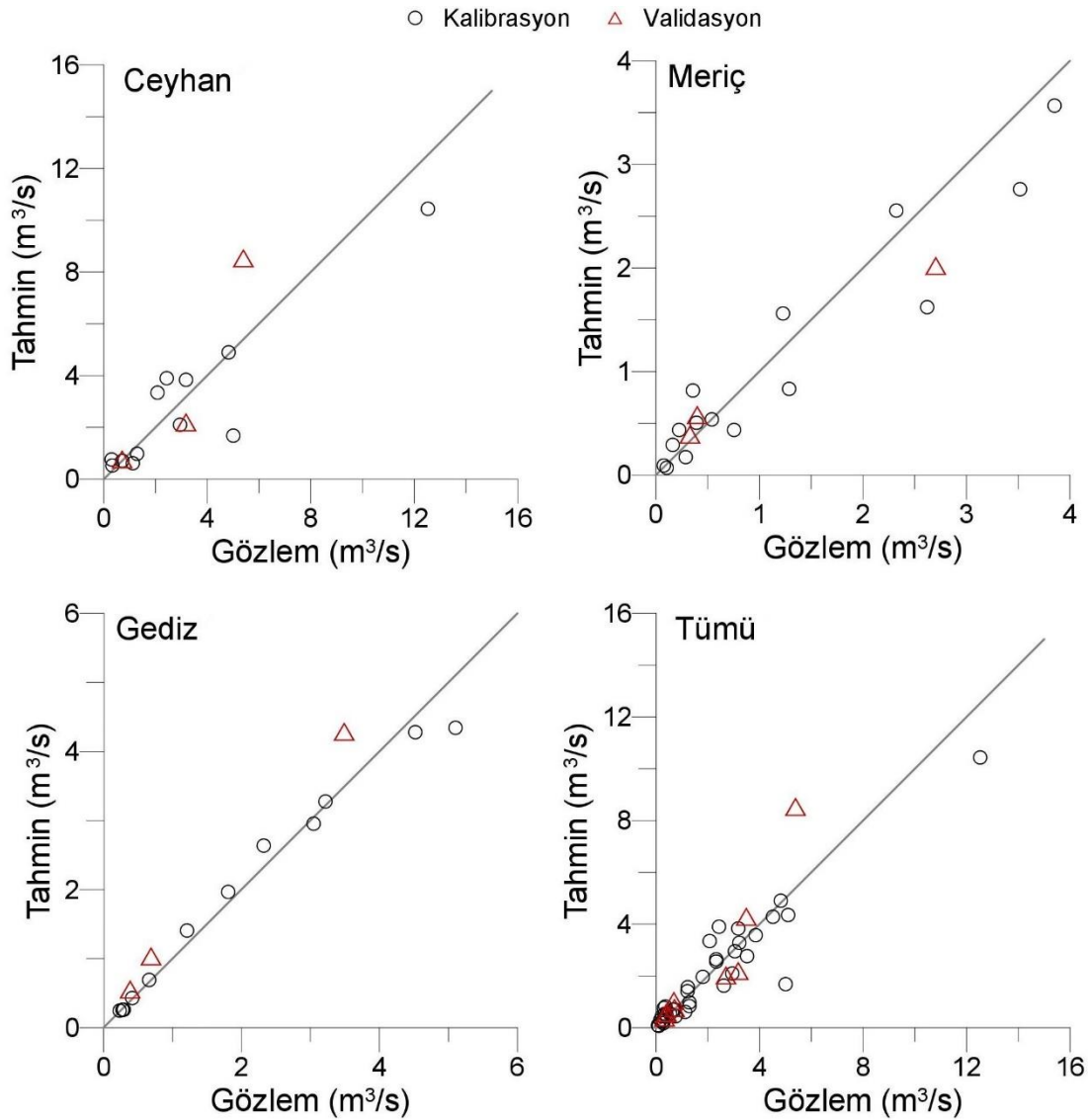


**Şekil 8.14 :** Gediz havzasında ortalama debi hesabında eşit varyans varsayımı.

Denklem (8.2-8.4)'ün performansını incelemek amacıyla determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) hesaplanmıştır (Çizelge 8.12). RMSE ve MAE'ye göre kalibrasyon sonuçları validasyon sonuçlarına göre biraz daha başarılıdır. Yani gözlenen ve tahmin edilen değerler kabul edilebilir mertebede birbirine yakındır (Şekil 8.15).

**Çizelge 8.12 :** Günlük uygulamada ortalama akımların değerlendirme ölçütleri.

		Denklem		
	Ölçüt	(8.2)	(8.3)	(8.4)
	$R^2$	0.845	0.919	0.981
Kalibrasyon	RMSE	1.747	0.153	0.068
	MAE	0.934	0.290	0.160
Validasyon	$R^2$	0.862	0.991	0.999
	RMSE	3.594	0.187	0.257
	MAE	1.389	0.317	0.433



**Şekil 8.15 :** Günlük uygulamada tahmin edilen ve gözlenen ortalama debiler.

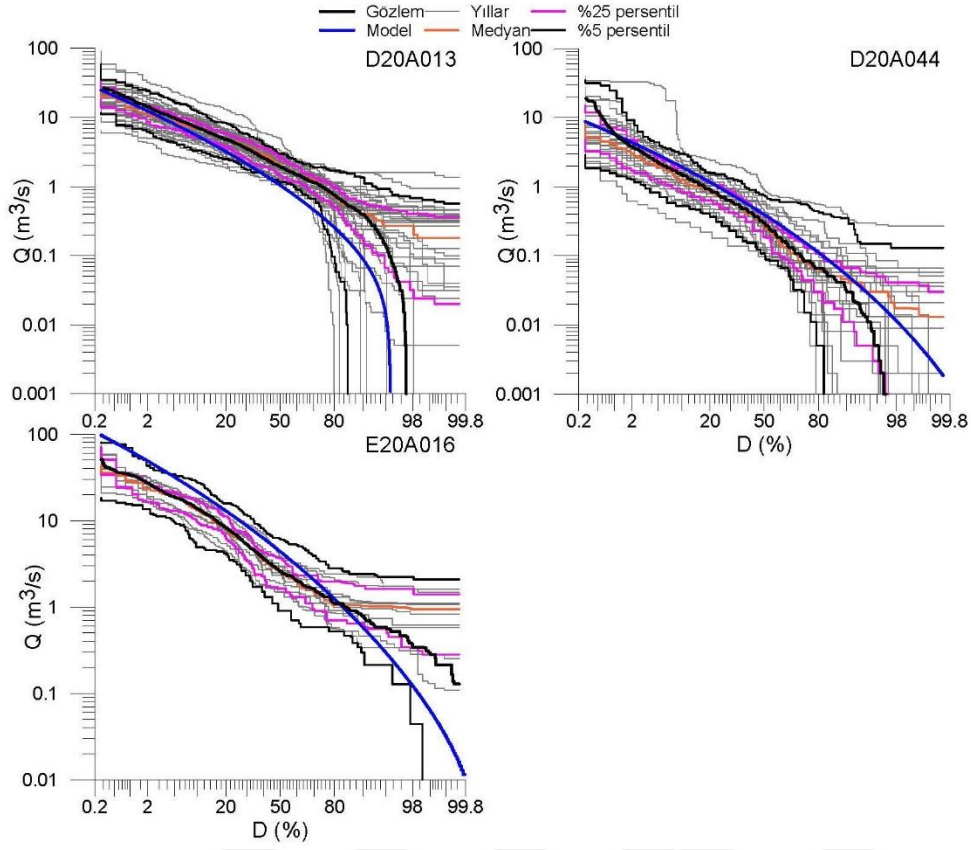
**g) Boyutlu kuantillerin hesabı:** Havza karakteristikleri kullanılarak geliştirilen (8.2-8.4) denklemleri ile ortalama debi tahmin edilebilir. Ortalama debi ve boyutsuz debi değerleri kullanılarak herhangi bir  $D$  aşılma yüzdesindeki debi değeri ( $Q_D$ ) (3.10)

denklemiyle hesaplanır. Bu sayede akım ölçümü olmayan herhangi bir alt havzada her bir aşılma yüzdesindeki debi ( $Q_D$ ) ve bu alt havzanın günlük debi süreklilik çizgisi elde edilebilir.

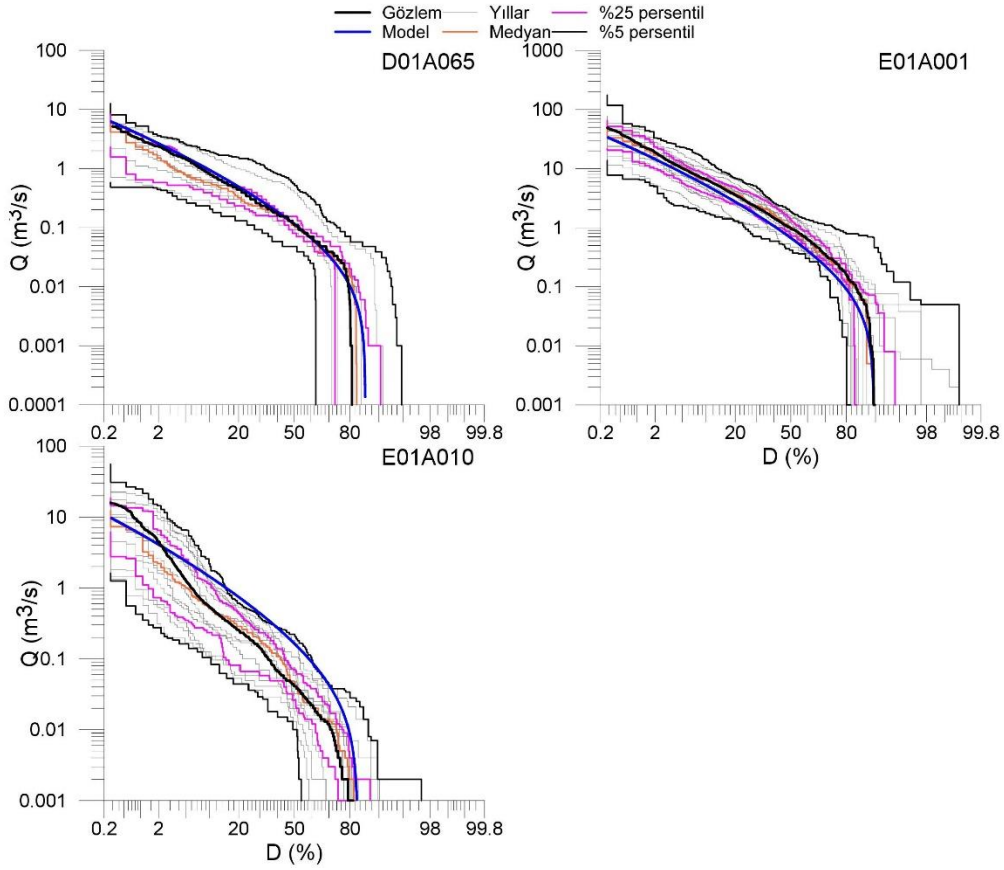
Bu çalışmada Ceyhan, Meriç ve Gediz havzalarında toplam 48 AGİ'nin verisi kullanılmıştır. Yapılan uygulamanın validasyon günlük debi süreklilik çizgileri Şekil 8.16-Şekil 8.18'de verilmiştir. Ceyhan havzasında E20A016 no.lu AGİ yüksek akımlara sahip olduğundan debi süreklilik çizgisi kuruma noktası yüksektir. Bu nedenle belirtilen AGİ'de kuruma eğilimi gözlenmemiştir. Bu AGİ'nin debi süreklilik çizgisinin taşkın değerlerinde gözlenenden daha yüksek değerler tahmin edilmiş, buna karşın düşük akımları gözlenenden daha düşük hesaplanmıştır.

Kalibrasyon AGİ'lerinin debi süreklilik çizgileri Ek B'de Şekil B.3-Şekil B.5'tedir. Ceyhan havzasında benzer şekilde kuruma oranı az olan D20A016 ve D20A058 no.lu AGİ'lerde debi süreklilik çizgisinin düşük akım kısmında daha küçük değerler elde edilmiştir. Benzer durum Meriç havzasında D01A074 no.lu AGİ için de geçerlidir. Gediz havzasında D05A028 no.lu AGİ'de modelden elde edilen debi süreklilik çizgisi yüksek akımlarda gözlem ile uyushmaktadır. Ancak bu AGİ'de gözlenen debi süreklilik çizgisinin orta kısmından itibaren akımların kurumaya meyilli olduğu gözlenmiştir.

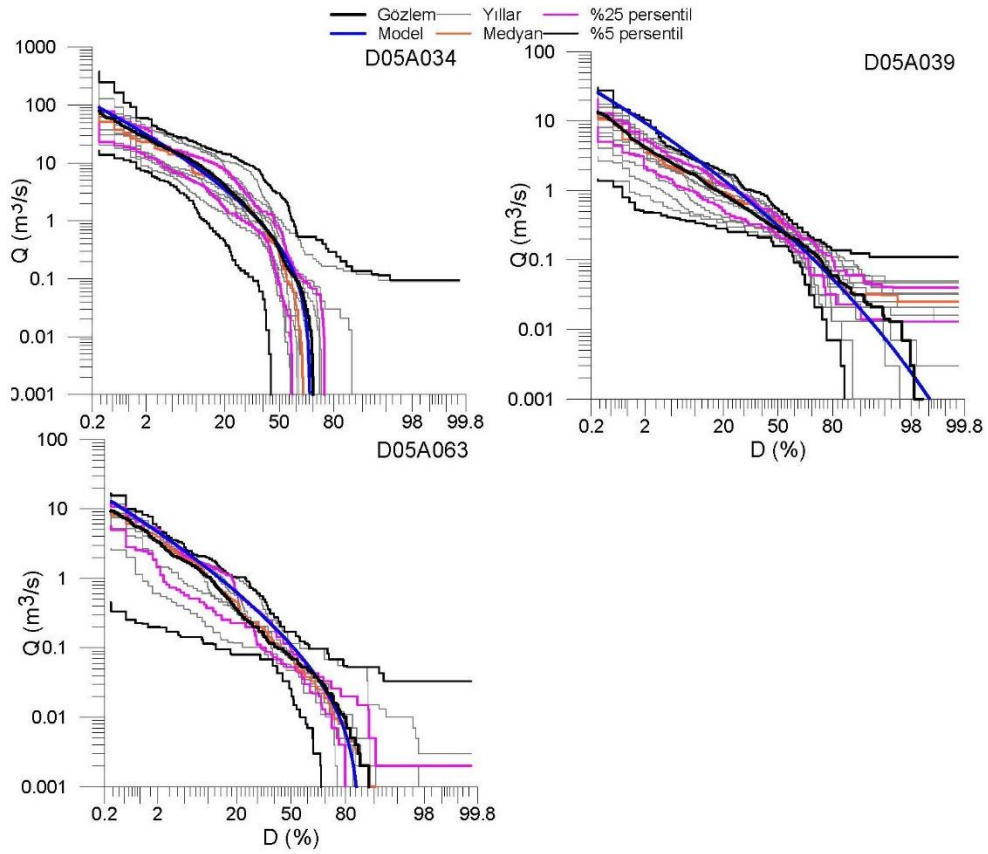
Çizelge 8.13'te kalibrasyon ve validasyon aşamasında debi süreklilik çizgisindeki kuantiller için AGİ bazında değerlendirme ölçütleri hesaplanmıştır. Validasyon aşamasında Meriç ve Gediz havzasında E01A010 ve D05A039 AGİ'lerinde BiasFLV ve BiasFHV için yüksek hata hesaplanmıştır. Bu duruma D05A039 no.lu AGİ'nin kuruma oranının düşük olmasının neden olduğu düşünülmüştür. E01A010 no.lu AGİ'deki hatanın ise gözlenen debi süreklilik çizgisinin diğerlerinden farklı olarak daha dik eğime sahip olması dolayısıyla havzada yağışın hızlı bir şekilde akışa geçmesinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Validasyon için kullanılan diğer AGİ'lerde debi süreklilik çizgisinin değerlendirilmesi amacıyla önerilen BiasFHV, SFDCE, BiasFLV ölçütlerine göre modelin başarılı sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.



Şekil 8.16 : Ceyhan havzası validasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri.



Şekil 8.17 : Meriç havzası validasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri.



**Şekil 8.18 :** Gediz havzası validasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri.

Günlük debi süreklilik çizgisi sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde uygulama sonuçlarının Gediz, Meriç ve Ceyhan havzalarında başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir. Değerlendirme ölçütleri dikkate alınarak bir sıralama yapılması gerekirse modellerin Gediz havzasında diğer iki havzaya göre daha başarılı olduğu, Ceyhan havzası sonuçlarının ise yine değerlendirme ölçütleri bakımından üçüncü sırada kaldığı görülmüştür. Bu performans sıralamasının havzadaki debi süreklilik çizgisinin kuruma noktası ile ilişkili olduğu düşünülmüştür. Yani Gediz havzasındaki akarsuların kuruma oranlarının diğer havzalardan yüksek olması nedeniyle uygulanan yöntemin bu havzada daha başarılı sonuç verdiği gözlenmiştir. O halde geliştirilen modelin akarsuların artan kuruma oranı ile birlikte daha iyi performans sergilediği anlaşılmaktadır. Yine de genel olarak modelin her üç havza için kabul edilebilir düzeyde sonuçlar verdiği vurgulanmalıdır. Akım ölçümü olmayan bir havzadan bahsedildiğinden elde edilen sonuçların ne kadar anlamlı ve önemli olduğu açıktır.

**Çizelge 8.13 : Kalibrasyon ve validasyon aşamasında değerlendirme ölçütleri.**

Havza	Kademe	AGİ No	Değerlendirme ölçütleri							
			RSR	NSE	VE	MAE	RMSE	BiasFHV	SFDCE	BiasFLV
Ceyhan	Kalibrasyon	D20A004	1.33	-0.76	0.89	2.83	5.03	98.61	30.65	-21.12
		D20A008	1.01	-0.02	0.71	2.75	5.04	75.47	19.13	7.08
		D20A016	0.47	0.78	0.30	1.71	3.15	31.86	5.14	-31.46
		D20A019	0.29	0.92	-0.16	2.15	4.67	-19.72	-37.24	270.12
		D20A036	0.82	0.34	-0.69	6.55	11.32	-70.14	-34.12	-25.45
		D20A040	1.85	-2.43	1.49	0.78	1.33	148.37	-17.97	256.19
		D20A058	0.39	0.85	-0.36	0.60	0.75	-30.82	27.28	-80.70
		D20A059	0.42	0.83	-0.34	2.01	3.35	-36.63	-38.00	38.20
		D20A068	0.46	0.79	-0.40	0.97	1.60	-40.39	4.89	-52.67
		D20A071	0.32	0.90	-0.18	0.37	0.80	-21.16	-19.85	61.38
		D20A072	0.60	0.64	0.46	0.27	0.49	45.25	-15.99	130.48
		E20A009	0.17	0.97	-0.03	2.84	3.87	1.44	24.24	-56.06
	Validasyon	D20A013	0.22	0.95	-0.22	1.05	1.33	-17.68	36.20	-66.58
		D20A044	0.16	0.97	0.14	0.19	0.29	12.14	-13.14	81.77
		E20A016	0.99	0.02	0.72	6.47	11.29	76.24	12.88	-8.33
Meriç	Kalibrasyon	D01A010	0.59	0.66	-0.45	3.36	7.68	-47.00	-25.42	211.63
		D01A012	0.28	0.92	0.25	1.10	1.91	26.05	26.36	-12.49
		D01A013	0.57	0.68	-0.47	0.76	1.61	-47.44	-16.74	-2.79
		D01A029	0.56	0.69	-0.44	1.31	3.08	-44.27	-4.01	-22.78
		D01A031	1.25	-0.57	0.77	0.50	0.97	89.29	46.86	-53.04
		D01A039	0.54	0.71	-0.45	0.60	1.40	-44.39	-9.29	0.00
		D01A046	0.65	0.58	0.71	0.35	0.58	68.36	-36.30	0.00
		D01A062	0.62	0.61	0.71	0.59	0.99	68.98	-17.61	0.00
		D01A063	0.55	0.69	-0.49	0.32	0.61	-49.68	-14.84	-24.11
		D01A064	0.32	0.90	0.36	0.12	0.22	35.27	9.58	0.00
		D01A066	0.16	0.98	0.14	0.03	0.05	12.97	3.97	61.75
		D01A074	0.24	0.94	-0.22	0.04	0.06	-19.13	31.39	-67.43
	E01A002	0.43	0.82	-0.38	3.05	5.69	-38.50	-1.86	-27.94	
	E01A006	0.29	0.91	-0.15	2.17	4.83	-16.07	6.15	-9.32	
	E01A011	0.53	0.72	0.49	1.15	1.97	51.27	41.43	-19.59	
Validasyon	D01A065	0.17	0.97	0.13	0.09	0.18	12.93	10.82	-2.45	
	E01A001	0.28	0.92	-0.23	1.26	2.42	-23.09	7.76	-38.65	
	E01A010	0.33	0.89	0.01	0.45	0.81	-2.29	-6.33	294.22	
Gediz	Kalibrasyon	D05A015	0.17	0.97	-0.16	0.65	1.23	-15.53	-5.39	0.00
		D05A018	0.25	0.94	-0.19	0.11	0.27	-18.89	-3.39	0.00
		D05A026	0.29	0.91	-0.10	0.21	0.44	-11.68	20.78	4.97
		D05A028	0.36	0.87	0.26	1.74	3.75	26.23	-39.81	463.97
		D05A042	1.82	-2.33	0.97	1.93	4.13	114.33	56.96	-60.32
		D05A043	0.31	0.90	0.19	0.18	0.44	19.63	-8.01	23.74
		D05A052	0.26	0.93	-0.13	0.14	0.22	-10.29	-13.73	0.00
		E05A014	0.50	0.75	0.40	1.92	3.92	39.72	-5.72	53.53
		E05A020	0.32	0.90	-0.30	3.68	6.76	-30.00	-6.37	0.00
		E05A022	0.04	1.00	0.02	0.26	0.50	1.76	-9.79	34.92
		E05A025	0.48	0.77	0.34	0.46	0.97	36.58	6.52	-21.59
		E05A027	0.09	0.99	-0.09	0.86	1.43	-8.37	62.43	-100.00
	Validasyon	D05A034	0.19	0.96	0.09	1.10	2.48	9.26	-2.06	-100.00
		D05A039	1.29	-0.66	1.02	1.34	2.65	107.46	35.10	-20.44
		D05A063	0.35	0.87	0.35	0.33	0.60	34.38	26.54	-18.80

## **9. SONUÇLAR**

### **9.1 Genel**

Akım ölçümü olmayan kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisi modeli ile ilgili yapılmış çalışmalar yeni ve gelişmeye açıktır. Havzalarda özellikle insan müdahalesi etkilerinin arttığı günümüzde su potansiyelinin belirlenmesi, su kaynaklarının planlaması ve yönetilmesi gibi çalışmalarda debi süreklilik çizgisi tahmini ayrıca önem kazanmaktadır. Bilgisayar yazılım ve donanımının gelişmesi sayesinde coğrafi bilgi sistemlerinde de gelişmeler gözlenmiştir. Özellikle havza karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik yapılan hesaplamalar ile hidroloji alanındaki çalışmalarda büyük kolaylıklar sağlanmış ve hidroloji biliminde ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu çalışmada havza karakteristiklerinin ve havzanın alansal yağışının hesaplanması coğrafi bilgi sistemleri yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Çalışmada geliştirilen debi süreklilik çizgisi modeli, boyutsuzlaştırma, normalleştirme, kuruma noktasının hesaplanması, normal kuantillerin hesaplanması, boyutsuz kuantillerin ters dönüşümünün yapılması, ortalama debinin hesaplanması ve boyutlu kuantillerin hesaplanması aşamalarından oluşmakta ve akım ölçümü olmayan kuruyan akarsularda uygulanmaktadır.

Akım ölçümü olmayan kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisinin modellenmesi amacıyla yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Sonuçlar yıllık, aylık ve günlük debi süreklilik çizgisi ile ilgili sonuçlar şeklinde ayrı başlıklar altında değerlendirilmiştir.

### **9.2 Yıllık Debi Süreklilik Çizgisi ile ilgili Sonuçlar**

Yıllık debi süreklilik çizgisi uygulaması Seyhan ve Ceyhan havzalarında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Tahmin edilen ve gözlenen ortalama debiler arasında kalibrasyon verisi için 0.9'a yakın, validasyon verisi için 0.7'nin üzerinde determinasyon katsayısı

hesaplanmıştır. Havza alanının yanında yağış ve havza eğimi de ortalama debiyi belirlemede önemli yer tutmuştur.

2. Yıllık akımları düşük olan AGİ'lerde modelden elde edilen yıllık debi süreklilik çizgisi gözlenen debi süreklilik çizgisinden yukarıda gözlenmiştir. Bu durum havzadaki AGİ'lerin yıllık akım değerlerinin yüksek olmasıyla ilgilidir.
3. Çalışmada Seyhan ve Ceyhan havzaları birlikte değerlendirilmiştir. Seyhan havzasındaki akımların değişken olduğu, bunun yanında Ceyhan havzasındaki akımların daha az değişken olduğu gözlenmiştir. Kullanılan AGİ sayısı daha fazla olan ve akımları daha az değişken olan Ceyhan havzasında daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
4. Yıllık debi süreklilik çizgisinin taşkın ve düşük akım kısımlarında az sayıda AGİ'de gözlemden farklı sonuçlar elde edilmiş, bu durum AGİ'lerin yağış-akış ilişkisine bağlanmıştır.
5. Modelden elde edilen yıllık debi süreklilik çizgileri çoğunlukla gözlenen yıllık debi süreklilik çizgileriyle aynı eğime sahiptir.
6. Çalışmada kullanılan değerlendirme ölçütleri yıllık debi süreklilik çizgisini değerlendirmede kolaylık sağlamıştır.

### 9.3 Aylık Debi Süreklilik Çizgisi ile ilgili Sonuçlar

Aylık debi süreklilik çizgisi uygulamasına aylık zaman ölçeğinde kuruma gözlenen Ceyhan havzası ile devam edilmiş, kuruma gözlenmeyen Seyhan havzası bu uygulamada kullanılmamıştır. Uygulama sonuçları aşağıdaki gibidir.

1. Uygulamada aylık debi süreklilik çizgisinin düşük akım kısımlarında modelde daha yüksek değerler hesaplanan AGİ'ler bulunmaktadır. Havzada kuruma oranı düşük olmakla birlikte bu AGİ'lerin düşük akımları havzadaki diğer AGİ'lere göre daha küçük değerlere sahiptir.
2. Model, aylık debi süreklilik çizgisinin yüksek ve orta kısımlarında (%0-70 arasında) başarılı sonuçlar vermiştir. Aylık debi süreklilik çizgisinde düşük akımlar ayrıca değerlendirilmelidir.
3. Hesaplanan değerlendirme ölçütlerine göre aylık debi süreklilik çizgisinde yıllık debi süreklilik çizgisine göre daha küçük hatalar gözlenmiştir. Debi süreklilik çizgileri için değerlendirme ölçütlerinden RSR için yıllık

uygulamada hesaplanan hata 0.11-14.89 aralığında iken aylık uygulamada 0.06-0.51 aralığında kalmıştır. Ayrıca aylık uygulamada hesaplanan hata değerleri çoğunlukla sıfıra yakın çıkmıştır.

#### 9.4 Günlük Debi Süreklilik Çizgisi ile ilgili Sonuçlar

Günlük debi süreklilik çizgisi uygulamasında kuruma oranı düşük olan Ceyhan havzasına kuruma oranı daha yüksek olan Meriç ve Gediz havzaları da eklenmiştir. Uygulama sonuçları aşağıdaki değerlendirilmiştir.

1. Ortalama debi tahmininde havza alanı, yağış ve havza eğimiyle birlikte havza kot farkı ve havza drenaj yoğunluğu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tahmin edilen ve gözlenen akımlar arasında çok yüksek korelasyon gözlenmiştir.
2. Debi süreklilik çizgisinin yatay eksenini kestiği aşılma yüzdesi olarak tanımlanan kuruma noktası tahmininde yağışın yanında diğer havza karakteristiklerinden de yararlanılmıştır. Gözlenen ve modelden elde edilen kuruma noktaları arasında çok küçük farklar gözlenmiştir. Yani, akım ölçümü olmayan kuruyan bir akarsuyun debi süreklilik çizgisinin kuruma noktası havza karakteristiklerinden elde edilebilir.
3. Modelde debi süreklilik çizgisi kuruma noktası belirlenirken havzaların sınıflandırılması ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenle AGİ'ler havza alanlarına göre üç sınıfa ayrılmıştır.
4. Hidrolojik havzalarda akarsuyun kuruma oranı arttıkça akımların normalleştirilmesinde kullanılan üstel dönüşüm katsayısı  $\theta$ 'nın azaldığı gözlenmiştir. Ceyhan, Meriç ve Gediz havzalarında kuruma oranlarında artış gözlenmiş, dönüşüm üsteli olan  $\theta$  değerleri sırasıyla 0.131, 0.095 ve 0.085 alınmıştır.
5. Ceyhan havzasında AGİ'lerin dörtte birinde modelden elde edilen debi süreklilik çizgileri gözlenen debi süreklilik çizgisinden farklı bulunmuştur. Bu duruma AGİ'lerin havzadaki diğer AGİ'lerden daha düşük akımlara sahip olması neden olmuştur. Meriç ve Gediz havzalarında bu durum sadece birer AGİ'de gözlenmiştir.
6. AGİ'lerin her bir yıldaki debi süreklilik çizgileri kullanılarak %5 ve %25 güven aralıkları oluşturulmuştur. Modelden elde edilen debi süreklilik çizgileri

genellikle %5 güven aralığı içerisinde kalmıştır. Kuruyan bir akarsudaki debi süreklilik çizgisini değerlendirmede ise güven aralıkları yerine çalışmada kullanılan değerlendirme ölçütlerinin kullanılması daha uygun bulunmuştur.

7. Kuruma oranı çok düşük olan Ceyhan havzasındaki iki AGİ'de model sonuçları gözlemin altında kalmıştır. Bunun yanında modelin, kuruma oranı yüksek olan Meriç ve Gediz havzalarında başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu nedenle akım ölçümü olmayan kuruyan akarsular için geliştirilen debi süreklilik çizgisi modelinin kuruma oranı yüksek olan akarsu havzalarında kullanılması uygun olacaktır.

### 9.5 Geleceğe Yönelik Düşünceler

1. Debi süreklilik çizgisinin kullanım alanları çok geniştir. Günlük ve aylık zaman ölçeğinde eksik akım verilerinin tahmin edilmesi, akarsuda hidroelektrik gücün belirlenebilmesi amacıyla belli aşılma yüzdesindeki debinin hesaplanması ya da güç süreklilik çizgisinin elde edilmesi gibi birçok alanda debi süreklilik çizgisinin yaygın bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir.
2. Geliştirilen model sayesinde akım ölçümü olmayan kuruyan bir akarsuda tasarım için gerekli hidrolojik bilgiler karşılanabilecektir. Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) gibi su mühendisliği alanında çalışma yapan resmi kurumlar tarafından kullanılabilir pratik bir model sunulmuştur.
3. Gelecekte yapılacak çalışmalarda akımlar için düşük, orta ve yüksek şeklinde bir sınıflamaya gidilebilir. Ayrıca aynı havza içinde farklı hidrolojik özelliğe sahip alt havzalar bulunabilir. Yeterli sayıda AGİ'nin mevcut olması durumunda havza içerisinde AGİ'ler bir sınıflandırmaya tabi tutularak modelleme yapılabilir. Uygulama adımları ve havza karakteristiklerinin kolay bir şekilde hesaplanabildiği düşünüldüğünde geliştirilen yöntemin birçok alandaki kullanıcıya faydalı olacağı düşünülmektedir.
4. Gelişmeye açık bir konu olan akım ölçümü olmayan kuruyan akarsularda debi süreklilik çizgisi modeli istatistiksel yöntemlere dayanmaktadır. Gelecekte yapay zeka ve entropi gibi yaklaşımların hidroloji alanındaki uygulamalarının yaygınlaşması ile akım tahmini için yeni modeller geliştirilebilir. Ayrıca insan

müdahalesi ve iklimsel etkiler nedeniyle havzada, dolayısıyla debi süreklilik çizgisinde meydana gelecek değişimler modelde daha detaylı incelenebilir.





## KAYNAKLAR

- Ağralioğlu, N., Cıgızoğlu, H. K., Yılmaz, L., Coşkun, G., Aksoy, H., Toprak, F., .... Ülken, İ.** (2009). Akım ölçümleri olmayan akarsu havzalarında teknik hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi, *Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Proje No: 106M043*, 188 sayfa.
- Aksoy, H.** (1998). *Kuruyan akarsuların günlük akımlarının modellenmesi* (Doktora Tezi), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Archfield, S. A., Steeves, P. A., Guthrie, J. D., Ries III, K. G.** (2013). Towards a publicly available, map-based regional software tool to estimate unregulated daily streamflow at ungauged rivers. *Geoscientific Model Development*, 6, 101-115.
- Arora, M., Goel, N. K., Singh, P., Singh, R. D.** (2005). Regional flow duration curve for a Himalayan river Chenab. *Nordic Hydrology*, 36(2), 193-206.
- Atieh, M., Gharabaghi, B., Rudra, R.** (2015). Entropy-based neural networks model for flow duration curves at ungauged sites. *Journal of Hydrology*, 529, 1007-1020.
- Baltas, E. A.** (2012). Development of a regional model for hydropower potential in western Greece. *Global NEST Journal*, 14(4), 442-449.
- Bari, M. F., Shafiul Islam, Kh. Md.** (2006). Stochastic model of flow duration curves for selected rivers in Bangladesh. *Climate Variability and Change—Hydrological Impacts, Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference*, Havana, Küba, IAHS-AISH publication, 308, 99-104.
- Bayazıt, M.** (1996). *İnşaat mühendisliğinde olasılık yöntemleri*. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Bayazıt, M.** (1999). *Hidroloji*. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Berhanu, B., Seleshi, Y., Demisse, S. S., Melesse, A. M.** (2015). Flow regime classification and hydrological characterization: a case study of Ethiopian Rivers. *Water*, 7, 3149-3165.
- Blöschl, G., Sivapalan, M., Wagener, T., Viglione, A., Savenije, H.** (2013). *Runoff prediction in ungauged basins: synthesis across processes, places and scales*. Cambridge University Press.
- Booker, D. J., Snelder, T. H.** (2012). Comparing methods for estimating flow duration curves at ungauged sites. *Journal of Hydrology*, 434-435, 78-94.
- Boscarello, L., Ravazzani, G., Cislighi, A., Mancini, M.** (2016). Regionalization of flow-duration curves through catchment classification with streamflow signatures and physiographic-climate indices. *Journal of Hydrologic Engineering*, 21(3), 05015027.

- Bozchaloei, S. K., Vafakhah, M.** (2015). Regional analysis of flow duration curves using adaptive neuro-fuzzy inference system. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(12), 06015008.
- Burgan, H. I., Aksoy, H.** (2018). Annual flow duration curve model for ungauged basins. *Hydrology Research*, 49(5), 1684-1695.
- Castellarin, A., Vogel, R. M., Brath, A.** (2004). A stochastic index flow model of flow duration curves. *Water Resources Research*, 40, W03104.
- Castellarin, A., Camorani, G., Brath, A.** (2007). Predicting annual and long-term flow-duration curves in ungauged basins. *Advances in Water Resources*, 30, 937-953.
- Castellarin, A.** (2014). Regional prediction of flow-duration curves using a three-dimensional kriging. *Journal of Hydrology*, 513, 179-191.
- Cıgızoğlu, H. K.** (1997). *Debi süreklilik çizgisinin matematik modelleri* (Doktora Tezi), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cıgızoğlu, H. K., Bayazit, M.** (2000). A generalized seasonal model for flow duration curve. *Hydrological Processes*, 14, 1053-1067.
- Costa, V., Fernandes, W., Naghettini, M.** (2014). Regional models of flow-duration curves of perennial and intermittent streams and their use for calibrating the parameters of a rainfall-runoff model. *Hydrological Sciences Journal*, 59(2), 262-277.
- Crocker, K. M., Young, A. R., Zaidman, M. D., Rees, H. G.** (2003). Flow duration curve estimation in ephemeral catchments in Portugal. *Hydrological Sciences Journal*, 48(3), 427-439.
- Doulatyari, B., Betterle, A., Basso, S., Biswal, B., Schirmer, M., Botter, G.** (2015). Predicting streamflow distributions and flow duration curves from landscape and climate. *Advances in Water Resources*, 83, 285-298.
- Fennessey, N., Vogel, R. M.** (1990). Regional flow-duration curves for ungauged sites in Massachusetts. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 116(4), 530-549.
- Foster, H. A.** (1934). Duration curves, *ASCE Transactions*, 99, 1213-1267.
- Franchini, M., Suppo, M.** (1996). Regional analysis of flow duration curves for a limestone region. *Water Resources Management*, 10, 199-218.
- Ganora, D., Claps, P., Laio, F., Viglione, A.** (2009). An approach to estimate nonparametric flow duration curves in ungauged basins. *Water Resources Research*, 45, W10418.
- Güriş, S., Çağlayan, E.** (2000). *Ekonometri temel kavramlar*. Der Yayınevi, Yayın No:282.
- Hashmi, M. Z., Shamseldin, A. Y.** (2014). Use of gene expression programming in regionalization of flow duration curve. *Advances in Water Resources*, 68, 1-12.
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M.** (2002). *Statistical methods in water resources*. US Geological Survey.

- Hrachowitz, M., Savenije, H. H. G., Blöschl, G., McDonnell, J. J., Sivapalan, M., Pomeroy, J. W., ..... Cudennec, C.** (2013). A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)—a review. *Hydrological Sciences Journal*, 58(6), 1198-1255.
- Hughes, D. A., Smakhtin, V.** (1996). Daily flow time series patching or extension: a spatial interpolation approach based on flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal*, 41(6), 851-871.
- Iacobellis, V.** (2008). Probabilistic model for the estimation of  $T$  year flow duration curves. *Water Resources Research*, 44, W02413.
- Kim, J. T., Kim, G. B., Chung, I. M., Jeong, G. C.** (2014). Analysis of flow duration and estimation of increased groundwater quantity due to groundwater dam construction. *The Journal of Engineering Geology*, 24(1), 91-98.
- Lane, P. N. J., Best, A. E., Hickel, K., Zhang, L.** (2005). The response of flow duration curves to afforestation. *Journal of Hydrology*, 310, 253-265.
- LeBoutillier, D. W., Waylen, P. R.** (1993). A stochastic model of flow duration curves. *Water Resources Research*, 29(10), 3535-3541.
- Mendicino, G., Senatore, A.** (2013). Evaluation of parametric and statistical approaches for the regionalization of flow duration curves in intermittent regimes. *Journal of Hydrology*, 480, 19-32.
- Mimikou, M., Kaemaki, S.** (1985). Regionalization of flow duration characteristics. *Journal of Hydrology*, 82(1), 77-91.
- Mohamoud, Y. M.** (2008). Prediction of daily flow duration curves and streamflow for ungauged catchments using regional flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal*, 53(4), 706-724.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., Veith, T. L.** (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Müller, M. F., Dralle, D. N., Thompson, S. E.** (2014). Analytical model for flow duration curves in seasonally dry climates. *Water Resources Research*, 50(7), 5510-5531.
- Müller, M. F., Thompson, S. E.** (2016). Comparing statistical and process-based flow duration curve models in ungauged basins and changing rain regimes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(2), 669-683.
- Pfannerstill, M., Guse, B., Fohrer, N.** (2014). Smart low flow signature metrics for an improved overall performance evaluation of hydrological models. *Journal of Hydrology*, 510, 447-458.
- Poncelet, C., Andréassian, V., Oudin, L., Perrin, C.** (2017). The quantile solidarity approach for the parsimonious regionalization of flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal*, 62(9), 1364-1380.
- Post, D. A.** (2004). A new method for estimating flow duration curves: an application to the Burdekin River Catchment, North Queensland, Australia. *2<sup>nd</sup> International Congress on Environmental Modelling and Software*, Osnabrück, Germany.

- Pugliese, A., Castellarin, A., Brath, A.** (2014). Geostatistical prediction of flow-duration curves in an index-flow framework. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 3801-3816.
- Quimpo, R. G., Alejandrino, A. A., McNally, T. A.** (1983). Regionalized flow duration for Philippines. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 109(4), 320-330.
- Reddy, G. P. O., Maji, A. K., Gajbhiye, K. S.** (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India – a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6, 1-16.
- Rianna, M.** (2010). *Regionalization of flow duration curves in flow regimes of intermittent streams* (Doktora Tezi), Roma La Sapienza Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Roma, İtalya.
- Rianna, M., Russo, F., Napolitano, F.** (2011). Stochastic index model for intermittent regimes: from preliminary analysis to regionalization. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 1189-1203.
- Rianna, M., Efstratiadis, A., Russo, F., Napolitano, F., Koutsoyiannis, D.** (2013). A stochastic index method for calculating annual flow duration curves in intermittent rivers. *Irrigation and Drainage*, 62(Suppl. 2), 41-49.
- Ridolfi, E., Kumar, H., Bardossy, A.** (2018). A methodology to estimate flow duration curves at partially ungauged basins. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, doi: 10.5194/hess-2018-347.
- Risley, J. C., Stonewall, A., Haluska, T. L.** (2008). *Estimating flow-duration and low-flow frequency statistics for unregulated streams in Oregon* (No. FHWA-OR-RD-09-03). US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Saka, F.** (2012). *Sentetik debi süreklilik eğrilerinin matematiksel yöntemlerle belirlenmesi ve Doğu Karadeniz örneği* (Doktora Tezi), KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Saville, T., Watson, J. D.** (1933). An investigation of the flow-duration characteristics of North Carolina streams. *Transactions American Geophysical Union*, 14(1), 406-425.
- Searcy, J. K.** (1959). *Flow-duration curves* (No. 1542-A). US Government Printing Office.
- Shao, Q., Zhang, L., Chen, Y. D., Singh, V. P.** (2009). A new method for modelling flow duration curves and predicting streamflow regimes under altered land-use conditions. *Hydrological Sciences Journal*, 54(3), 606-622.
- Singh, K. P.** (1971). Model flow duration and streamflow variability. *Water Resources Research*, 7(4), 1031-1036.
- Singh, R. D., Mishra, S. K., Chowdhary, H.** (2001). Regional flow-duration models for large number of ungauged Himalayan catchments for planning microhydro projects. *Journal of Hydrologic Engineering*, 6(4), 310-316.
- Singh, V. P., Byrd, A., Cui, H.** (2014). Flow duration curve using entropy theory. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(7), 1340-1348.

- Sugiyama, H., Vudhivanich, V., Whitaker, A. C., Lorsirirat, K.** (2003). Stochastic flow duration curves for evaluation of flow regimes in rivers. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(1), 47-58.
- Tosunoğlu, F., İspirli, M. N., Gürbüz, F., Şengül, S.** (2017). Fırat Havzası'ndaki eksik akım verilerinin debi süreklilik çizgileri ve regresyon modelleri ile tahmin edilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(4), 85-94.
- Url-1** <[hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT\\_DEM](http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_DEM)>, erişim tarihi 31.12.2017
- Viola, F., Noto, L. V., Cannarozzo, M., La Loggia, G.** (2011). Regional flow duration curves for ungauged sites in Sicily. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 323-331.
- Vogel, R. M., Fennessey, N. M.** (1994). Flow-duration curves I: New interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120(4), 485-504.
- Wittenberg, H.** (1987). Regional analysis of flow duration curves, *FRIENDS in Hydrology*, Bolkesjø, Norveç, IAHS Publ. No. 187, 213-220.
- Yamazaki, D., Ikeshima, D., Tawatari, R., Yamaguchi, T., O'Loughlin, F., Neal, .....** **Bates, P. D.** (2017). A high-accuracy map of global terrain elevations. *Geophysical Research Letters*, 44(11), 5844-5853.
- Yaşar, M., Baykan, N. O.** (2013). Prediction of flow duration curves for ungauged basins with Quasi-Newton method. *Journal of Water Resource and Protection*, 5, 97-110.
- Yilmaz, K. K., Gupta, H. V., Wagener, T.** (2008). A process-based diagnostic approach to model evaluation: Application to the NWS distributed hydrologic model. *Water Resources Research*, 44(9), W09417.
- Yu, P. S., Yang, T. C.** (1996). Synthetic regional flow duration curve for southern Taiwan. *Hydrological Processes*, 10(3), 373-391.
- Yu, P. S., Yang, T. C., Wang, Y. C.** (2002). Uncertainty analysis of regional flow duration curves. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128(6), 424-430.
- Zhang, Y., Singh, V. P., Byrd, A. R.** (2017). Entropy parameter  $M$  in modeling a flow duration curve. *Entropy*, 19(12), 654.



## **EKLER**

**EK A:** Verilerin istatistiksel özellikleri

**EK B:** Debi süreklilik çizgisi uygulaması kalibrasyon sonuçları





**EK A : Verilerin istatistiksel özellikleri****Çizelge A.1 : Seyhan havzası yıllık akım verilerinin istatistiksel özellikleri.**

AGİ No	Ortalama (l/s-km <sup>2</sup> )	Min (l/s-km <sup>2</sup> )	Mak (l/s-km <sup>2</sup> )	St Sapma (l/s-km <sup>2</sup> )	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Gözlem süresi (yıl)
D18A005	10.23	5.75	18.26	3.82	0.37	1.39	8
D18A006	6.54	3.91	8.62	1.76	0.27	-0.67	5
D18A008	102.34	41.95	174.41	31.05	0.30	0.21	48
D18A009	9.73	5.16	14.94	4.04	0.42	0.37	7
D18A010	32.99	32.99	32.99	-	-	-	1
D18A012	6.84	3.32	12.28	2.24	0.33	0.51	28
D18A014	3.58	3.58	3.58	-	-	-	1
D18A016	5.81	0.66	15.78	4.75	0.82	1.12	14
D18A017	8.55	3.24	16.02	2.78	0.33	0.41	30
D18A018	16.62	7.25	26.26	6.25	0.38	-0.15	13
D18A019	17.91	11.00	27.31	5.26	0.29	0.47	16
D18A021	19.51	11.44	28.46	5.25	0.27	-0.08	16
D18A022	20.02	9.30	36.40	6.61	0.33	0.59	21
D18A023	15.36	3.01	34.21	8.52	0.55	0.59	29
D18A024	3.30	3.30	3.30	-	-	-	1
D18A027	1.99	1.38	3.01	0.50	0.25	0.65	12
D18A028	6.37	5.03	8.30	1.37	0.22	0.38	9
D18A032	5.46	2.37	8.12	1.34	0.25	-0.56	20
D18A034	4.00	1.30	10.05	2.24	0.56	1.30	17
D18A035	4.17	1.74	9.02	2.72	0.65	1.38	6
D18A037	8.89	6.38	11.42	2.12	0.24	0.01	4
D18A038	1.87	0.69	2.91	0.82	0.44	-0.45	7
D18A039	4.43	1.27	6.51	1.82	0.41	-1.08	6
D18A040	0.47	0.13	0.90	0.24	0.52	0.72	14
D18A041	4.37	1.02	7.47	2.66	0.61	-0.31	5
D18A042	0.40	0.03	0.78	0.23	0.57	-0.05	11
D18A049	9.19	6.04	11.02	1.92	0.21	-0.79	8
D18A050	1.16	0.62	1.82	0.48	0.41	0.46	8
D18A051	13.71	7.88	18.38	3.65	0.27	-0.33	9
D18A053	2.28	1.41	3.13	0.62	0.27	0.04	6
D18A054	14.18	8.87	17.48	3.34	0.24	-1.14	5
E18A016	17.52	15.09	20.05	2.08	0.12	0.03	5
E18A017	8.86	3.46	19.25	3.95	0.45	1.04	17
E18A020	9.79	4.61	19.05	3.37	0.34	0.84	30
E18A021	18.19	7.55	33.99	8.08	0.44	0.52	11
E18A025	15.89	6.43	33.10	6.36	0.40	0.76	31
E18A028	10.68	3.62	23.90	6.91	0.65	1.74	6
E18A030	7.02	4.23	9.59	1.74	0.25	-0.23	7
E18A031	12.10	6.82	22.58	9.08	0.75	1.73	3
E18A032	10.36	5.84	17.28	2.68	0.26	0.57	17
E18A036	13.10	6.08	19.56	5.43	0.41	-0.29	8
E18A037	22.05	10.83	30.90	8.42	0.38	-0.30	8
E18A039	14.40	5.52	20.33	5.54	0.38	-1.14	5

**Çizelge A.2 : Ceyhan havzası yıllık akım verilerinin istatistiksel özellikleri.**

AGİ No	Ortalama (l/s-km <sup>2</sup> )	Min (l/s-km <sup>2</sup> )	Mak (l/s-km <sup>2</sup> )	St Sapma (l/s-km <sup>2</sup> )	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Gözlem süresi (yıl)
D20A002	18.77	6.46	43.97	7.70	0.41	1.00	39
D20A003	3.81	3.81	3.81	-	-	-	1
D20A004	11.68	4.10	21.15	4.90	0.42	0.26	26
D20A005	17.29	7.12	35.20	6.35	0.37	0.89	50
D20A006	21.86	9.60	51.48	8.34	0.38	1.38	39
D20A007	5.00	2.23	10.00	2.00	0.40	0.72	33
D20A008	18.57	5.93	54.13	9.06	0.49	1.53	49
D20A009	10.62	7.10	12.65	2.63	0.25	-1.01	4
D20A010	15.50	7.12	26.84	6.56	0.42	0.57	12
D20A012	2.16	0.73	3.56	1.20	0.56	-0.09	4
D20A013	30.27	13.39	65.14	10.74	0.35	0.93	41
D20A014	27.70	15.45	55.10	13.15	0.47	1.80	7
D20A016	10.92	2.38	23.27	4.24	0.39	0.50	40
D20A017	5.90	1.71	11.37	3.13	0.53	0.42	20
D20A019	17.39	2.64	37.60	11.80	0.68	0.40	10
D20A020	5.81	5.81	5.81	-	-	-	1
D20A021	11.77	4.78	26.10	8.41	0.71	1.73	5
D20A022	16.06	6.77	25.28	7.65	0.48	0.15	5
D20A026	43.01	43.01	43.01	-	-	-	1
D20A033	18.54	12.86	22.93	2.94	0.16	-0.29	15
D20A034	7.08	7.08	7.08	-	-	-	1
D20A036	33.18	11.67	117.31	20.60	0.62	2.75	27
D20A040	3.91	1.46	9.54	1.93	0.49	1.19	30
D20A043	22.80	8.02	47.77	9.75	0.43	0.95	39
D20A044	20.39	4.86	83.28	15.09	0.74	2.73	30
D20A045	12.56	2.39	21.88	6.01	0.48	-0.02	27
D20A046	25.65	11.12	44.80	8.53	0.33	0.17	38
D20A047	7.69	3.73	12.61	2.93	0.38	0.50	8
D20A051	18.07	6.95	29.32	5.34	0.30	-0.07	20
D20A052	19.35	9.61	32.89	7.36	0.38	0.59	11
D20A053	35.61	20.70	54.03	10.40	0.29	0.04	9
D20A054	32.01	9.39	51.33	10.18	0.32	0.02	27
D20A055	23.73	13.31	41.08	8.05	0.34	0.98	16
D20A056	10.31	4.15	18.87	4.63	0.45	0.69	10
D20A057	9.83	0.60	16.72	3.46	0.35	-0.81	19
D20A058	46.24	18.24	79.03	15.91	0.34	0.48	29
D20A059	17.20	0.97	36.10	8.35	0.49	0.31	28
D20A060	28.50	21.14	35.85	10.40	0.36	-	2
D20A061	21.26	21.26	21.26	-	-	-	1
D20A062	11.57	8.36	17.17	3.92	0.34	0.86	5
D20A063	11.84	6.04	22.70	4.59	0.39	0.66	23
D20A065	6.32	0.89	11.96	3.58	0.57	0.33	9
D20A066	16.68	6.75	27.57	6.22	0.37	0.23	14
D20A068	23.44	11.50	36.72	7.46	0.32	-0.18	12
D20A069	32.60	16.60	48.33	8.69	0.27	-0.09	20
D20A071	14.45	6.24	32.84	7.17	0.50	0.97	17
D20A072	6.83	2.39	16.07	3.92	0.57	1.30	12
D20A073	9.39	4.82	17.69	3.99	0.43	0.98	15
D20A074	31.31	11.77	40.48	11.30	0.36	-1.87	5
D20A077	27.60	12.44	37.84	7.86	0.28	-0.61	10
D20A080	20.15	4.91	32.72	11.49	0.57	-0.68	4
E20A006	11.61	4.05	23.18	4.23	0.36	0.53	60
E20A007	18.56	8.17	39.11	10.73	0.58	1.33	8
E20A008	16.17	6.88	25.20	4.92	0.30	-0.02	46
E20A009	9.03	4.17	18.30	3.65	0.40	0.70	40
E20A010	8.98	2.57	22.88	4.38	0.49	1.14	30
E20A011	14.88	10.62	18.08	3.84	0.26	-1.15	3
E20A016	6.37	3.18	12.89	2.50	0.39	1.30	14
E20A017	20.12	8.85	35.52	11.80	0.59	0.78	4
E20A018	17.30	7.98	29.45	11.02	0.64	1.08	3
E20A021	0.68	0.31	0.88	0.32	0.48	-1.72	3
E20A022	9.35	3.91	15.32	3.22	0.34	0.21	43
E20A024	9.85	9.78	9.92	0.10	0.01	-	2
E20A025	8.43	3.74	18.36	2.87	0.34	1.05	56
E20A026	5.94	4.49	7.39	2.05	0.34	-	2
E20A029	15.06	4.36	30.06	5.38	0.36	0.70	25

**Çizelge A.3 : Ceyhan havzası aylık akım verilerinin istatistiksel özellikleri.**

AGİ No	Ortalama (l/s-km <sup>2</sup> )	Min (l/s-km <sup>2</sup> )	Mak (l/s-km <sup>2</sup> )	St Sapma (l/s-km <sup>2</sup> )	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Sıfır akım (%)	Gözlem süresi (yıl)
D20A002	18.29	0.54	86.80	16.75	0.92	1.59	0	39
D20A004	11.91	0.00	76.94	11.27	0.95	1.95	0.32	26
D20A005	17.33	2.28	102.12	15.75	0.91	2.12	0	50
D20A006	21.96	0.11	157.94	22.41	1.02	1.68	0	39
D20A007	5.78	0.50	32.93	4.89	0.84	2.23	0	33
D20A008	18.68	0.00	109.18	20.76	1.11	1.82	3.23	49
D20A010	15.39	0.44	96.55	19.46	1.26	1.82	0	12
D20A013	25.69	0.00	157.04	24.42	0.95	1.88	0.41	41
D20A016	10.91	0.38	107.18	13.49	1.24	2.49	0	40
D20A017	5.95	0.46	51.46	7.49	1.26	3.08	0	20
D20A019	17.35	0.00	167.25	25.12	1.45	2.78	0.83	10
D20A033	18.20	4.69	85.80	14.22	0.78	1.97	0	15
D20A036	29.15	0.00	252.11	42.01	1.44	2.21	0.93	27
D20A040	3.35	0.00	24.63	4.18	1.25	2.12	3.33	30
D20A043	21.33	1.59	156.41	23.95	1.12	2.10	0	39
D20A044	21.76	0.00	824.64	48.39	2.22	13.04	1.11	30
D20A045	12.58	0.14	100.01	16.44	1.31	2.10	0	27
D20A046	27.34	0.94	153.02	27.31	1.00	1.60	0	38
D20A051	20.12	1.45	100.20	16.47	0.82	2.04	0	20
D20A052	17.09	1.71	80.03	16.71	0.98	1.93	0	11
D20A054	24.50	1.48	138.28	25.48	1.04	1.81	0	27
D20A055	22.33	2.38	137.82	23.91	1.07	2.26	0	16
D20A056	10.21	0.15	56.22	12.69	1.24	1.87	0	10
D20A057	9.84	0.19	49.14	11.18	1.14	1.50	0	19
D20A058	46.30	7.79	194.78	41.29	0.89	1.53	0	29
D20A059	17.33	0.11	126.84	24.84	1.43	1.91	0	28
D20A063	12.65	0.37	80.90	12.80	1.01	2.03	0	23
D20A066	15.90	1.15	89.53	19.48	1.22	2.14	0	14
D20A068	23.41	0.00	186.32	35.02	1.50	2.19	16.67	12
D20A069	32.47	5.37	249.30	40.12	1.24	2.43	0	20
D20A071	14.54	0.06	139.48	20.66	1.42	2.81	0	17
D20A072	7.10	0.00	54.91	9.04	1.27	2.28	8.33	12
D20A073	9.60	0.72	35.05	7.03	0.73	1.35	0	15
D20A077	24.81	3.17	108.03	22.01	0.89	1.51	0	10
E20A006	11.37	0.80	63.00	10.79	0.95	1.94	0	60
E20A008	17.61	0.11	92.59	18.60	1.06	1.64	0	46
E20A009	8.76	0.00	56.84	9.05	1.03	2.00	0.21	40
E20A010	9.36	0.06	54.40	9.95	1.06	1.90	0	30
E20A016	6.42	0.38	35.74	6.84	1.07	1.76	0	14
E20A022	9.30	0.43	67.48	11.83	1.27	2.00	0	43
E20A025	8.24	2.02	41.97	5.52	0.67	2.27	0	56
E20A029	14.89	2.40	49.03	9.91	0.67	1.09	0	25

**Çizelge A.4 : Günlük akım verilerinin istatistiksel özellikleri.**

Havza	AGİ No	Ortalama (l/s-km <sup>2</sup> )	Mak (l/s-km <sup>2</sup> )	St Sapma (l/s-km <sup>2</sup> )	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Sıfır akım (%)	Gözlem süresi (yıl)
Ceyhan (15 AGİ)	D20A004	11.87	434.07	15.06	1.27	6.54	0.82	26
	D20A008	18.63	451.59	25.71	1.38	4.08	6.09	49
	D20A013	25.60	732.83	31.35	1.22	4.55	2.50	41
	D20A016	10.93	219.91	14.82	1.36	3.33	0.01	40
	D20A019	17.30	555.41	35.90	2.08	5.67	3.62	10
	D20A036	29.13	907.74	52.24	1.79	4.48	1.91	27
	D20A040	3.32	123.73	5.53	1.67	6.08	5.13	30
	D20A044	21.73	1194.48	60.27	2.77	11.46	2.96	30
	D20A058	46.19	1229.78	55.00	1.19	4.89	0.01	29
	D20A059	17.27	703.05	32.06	1.86	5.27	0.04	28
	D20A068	23.39	602.26	40.30	1.72	3.36	23.47	12
	D20A071	14.49	948.34	32.72	2.26	9.43	0.71	17
	D20A072	7.07	109.47	11.14	1.58	3.21	12.72	12
	E20A009	8.75	185.85	10.18	1.16	3.11	0.32	40
E20A016	6.42	95.39	8.48	1.32	3.56	0.08	14	
Meriç (18 AGİ)	D01A010	4.50	343.43	17.35	3.85	9.71	5.90	11
	D01A012	3.67	181.47	7.79	2.12	8.40	7.14	16
	D01A013	10.86	3163.88	46.06	4.24	39.36	12.21	25
	D01A029	7.43	369.02	20.12	2.71	7.48	7.62	10
	D01A031	5.39	200.14	7.64	1.42	7.07	0.27	50
	D01A039	6.14	1282.98	20.21	3.29	20.02	41.49	47
	D01A046	3.10	356.49	11.54	3.72	13.69	31.32	18
	D01A062	2.51	291.47	10.14	4.04	14.18	36.19	22
	D01A063	11.05	711.74	26.03	2.35	6.47	12.96	27
	D01A064	1.91	483.29	11.91	6.25	24.49	43.43	10
	D01A065	6.50	247.10	13.58	2.09	6.65	19.04	10
	D01A066	5.50	282.04	14.32	2.60	8.10	17.31	12
	D01A074	17.75	862.26	38.47	2.17	9.88	0.03	10
	E01A002	4.44	176.60	9.94	2.24	5.30	28.92	13
	E01A006	2.88	459.16	9.75	3.39	17.37	4.60	28
	E01A001	5.65	365.52	12.43	2.20	9.02	10.20	18
	E01A010	2.95	411.09	13.67	4.63	12.10	18.66	17
E01A011	3.18	235.51	7.61	2.39	12.08	2.42	19	
Gediz (15 AGİ)	D05A015	3.42	434.77	12.24	3.58	14.29	35.66	27
	D05A018	8.00	1665.72	34.81	4.35	19.27	36.08	25
	D05A026	5.29	704.45	22.20	4.20	11.66	0.82	25
	D05A028	3.89	458.82	11.44	2.94	15.79	4.52	18
	D05A034	2.45	266.14	7.87	3.22	15.44	29.90	15
	D05A039	7.24	316.21	15.85	2.19	8.50	1.27	17
	D05A042	4.39	51.14	5.07	1.15	2.46	0.03	16
	D05A043	6.51	206.88	13.05	2.01	4.91	11.21	14
	D05A052	17.06	273.79	30.15	1.77	3.08	33.07	10
	D05A063	8.48	365.05	23.36	2.75	7.05	11.45	10
	E05A014	3.37	540.68	9.77	2.90	20.78	0.48	52
	E05A020	3.55	125.73	8.99	2.54	5.86	38.88	10
	E05A022	3.67	560.83	11.47	3.13	16.31	16.27	42
	E05A025	10.36	1243.41	23.68	2.29	15.07	3.08	40
	E05A027	3.17	749.16	12.20	3.85	31.08	24.07	25

**Çizelge A.5 : Aylık yağış verilerinin istatistiksel özellikleri.**

Havza	YGi No	Ortalama (mm)	Mak (mm)	St Sapma (mm)	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Yağışsız Aylar (%)	Gözlem uzunluğu (yıl)
Seyhan (19 YGi)	6204	45.4	156.0	38.1	0.84	0.81	6.67	15
	6560	76.9	313.7	69.5	0.90	1.05	4.17	10
	6893	34.3	126.7	28.9	0.84	0.87	7.74	14
	6902	75.8	353.4	73.7	0.97	1.41	4.86	24
	17351	55.2	415.6	63.6	1.15	2.10	11.40	57
	17802	35.3	159.8	27.2	0.77	0.97	4.08	47
	17837	34.0	129.4	26.0	0.77	0.75	4.53	46
	17840	43.7	187.5	33.7	0.77	0.93	5.30	44
	17906	26.9	142.1	23.4	0.87	1.18	6.33	50
	17934	60.2	600.5	65.7	1.09	2.75	6.11	30
	17936	73.4	676.6	78.1	1.06	2.46	4.61	47
	17981	64.7	513.6	80.9	1.25	2.04	15.31	49
	D18M003	25.2	154.5	23.1	0.92	1.57	7.45	47
	D18M004	54.7	379.8	60.5	1.11	2.10	14.48	42
	D18M011	22.8	113.2	20.4	0.89	1.39	7.69	39
	D18M012	83.9	562.2	83.2	0.99	1.98	3.65	16
	D18M013	52.3	492.2	59.6	1.14	2.50	9.17	40
	D18M018	70.3	605.5	77.3	1.10	2.53	10.53	19
	D18M019	80.8	383.7	72.0	0.89	1.22	6.67	15
Ceyhan (25 YGi)	7767	65.6	279.9	55.5	0.85	1.06	5.56	15
	8275	85.8	462.4	83.8	0.98	1.28	12.37	31
	17255	60.4	325.0	65.6	1.09	1.27	14.51	54
	17355	69.1	331.4	63.8	0.92	1.12	10.22	31
	17866	51.2	233.0	46.3	0.90	1.07	4.93	49
	17868	35.3	155.1	31.2	0.88	0.99	6.94	42
	17870	33.3	146.6	28.9	0.87	0.97	7.82	49
	17871	60.1	366.6	66.4	1.10	1.55	15.79	19
	17908	70.2	296.0	58.8	0.84	1.11	3.06	49
	17960	59.0	402.2	58.6	0.99	1.43	9.38	48
	17979	67.5	476.1	71.0	1.05	1.55	10.59	48
	D20M001	29.1	125.9	26.7	0.92	1.12	11.17	47
	D20M002	58.4	344.9	67.0	1.15	1.51	25.64	26
	D20M004	41.2	192.8	41.8	1.02	0.96	21.49	19
	D20M006	54.0	307.2	60.2	1.12	1.85	14.58	12
	D20M009	78.9	436.1	81.6	1.03	1.28	10.11	47
	D20M011	32.3	188.2	29.7	0.92	1.28	9.07	34
	D20M012	32.7	179.9	31.9	0.98	1.61	15.56	15
	D20M013	50.3	342.5	54.0	1.07	1.36	21.35	48
	D20M014	90.3	469.2	78.2	0.87	1.15	4.65	43
D20M015	76.1	379.6	66.4	0.87	1.12	10.21	40	
D20M016	78.3	376.0	69.6	0.89	1.25	4.49	39	
D20M017	65.5	363.9	65.5	1.00	1.43	6.94	24	
D20M018	25.1	204.5	28.1	1.12	2.29	8.73	21	
D20M020	64.7	286.0	59.5	0.92	1.06	11.86	26	

**Çizelge A.5 (devam) : Aylık yağış verilerinin istatistiksel özellikleri.**

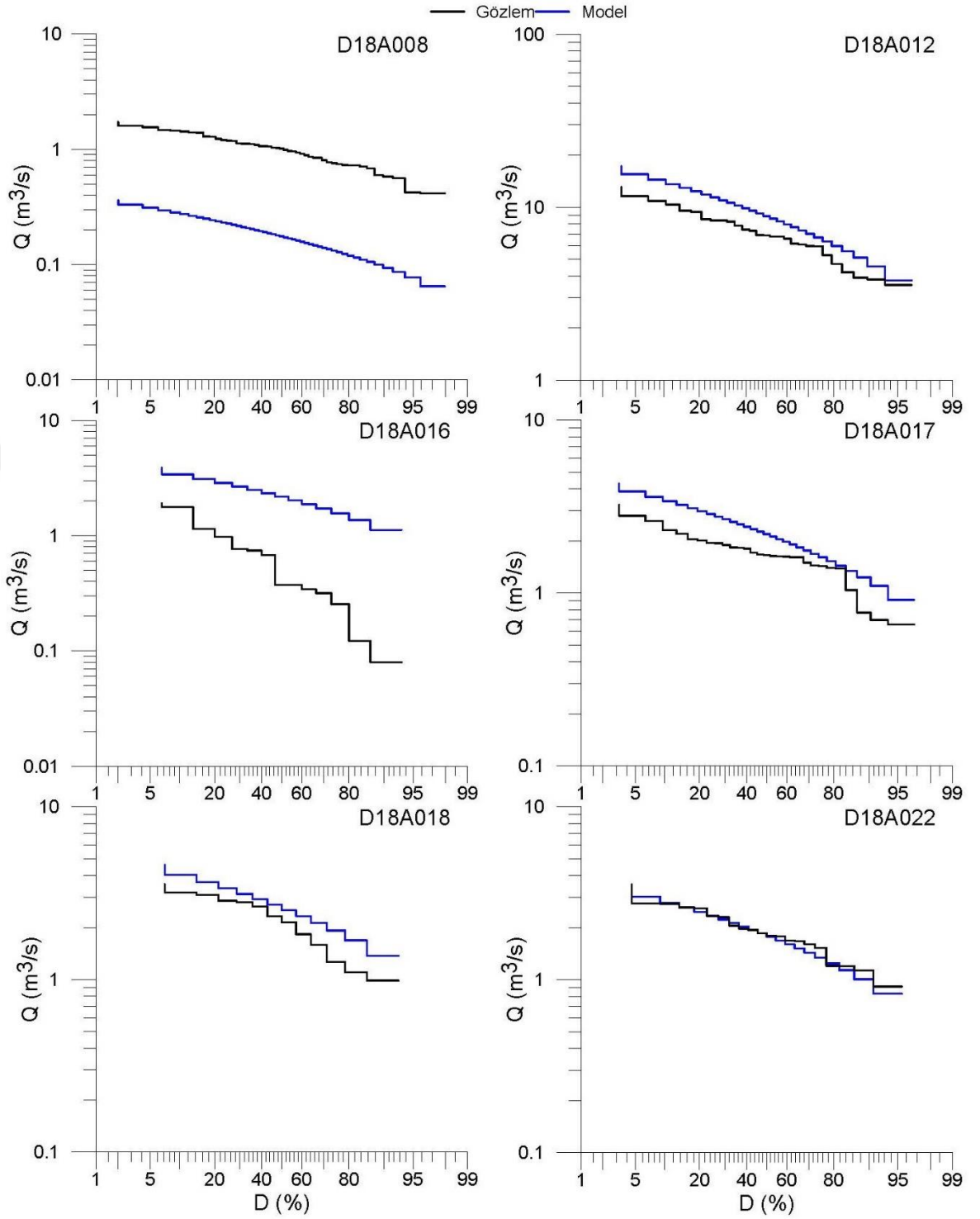
Havza	YGi No	Ortalama (mm)	Mak (mm)	St Sapma (mm)	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Yağışsız Aylar (%)	Gözlem uzunluğu (yıl)
Meriç (29 YGi)	592	37.9	162.5	29.5	0.78	0.99	1.67	15
	643	41.8	184.5	35.3	0.84	1.17	4.71	23
	758	52.4	200.4	38.3	0.73	0.99	1.79	14
	789	54.3	240.2	49.6	0.91	1.58	3.47	12
	934	47.8	164.8	37.1	0.77	1.06	2.98	14
	943	45.2	175.0	36.5	0.81	1.19	5.56	12
	1048	53.3	191.8	40.7	0.76	1.05	2.56	13
	9026	53.3	191.8	40.7	0.76	1.05	2.56	13
	17050	49.9	218.3	38.5	0.77	0.96	0.88	57
	17052	47.5	215.0	37.5	0.79	1.04	1.39	54
	17054	47.8	205.5	37.4	0.78	1.12	1.44	52
	17608	54.5	227.5	46.0	0.84	1.08	1.60	47
	17631	49.5	216.8	40.4	0.82	1.18	2.94	51
	17632	52.1	218.1	45.7	0.88	1.28	1.91	48
	17634	57.4	406.4	53.7	0.94	1.79	2.86	32
	D01M002	49.3	209.2	44.1	0.89	1.23	3.97	42
	D01M004	43.4	251.3	35.7	0.82	1.32	3.10	51
	D01M005	55.2	205.0	41.6	0.75	1.00	1.83	50
	D01M008	46.4	214.4	36.4	0.78	1.20	1.02	49
	D01M009	53.2	250.0	46.1	0.87	1.25	3.74	49
D01M010	48.2	223.2	41.3	0.86	1.21	2.84	47	
D01M011	49.8	254.0	47.4	0.95	1.44	3.90	47	
D01M012	47.0	178.1	35.4	0.75	0.95	2.30	47	
D01M014	60.5	343.9	48.9	0.81	1.43	1.42	47	
D01M015	49.9	249.8	44.5	0.89	1.37	3.65	32	
D01M016	55.5	344.1	49.2	0.89	1.49	2.50	40	
D01M017	61.0	348.4	55.3	0.91	1.71	3.55	47	
D01M018	40.5	157.0	32.5	0.80	0.97	4.43	32	
D01M019	40.5	186.3	33.2	0.82	1.22	2.87	29	
Gediz (35 YGi)	4930	45.3	343.4	52.3	1.15	2.12	9.31	17
	5269	36.2	172.2	40.1	1.11	1.34	15.91	11
	5278	34.6	176.2	34.0	0.98	1.21	13.33	20
	5615	41.3	207.8	43.7	1.06	1.24	13.77	23
	5785	68.3	435.6	85.1	1.25	1.70	14.74	13
	5974	39.3	163.8	35.4	0.90	1.01	8.97	13
	9006	36.7	182.2	43.2	1.18	1.24	22.06	17
	9020	43.4	295.6	52.9	1.22	1.71	16.43	35
	17184	48.0	351.2	51.5	1.07	1.53	9.80	57
	17186	61.5	393.8	67.3	1.10	1.60	11.40	57
	17746	51.4	225.5	46.8	0.91	1.11	4.17	20
	17750	47.1	205.1	40.5	0.86	1.12	3.54	40
	17792	41.3	202.7	39.6	0.96	1.10	9.20	48
	D05M001	39.4	208.2	35.6	0.91	1.24	11.36	44
	D05M002	40.6	296.9	44.4	1.09	1.63	12.27	36

**Çizelge A.5 (devam) : Aylık yağış verilerinin istatistiksel özellikleri.**

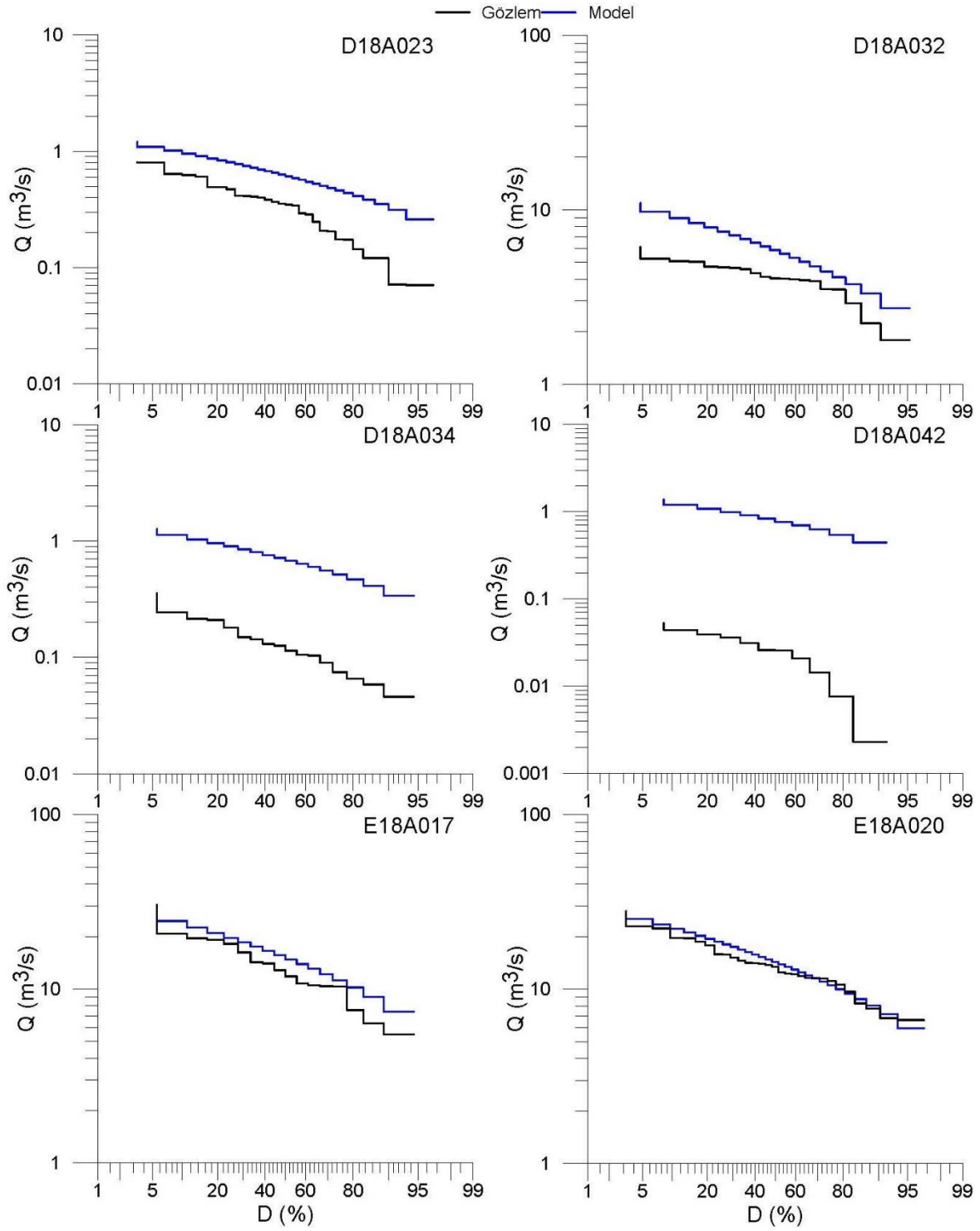
Havza	YGi No	Ortalama (mm)	Mak (mm)	St Sapma (mm)	$C_v$	$C_s$	Yağışsız Aylar (%)	Gözlem uzunluğu (yıl)
Gediz (35 YGi)	D05M003	40.0	188.1	39.8	1.00	1.21	13.80	32
	D05M004	41.2	214.5	36.5	0.89	1.14	7.50	50
	D05M006	38.6	226.6	36.9	0.96	1.32	10.85	53
	D05M007	47.1	333.1	55.7	1.18	1.78	16.36	54
	D05M009	40.7	273.9	43.5	1.07	1.62	16.20	36
	D05M010	52.8	316.0	56.4	1.07	1.58	11.27	34
	D05M011	51.4	369.0	55.6	1.08	1.60	11.42	54
	D05M012	37.3	212.8	33.8	0.91	1.28	9.41	54
	D05M013	49.4	274.9	48.8	0.99	1.23	9.88	54
	D05M014	53.7	363.4	57.3	1.07	1.66	11.48	45
	D05M015	79.9	876.6	99.8	1.25	2.40	14.20	54
	D05M016	48.5	254.6	48.4	1.00	1.25	11.52	47
	D05M018	47.3	242.6	45.5	0.96	1.25	9.10	54
	D05M020	63.2	429.0	68.9	1.09	1.68	12.19	54
	D05M021	103.6	892.4	117.8	1.14	1.89	9.57	54
	D05M022	64.9	409.7	74.1	1.14	1.58	17.95	39
	D05M023	36.6	166.6	36.7	1.00	1.18	15.00	40
	D05M026	37.2	176.8	36.6	0.98	1.23	12.27	36
	D05M027	39.4	195.2	36.6	0.93	1.26	10.59	48
	D05M028	54.6	374.5	64.9	1.19	1.80	15.58	23



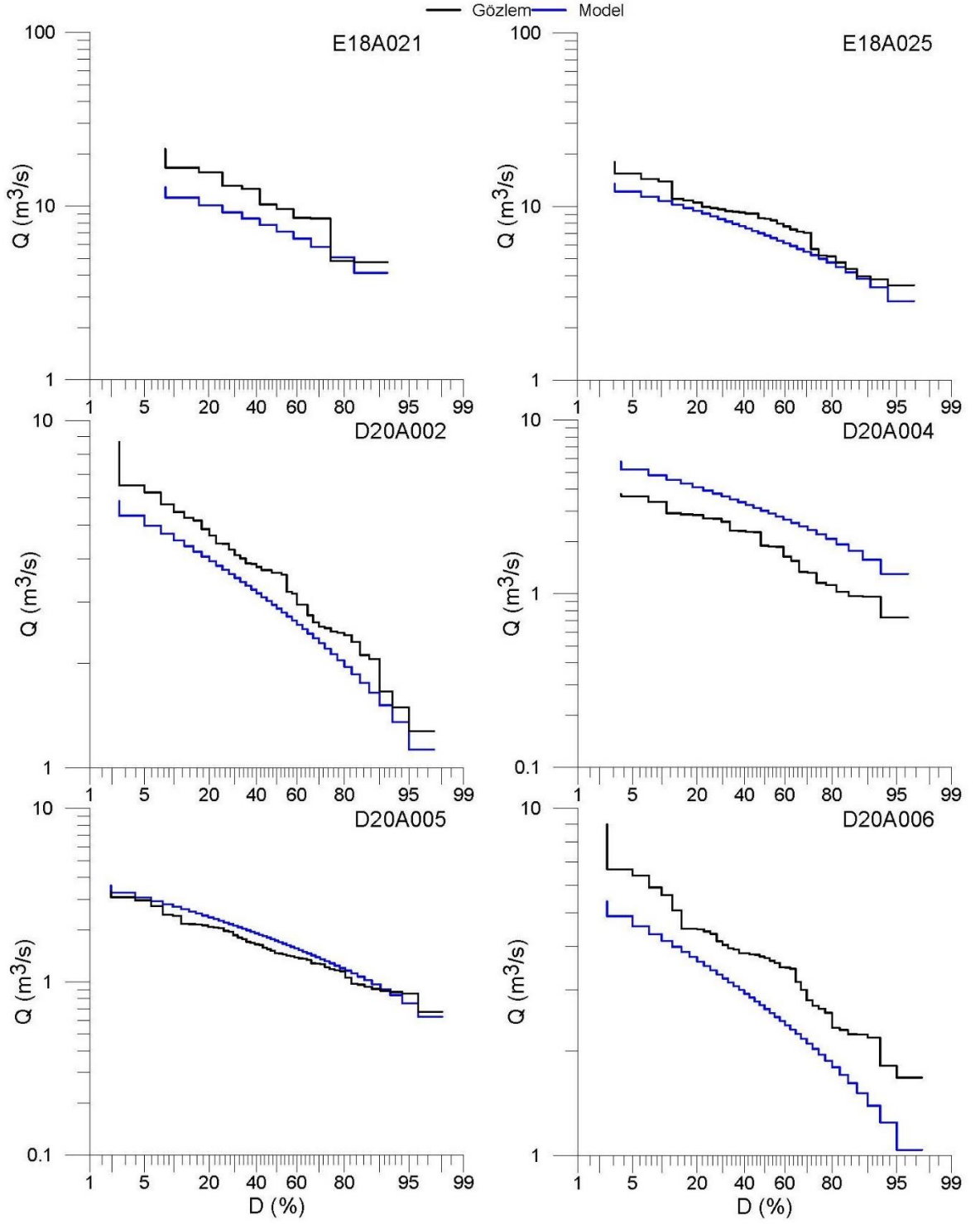
**EK B : Debi süreklilik çizgisi uygulaması kalibrasyon sonuçları**



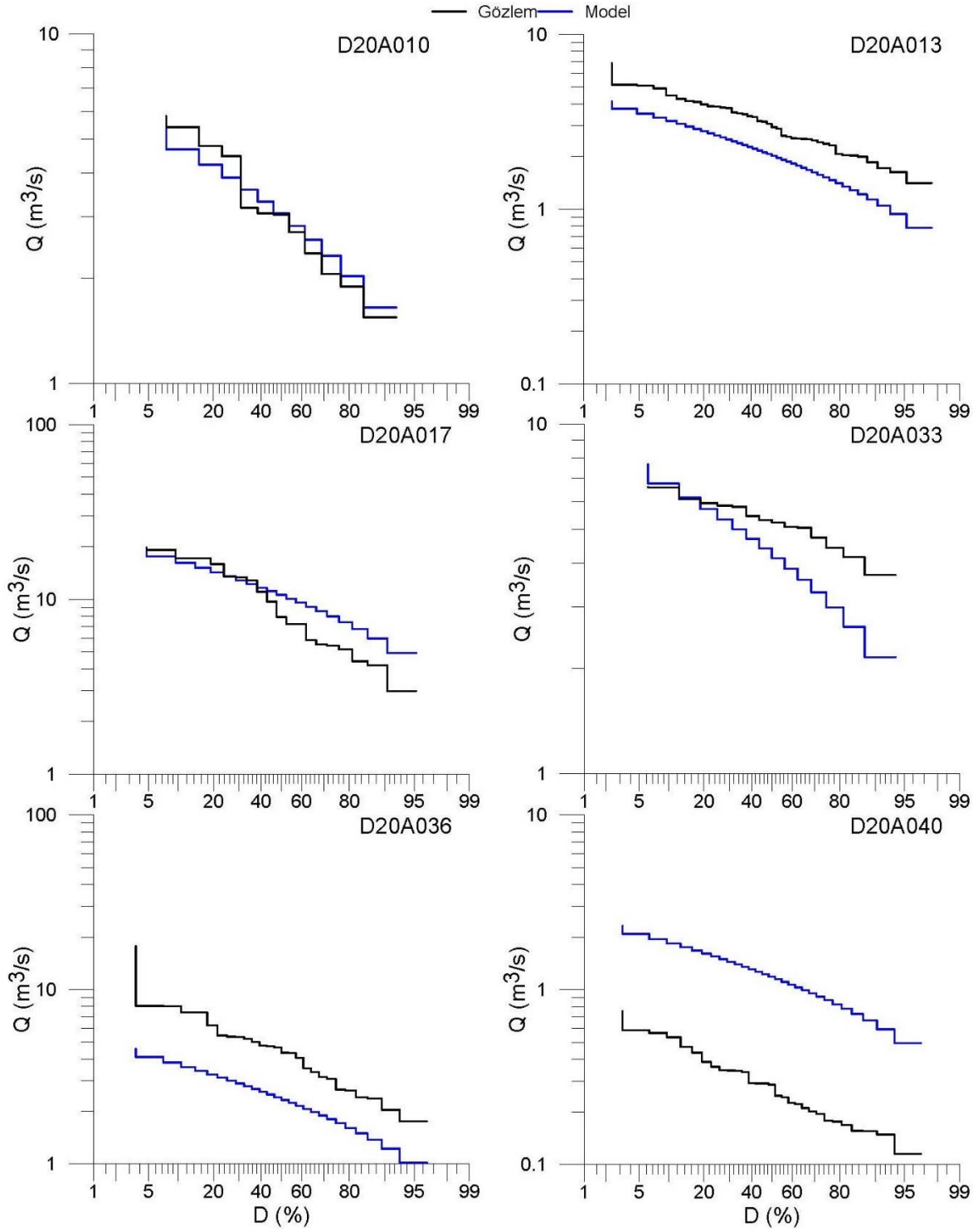
**Şekil B.1 : Kalibrasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri.**



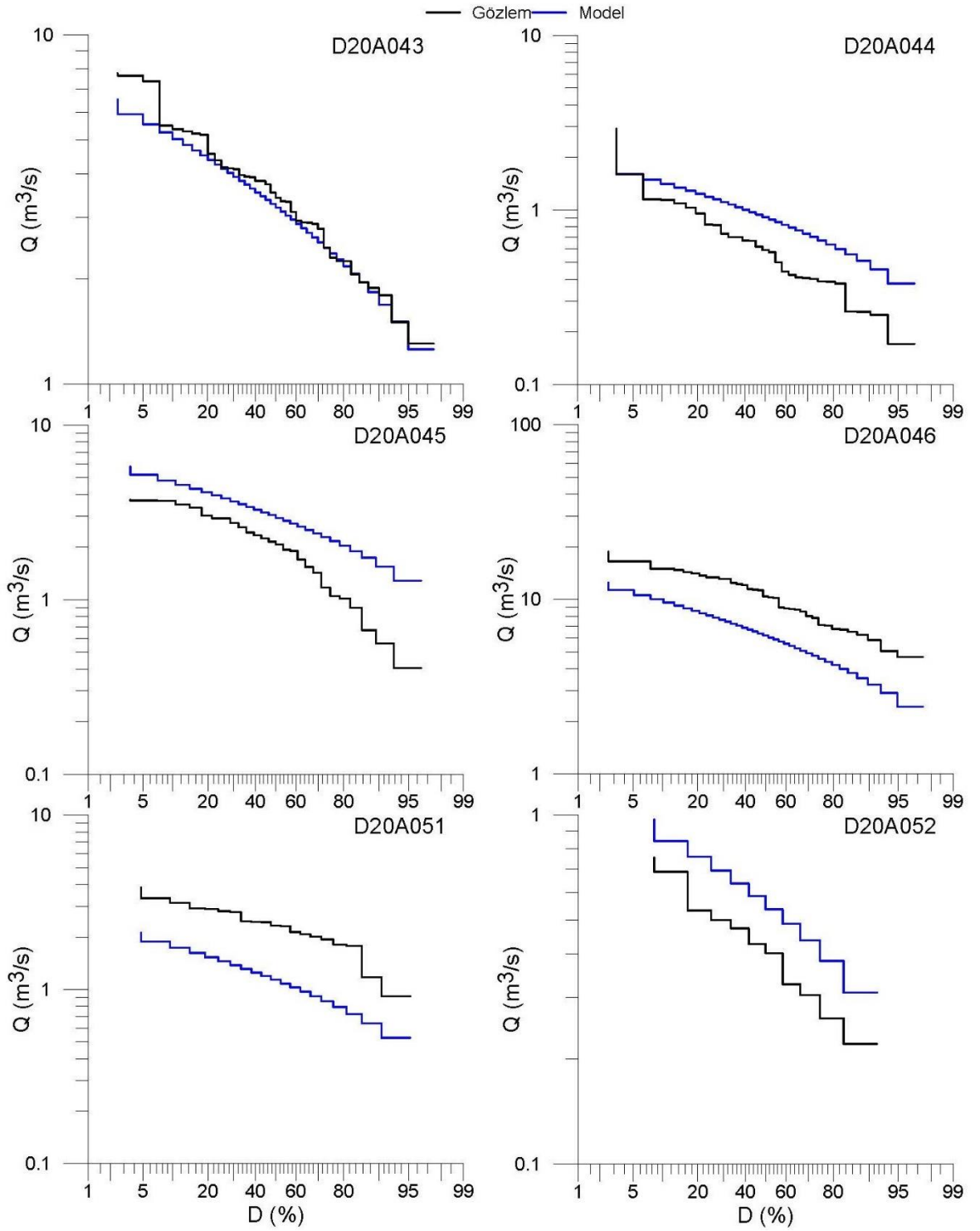
**Şekil B.1 (devam) :** Kalibrasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri.



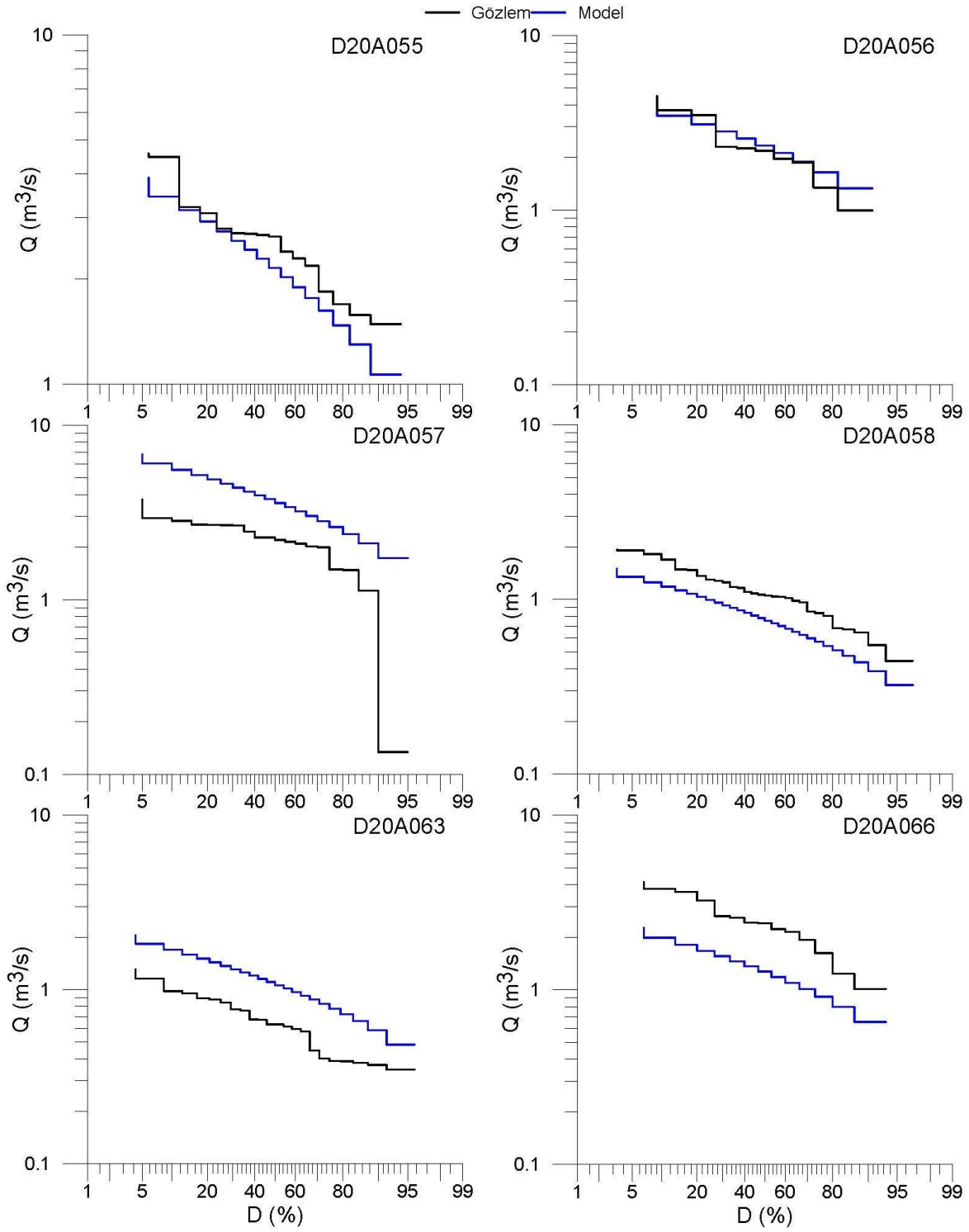
**Şekil B.1 (devam) :** Kalibrasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri.



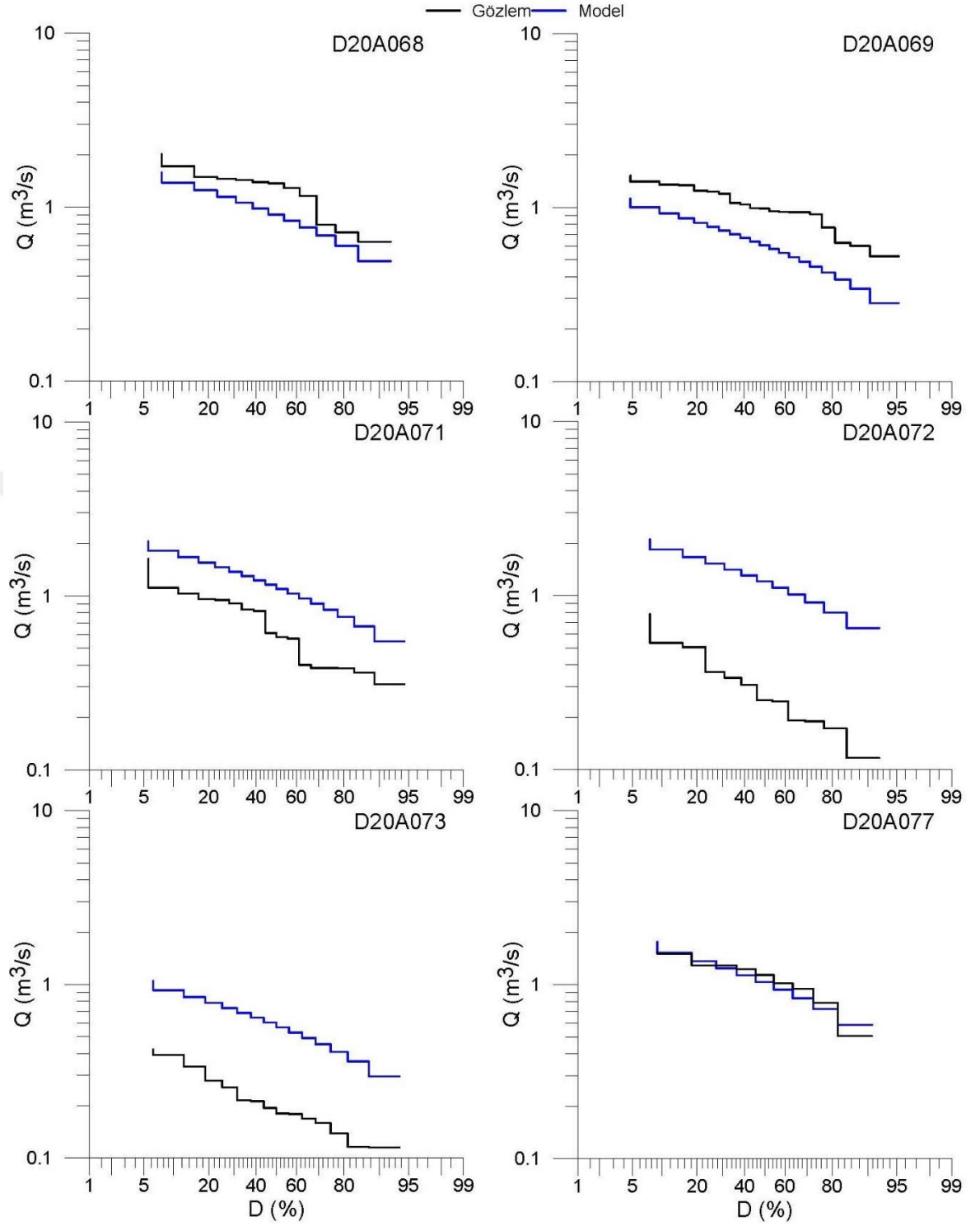
Şekil B.1 (devam) : Kalibrasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri.



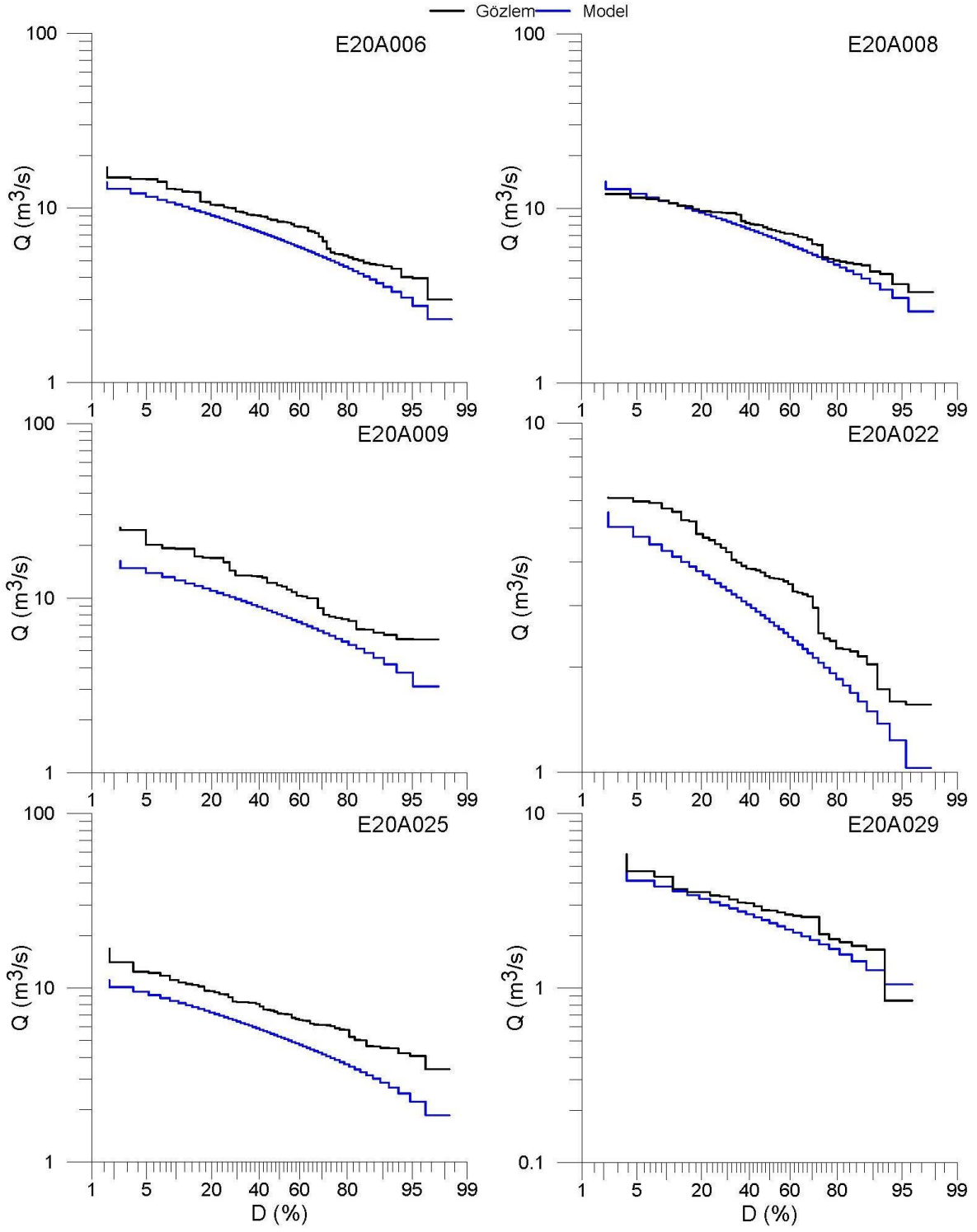
**Şekil B.1 (devam) :** Kalibrasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri.



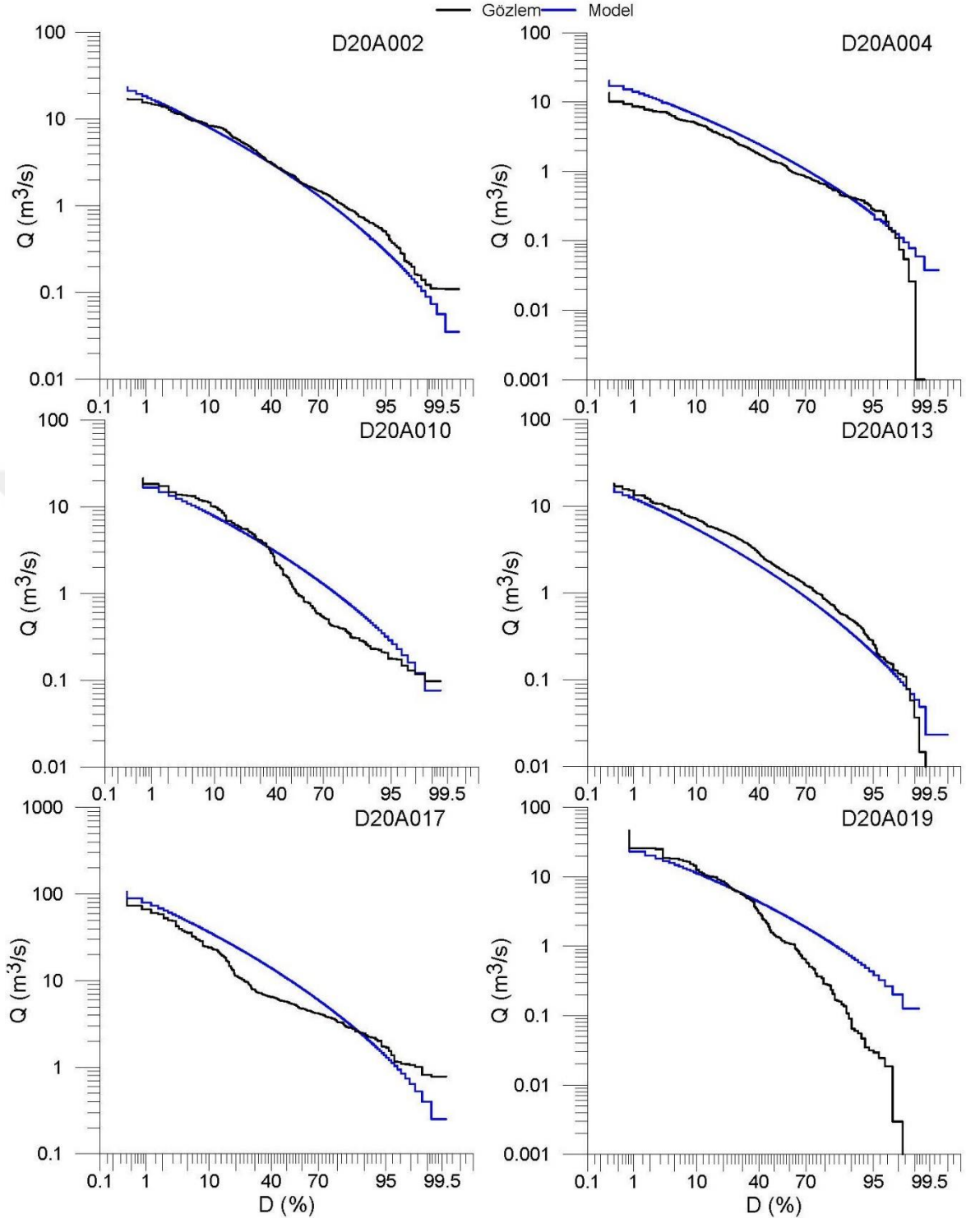
Şekil B.1 (devam) : Kalibrasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri.



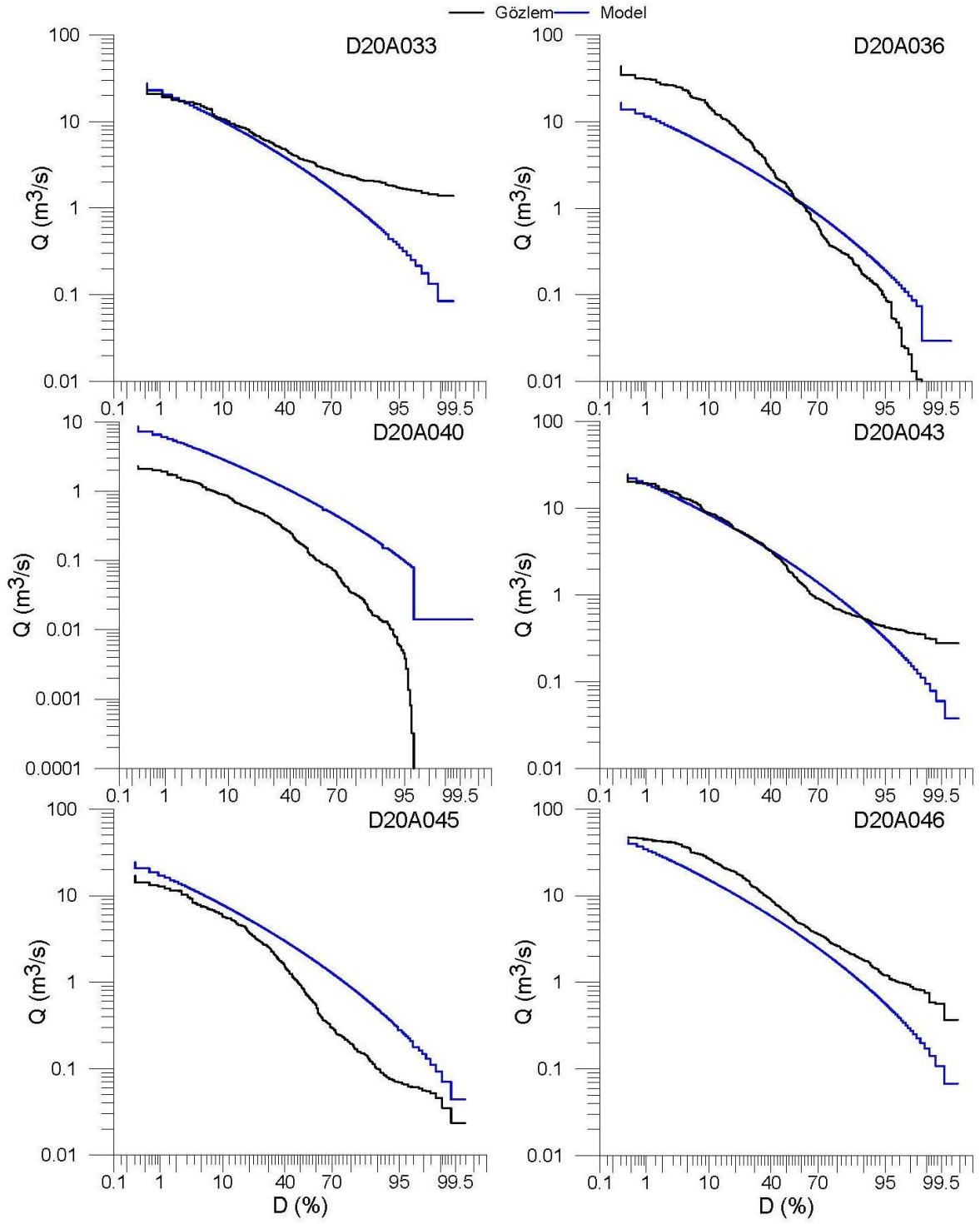
Şekil B.1 (devam) : Kalibrasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri.



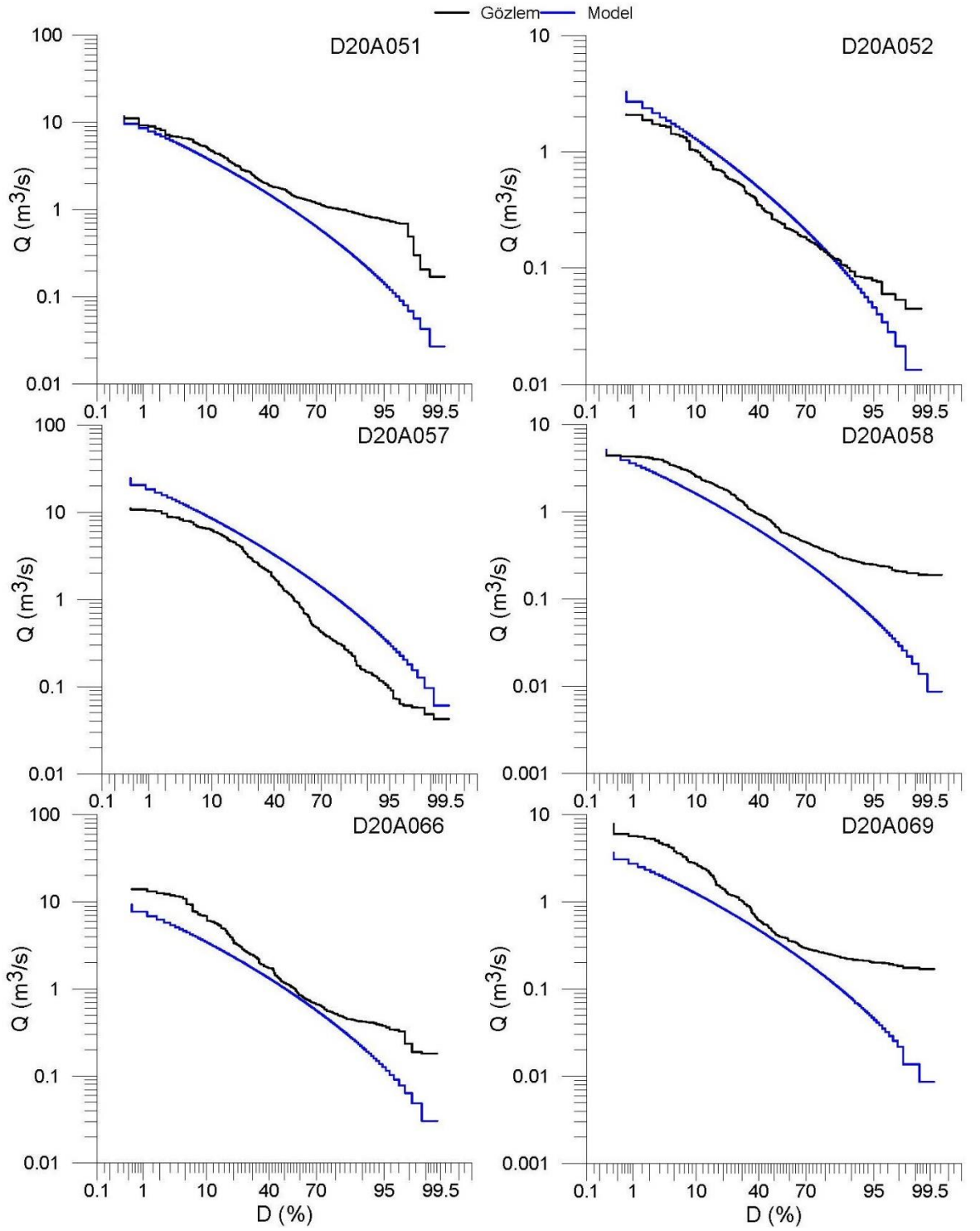
Şekil B.1 (devam) : Kalibrasyon AGİ'lerinin yıllık debi süreklilik çizgileri.



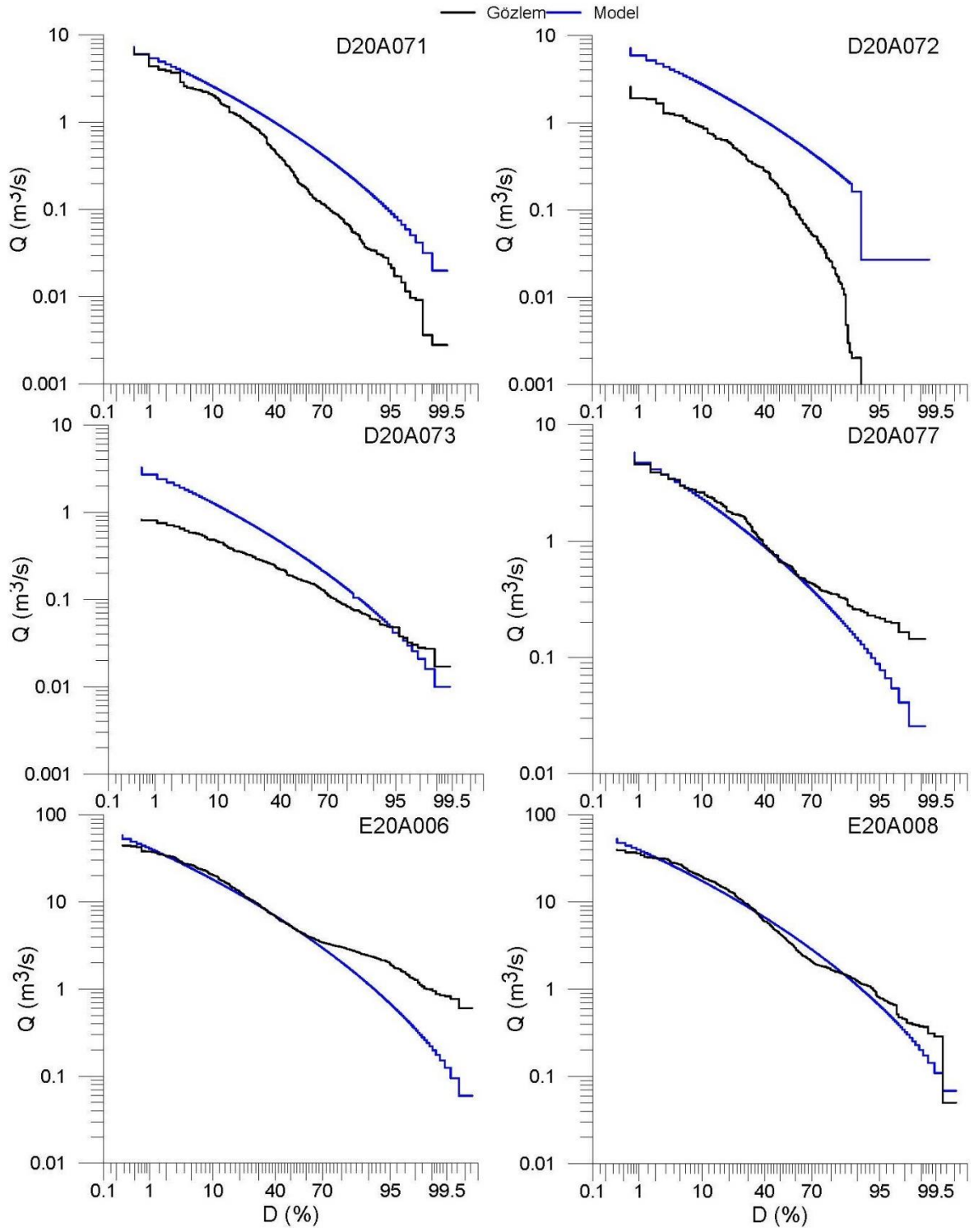
Şekil B.2 : Kalibrasyon AGİ'lerinin aylık debi süreklilik çizgileri.



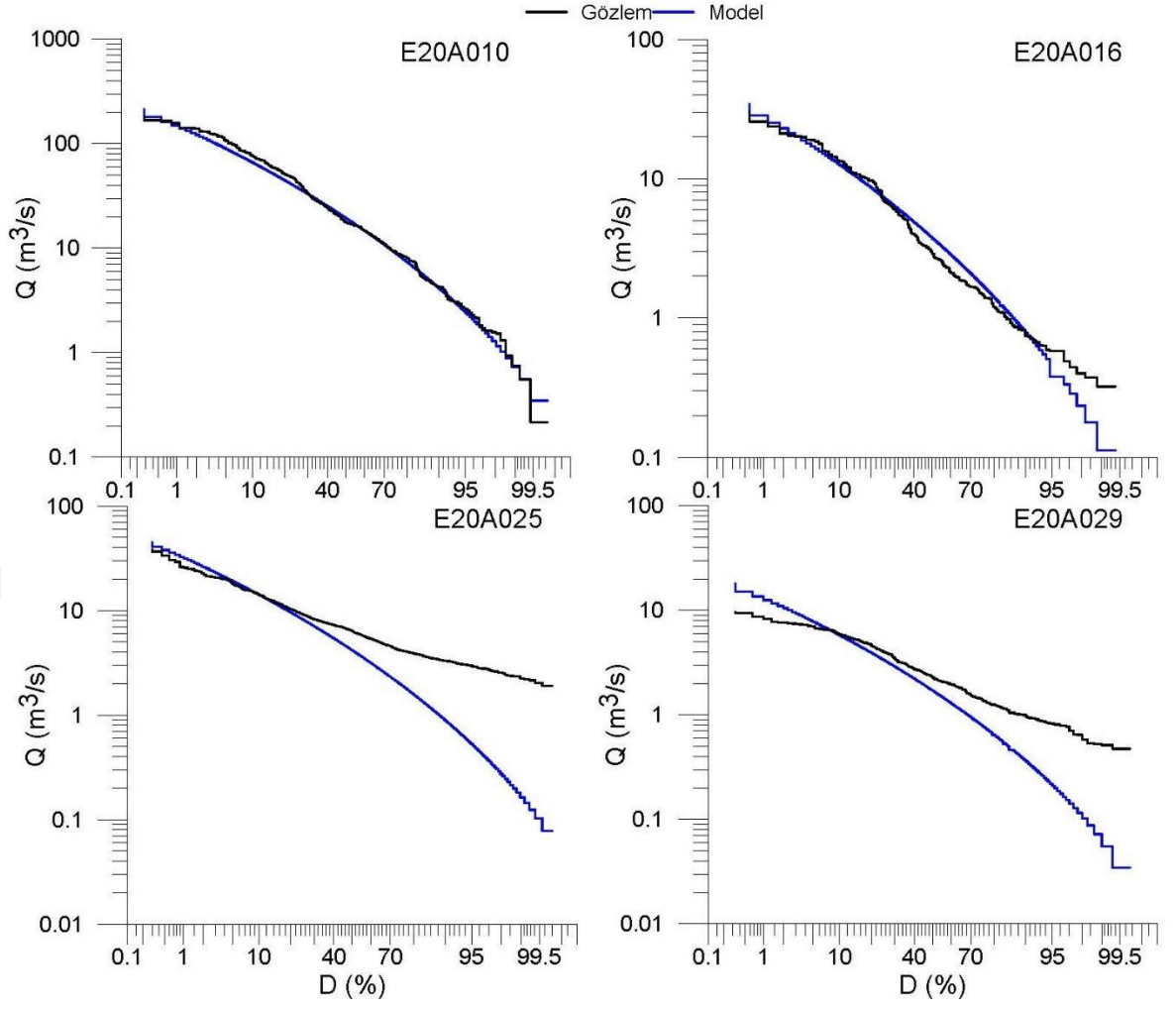
**Şekil B.2 (devam) :** Kalibrasyon AGİ'lerinin aylık debi süreklilik çizgileri.



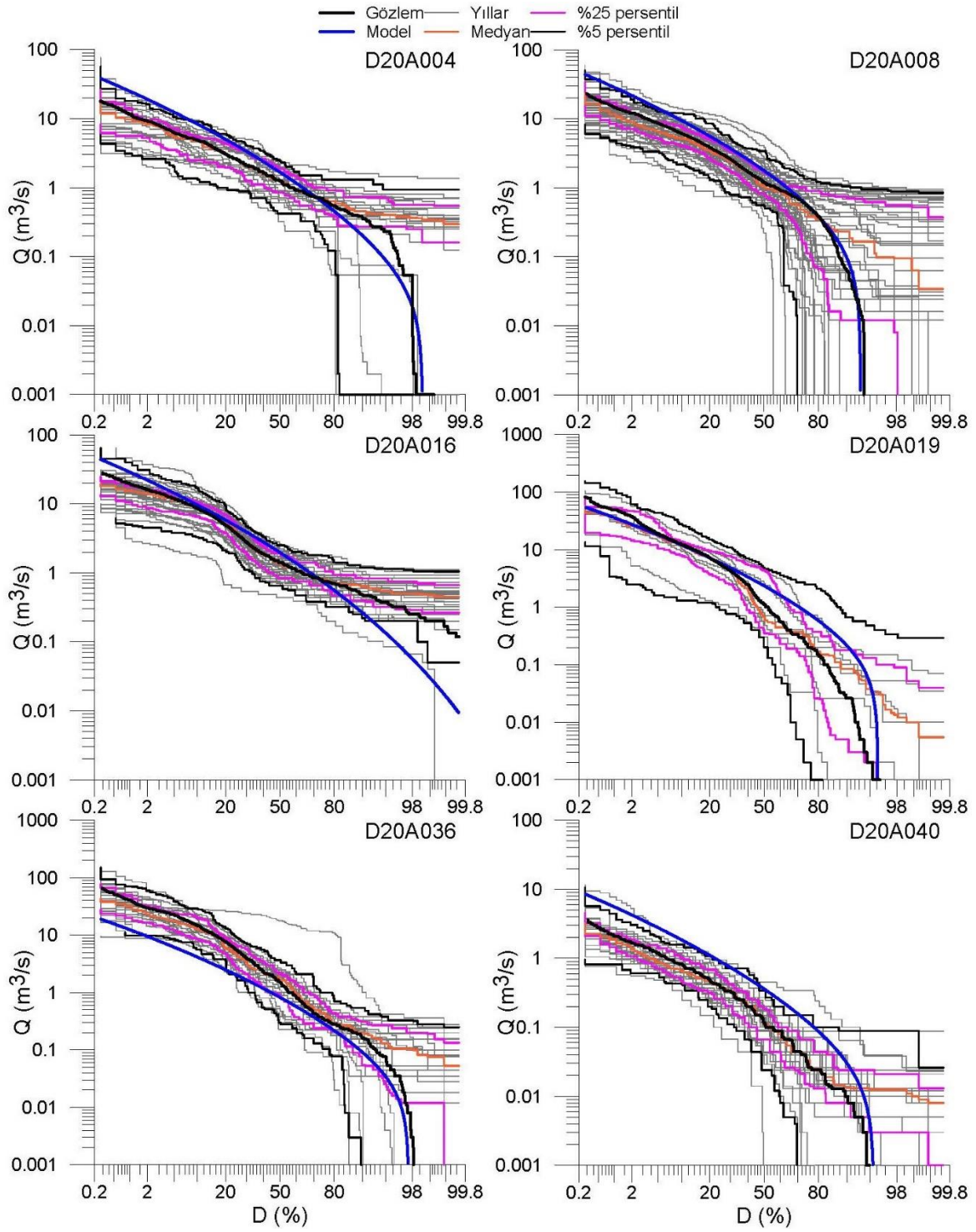
**Şekil B.2 (devam)** : Kalibrasyon AGİ'lerinin aylık debi süreklilik çizgileri.



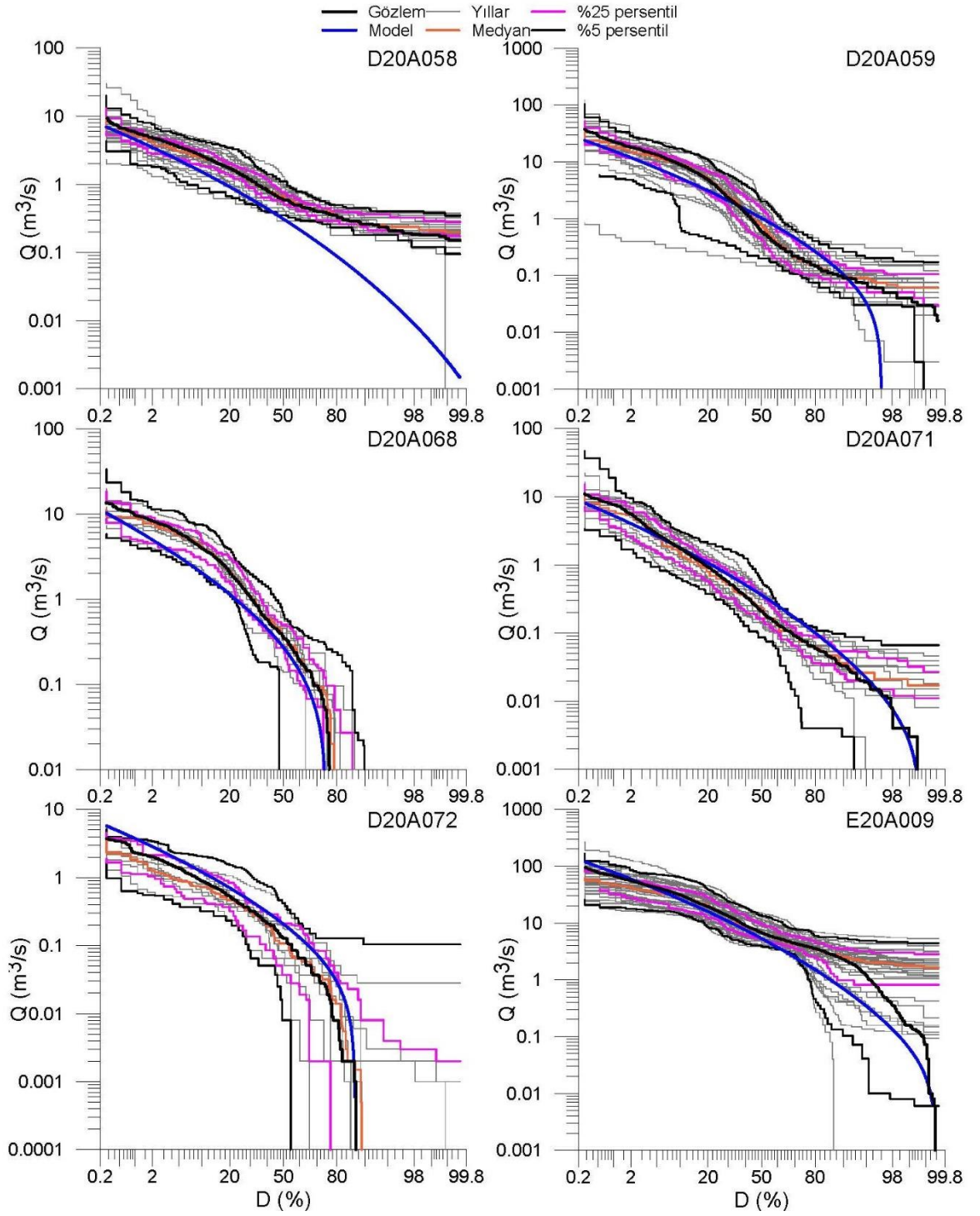
Şekil B.2 (devam) : Kalibrasyon AGİ'lerinin aylık debi süreklilik çizgileri.



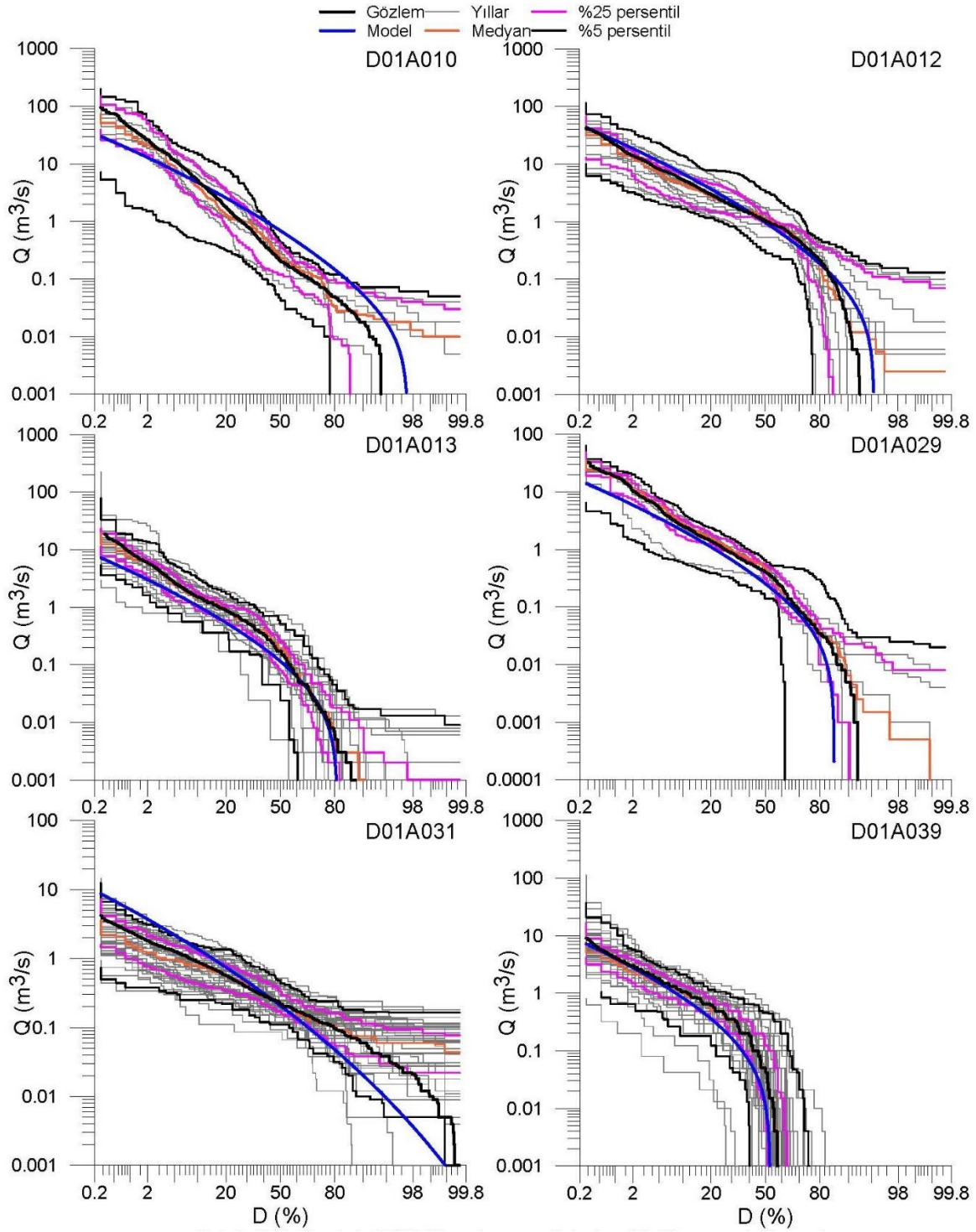
Şekil B.2 (devam) : Kalibrasyon AGİ'lerinin aylık debi süreklilik çizgileri.



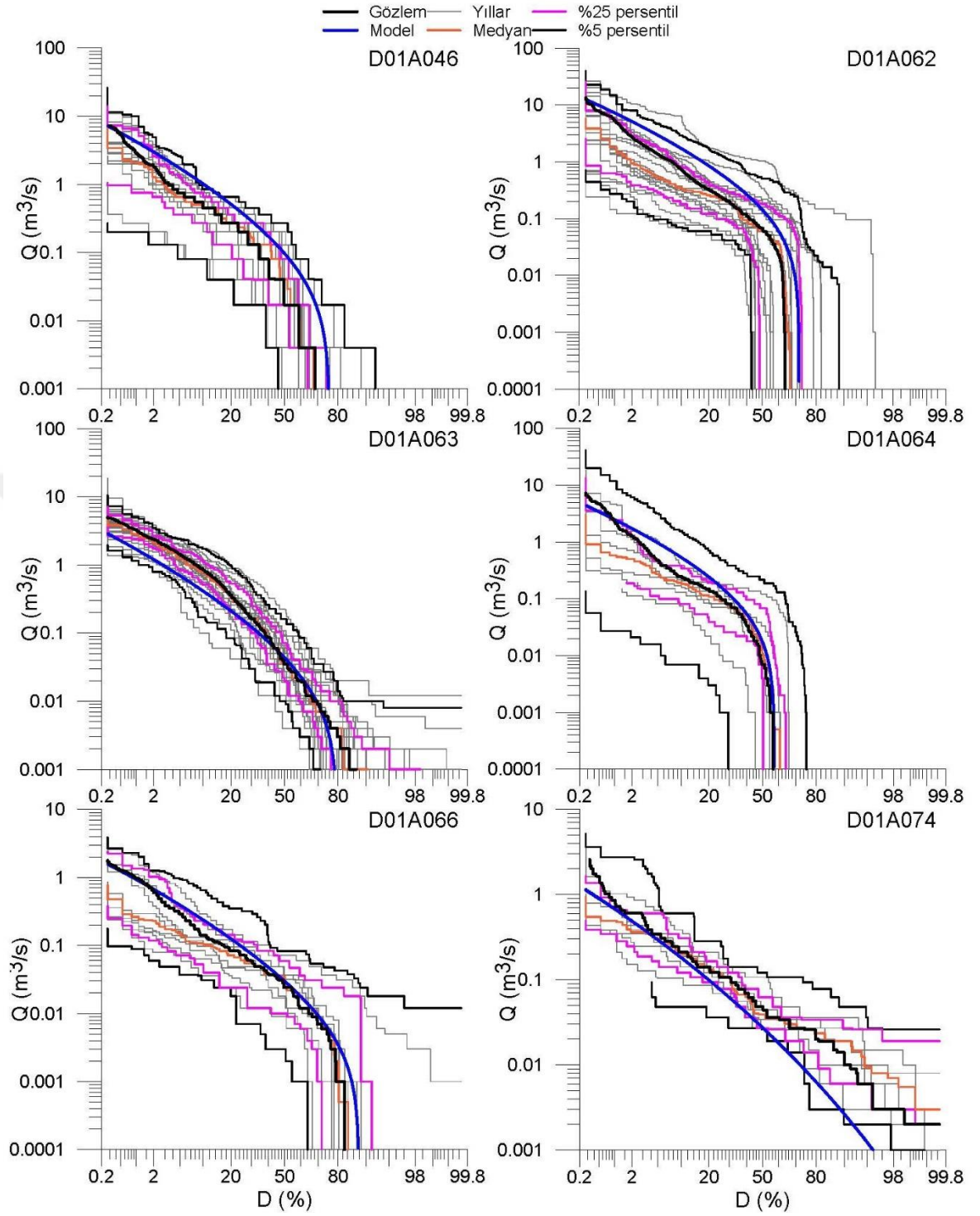
**Şekil B.3 :** Ceyhan havzası kalibrasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri.



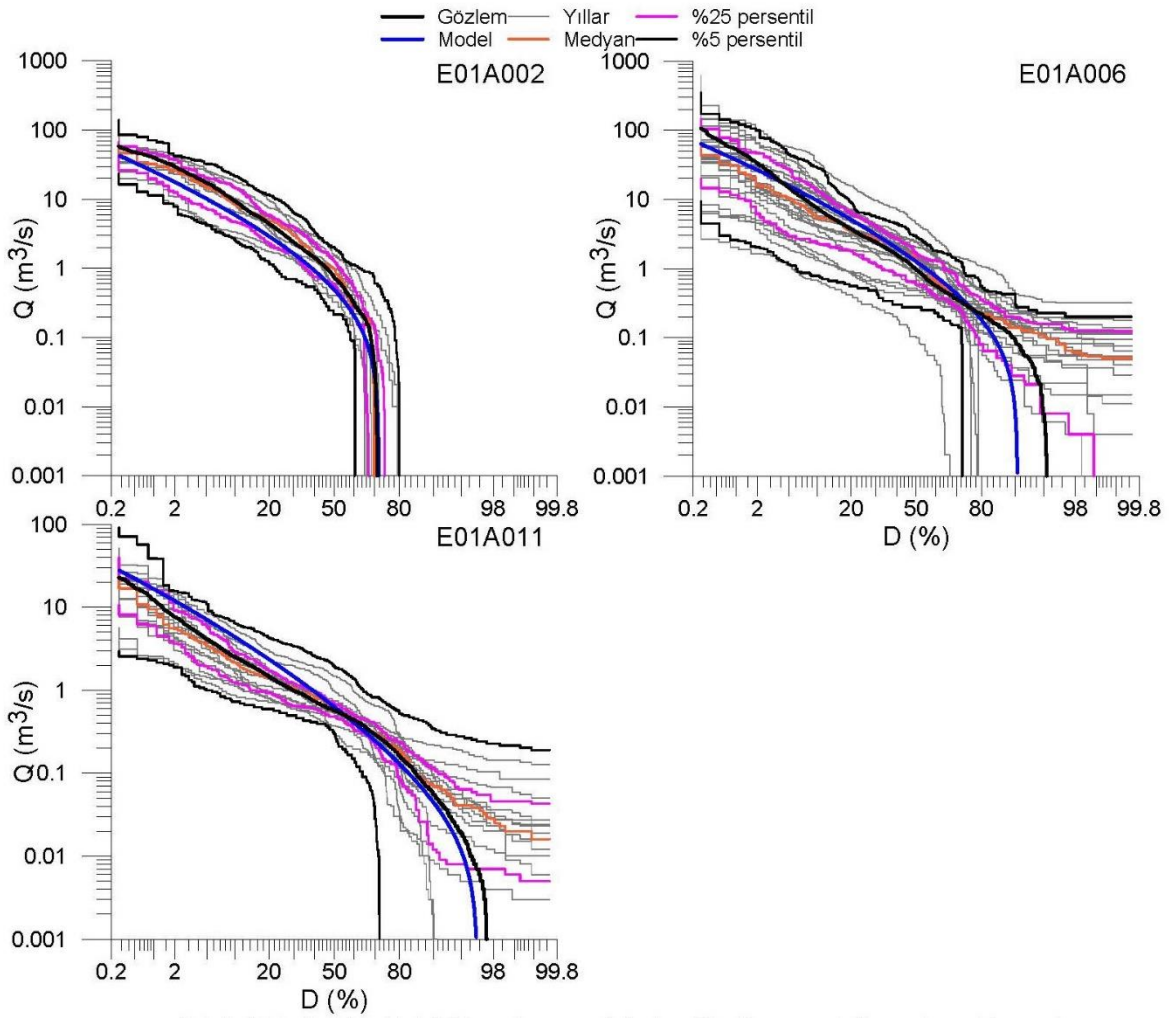
**Şekil B.3 (devam) :** Ceyhan havzası kalibrasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri.



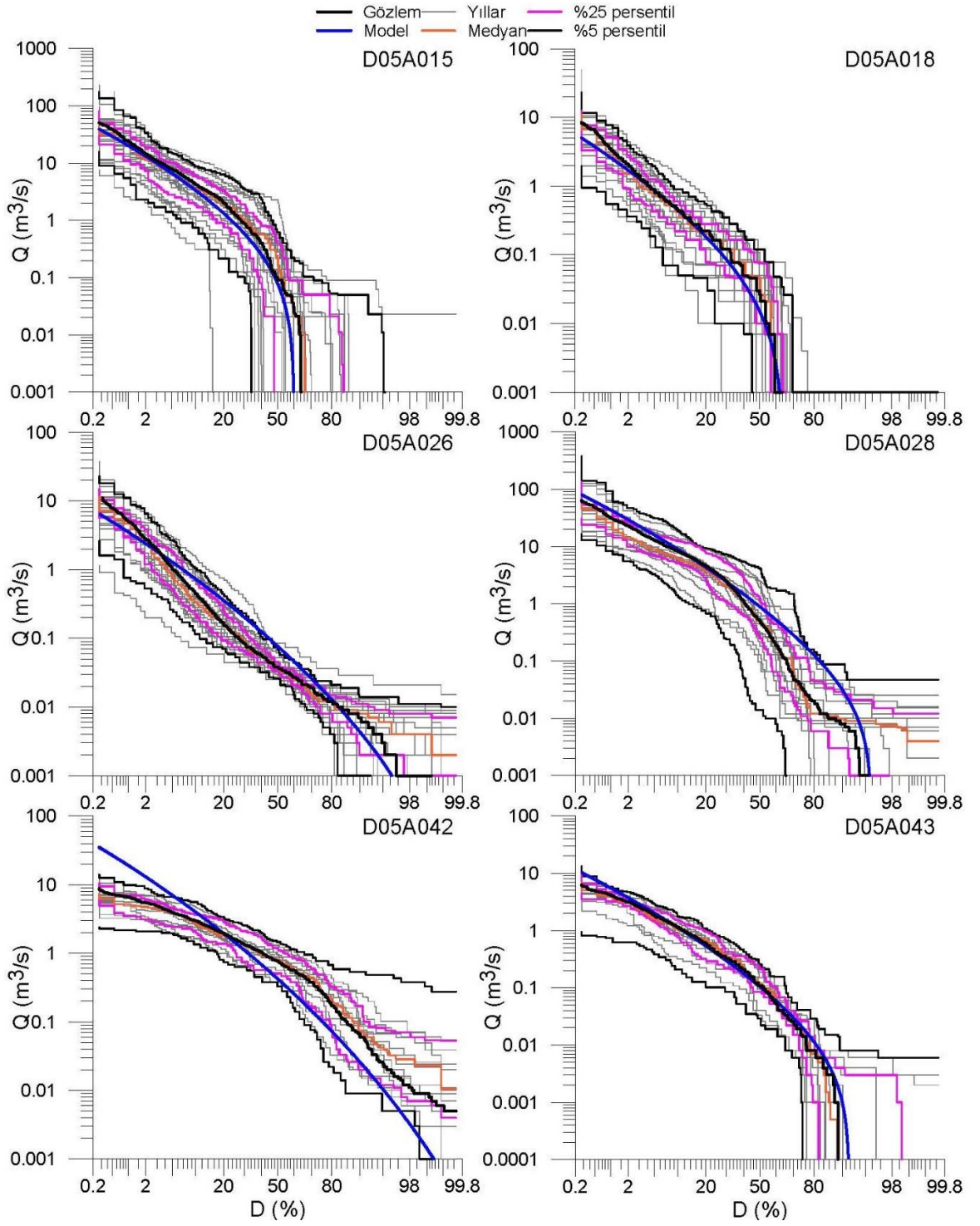
**Şekil B.4 :** Meriç havzası kalibrasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri.



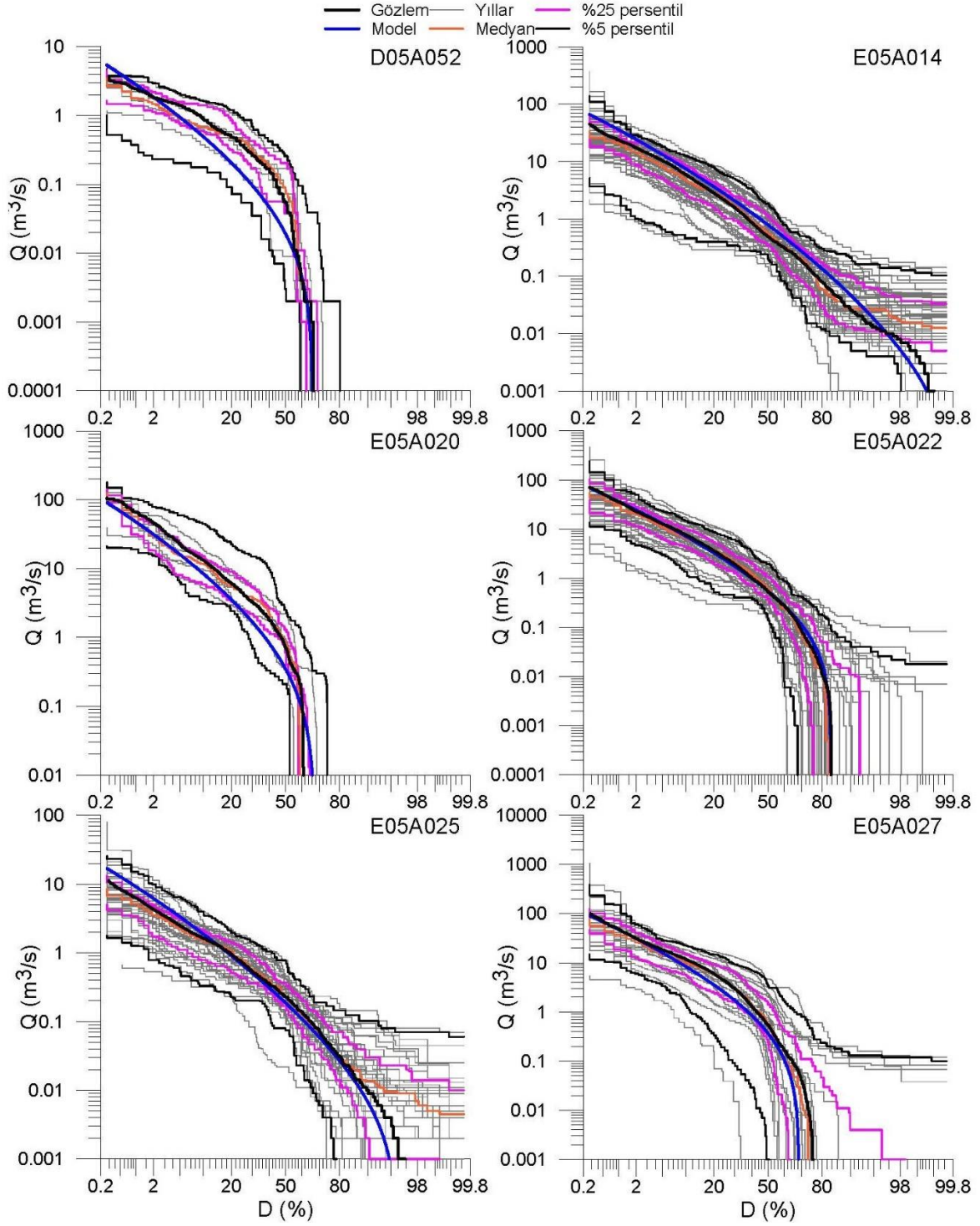
**Şekil B.4 (devam) :** Meriç havzası kalibrasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri.



**Şekil B.4 (devam) :** Meriç havzası kalibrasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri.



**Şekil B.5 :** Gediz havzası kalibrasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri.



**Şekil B.5 (devam) :** Gediz havzası kalibrasyon AGİ'lerinin günlük debi süreklilik çizgileri.

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Halil İbrahim BURGAN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 03.03.1988 / Antalya  
**E-posta** : burgan@itu.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2013, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Hidrolik Bilim Dalı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- İTÜ, 2013-, Araştırma Görevlisi
- Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2010-2013, Araştırma Görevlisi

### DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

SCI-Expanded:

- **Burgan, H. I., Aksoy, H.** (2018). Annual flow duration curve model for ungauged basins. *Hydrology Research*, 49(5), 1684-1695.

Diğer indeksler:

- **Burgan, H. I., Aksoy, H.** (2016). Regional flow duration curves for Seyhan and Ceyhan Basins. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5(Special Issue 12), 121-128.

Konferans bildirileri:

- **Burgan, H. I.**, Aksoy, H. (2017). Flow duration curve model for ungauged basins. *IWA 2<sup>nd</sup> Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment (IWA-PPFW2017)*, 22-24 Mart 2017, 529-536, Çeşme, İzmir.
- **Burgan, H. I.**, Aksoy, H. (2016). Regional Flow Duration Curves for Seyhan and Ceyhan Basins. *The 1<sup>st</sup> International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences (ICETAS2016)*, 21-22 Nisan 2016, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.

## DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

SCI-Expanded:

- **Burgan, H. I.**, İcaga, Y. (2019). Flood analysis using Adaptive Hydraulics (AdH) model in Akarcay Basin. *Teknik Dergi*, 30(2), 9029-9051.
- Eris, E., Aksoy, H., Onoz, B., Cetin, M., Yuce, M. I., Selek, B., Aksu, H., **Burgan, H. I.**, Esit, M., Yıldırım, I., Unsal Karakus, E. (2019). Frequency analysis of low flows in intermittent and non-intermittent rivers from hydrological basins in Turkey. *Water Science and Technology: Water Supply*, 19(1), 30-39.

Diğer indeksler:

- Aksoy, H., Eriş, E., Önöz, B., Çetin, M., Yüce, M. İ., Selek, B., Aksu, H., **Burgan, H. İ.**, Yıldırım, I., Eşit, M., Ünsal Karakuş, E. (2018). Düşük akımların frekans analizi ve çevresel akış ile ilişkisi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9(1), 503-514.
- **Burgan, H. I.** (2017). Assessment of flow duration curves at different time scales. *Engineering Sciences (NWSAENS)*, 12(3), 236-243.
- **Burgan, H. İ.**, İçağa, Y., Bostanoğlu, Y., Kilit, M. (2013). Akarçay Akarsuyu 2006-2011 dönemi su kalite eğilimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 127-132.

Konferans bildirileri:

- **Burgan, H. I.**, Aksoy, H. (2018). Flood discharge estimation by synthetic methods. *The 10<sup>th</sup> International Perspective on Water Resources and the Environment (IPWE 2018)*, 04-07 Aralık 2018, 7 sayfa, Andes Üniversitesi, Cartagena, Kolombiya.
- Cetin, M., Aksoy, H., Onoz, B., Eris, E., Yuce, M. I., Selek, B., Aksu, H., **Burgan, H. I.**, Esit, M., Cavus, Y., Orta, S. (2018). Deriving accumulated precipitation deficits from Drought Severity-Duration-Frequency Curves: A case study in Adana Province, Turkey. *The 1<sup>st</sup> International Congress on Agricultural Structures and Irrigation*, 26-28 Eylül 2018, Antalya.

- Aksoy, H., Önöz, B., Çetin, M., Yüce, M. İ., Eriş, E., Selek, B., Aksu, H., **Burgan, H. İ.**, Eşit, M., Orta, S., Çavuş, Y. (2018). Edirne için Kuraklık Şiddet-Süre-Frekans eğrileri. *Ulusal Hidrojeoloji ve Su Kaynakları Sempozyumu (HİDRO 2018)*, 27-29 Eylül 2018, 42-47, Hacettepe Üniversitesi, Beytepe, Ankara.
- Aksoy, H., Onoz, B., Cetin, M., Yuce, M. I., Eris, E., Selek, B., Aksu, H., **Burgan, H. I.**, Esit, M., Orta, S., Cavus, Y. (2018). SPI-based Drought Severity-Duration-Frequency analysis. *The 13<sup>th</sup> International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2018)*, 12-14 Eylül 2018, 7 sayfa, İzmir.
- Aksoy, H., Onoz, B., Cetin, M., Yuce, M. I., Eris, E., Selek, B., Aksu, H., **Burgan, H. I.**, Esit, M., Orta, S., Cavus, Y. (2018). Drought Analysis in Gediz Basin. *Scientific Congress of the Turkish National Union of Geodesy and Geophysics (TUJJB)*, 30 Mayıs-02 Haziran 2018, 28-31, İzmir.
- Kirca, V. S. O., Aksoy, H., **Burgan, H. I.** (2017). A comparison of flood vulnerability using different resolution digital elevation models. *The 8<sup>th</sup> International Symposium on Atmospheric Sciences (ATMOS 2017)*, 01-04 Kasım 2017, 484-489, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Aksoy, H., Eriş, E., Önöz, B., Çetin, M., Yüce, M. İ., Selek, B., Aksu, H., **Burgan, H. İ.**, Yıldırım, I., Eşit, M., Ünsal Karakuş, E. (2017). Kuruyan akarsularda düşük akımların frekans analizi. *9. Ulusal Hidroloji Kongresi*, 04-06 Ekim 2017, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- **Burgan, H. I.** (2017). Prediction of runoff using rainfall and evaporation data. *The 2<sup>nd</sup> International Science Symposium (ISS2017)*, 05-08 Eylül 2017, 1A78PB, 223-226, Tiflis, Gürcistan.
- **Burgan, H. I.** (2017). Assessment of flow duration curves at different time scales. *The 2<sup>nd</sup> International Science Symposium (ISS2017)*, 05-08 Eylül 2017, 1A77IJ, Tiflis, Gürcistan.
- **Burgan, H. I.**, Vaheddoost, B., Aksoy, H. (2017). Frequency analysis of monthly runoff in intermittent rivers. *World Environmental & Water Resources Congress (EWRI 2017)*, 21-25 Mayıs 2017, 327-334, Sacramento, CA, A.B.D.
- Aksoy, H., Eriş, E., Önöz, B., Çetin, M., Yüce, M. İ., Selek, B., **Burgan, H. İ.**, Uçan, M., Eşit, M., Kayan, G., Çaylak, A. E., Aksu, H. (2017). Frequency analysis of low flows. *IWA 2<sup>nd</sup> Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment (IWA-PPFW2017)*, 22-24 Mart 2017, 509-517, Çeşme, İzmir.
- **Burgan, H. İ.**, Kirca, V. Ş. Ö., Aksoy, H. (2016). Deniz su seviyesinin taşkın alanlarına etkisi. *4. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, 23-25 Kasım 2016, 749-755, Rize.

- **Burgan, H. I.** (2016). Assessment of floodplain models in Afyonkarahisar, Turkey. *International Science Symposium (ISS2016)*, 01-04 Eylül 2016, 1A30PB, 143-148, Büyükkada, İstanbul.
- **Burgan, H. I.** (2016). Autoregressive models for prediction of rainfall data in Afyon region. *International Science Symposium (ISS2016)*, 1A1PB, 01-04 Eylül 2016, 40-48, Büyükkada, İstanbul.
- Aksoy, H., Kirca, V. S. O., **Burgan, H. I.**, Kellecioglu, D. (2016). Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation areas. *The 7<sup>th</sup> International Water Resources Management Conference of ICWRS*, 18-20 Mayıs 2016, 373, 137-141, Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences (IAHS), Bochum, Almanya.
- **Burgan, H. İ.**, Kellecioglu, D., Aksoy, H., Kirca, V. Ş. Ö. (2015). Coğrafi bilgi sistemleri destekli taşkın hidrolik modeli. *4. Ulusal Su Yapıları Sempozyumu*, 19-20 Kasım 2015, 260-267, İnşaat Mühendisleri Odası, Antalya.
- Aksoy, H., Kirca, V. Ş. Ö., **Burgan, H. İ.**, Kellecioglu, D., Ermiş, I. S. (2015). Akarsu havzalarında taşkına meyilli alanların zemin nem indeksi ile belirlenmesi. *8. Ulusal Hidroloji Kongresi*, 08-10 Ekim 2015, 424-429, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- **Burgan, H. I.** (2014). A conceptual model of Akarcay Basin and analysis of flood risks. *Mediterranean Meeting on "Monitoring, Modelling and Early Warning of Extreme Events Triggered by Heavy Rainfall"*, 26 -28 Haziran 2014, 165-173, Calabria Üniversitesi, Cosenza, İtalya.
- **Burgan, H. İ.**, İçağa, Y. (2012). Akarçay Akarsuyu Kirliliği'nde taşkın etkisi. *Uluslararası Yapı Kongresi 2012*, 11-13 Ekim 2012, 260-266, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- **Burgan, H. İ.**, Görhan, G., Kürklü, G. (2012). Ülkemizde son yıllarda yıkılan köprülerin yıkılma nedenlerinin araştırılması. *Uluslararası Yapı Kongresi 2012*, 11-13 Ekim 2012, 250-259, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- **Burgan, H. İ.**, İçağa, Y. (2012). Afyon Ovası'nın paket program yardımıyla taşkın modellemesi. *Uluslararası Yapı Kongresi 2012*, 11-13 Ekim 2012, 267-274, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.