

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ERGENE HAVZASI YAĞIŞ – AKIŞ İLİŞKİLERİNİN  
HİDROLOJİK VE HİDROLİK MODELLEME İLE  
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PINAR GÖKÇE KARGI**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2019**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ERGENE HAVZASI YAĞIŞ – AKIŞ İLİŞKİLERİNİN  
HİDROLOJİK VE HİDROLİK MODELLEME İLE  
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PINAR GÖKÇE KARGI**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Pınar Gökçe KARGI** tarafından hazırlanan “**Ergene Havzası Yağış – Akış İlişkilerinin Hidrolojik ve Hidrolik Modelleme İle Belirlenmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 19.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza


Danışman

Prof. Dr. Mustafa Tamer AYVAZ



Üye

Prof. Dr. Elçin KENTEL

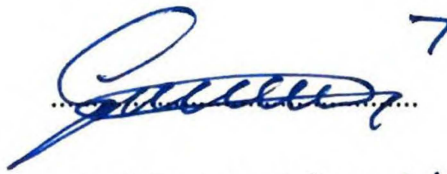


Üye

Prof. Dr. Abdullah Cem KOÇ



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17/07/2019 tarih ve 29/1022 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL ✓

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 115Y064 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.**



**PINAR GÖKÇE KARGI**

## ÖZET

### ERGENE HAVZASI YAĞIŞ – AKIŞ İLİŞKİLERİNİN HİDROLOJİK VE HİDROLİK MODELLEME İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PINAR GÖKÇE KARGI

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MUSTAFA TAMER AYVAZ)

DENİZLİ, HAZİRAN - 2019

Hızlı nüfus artışıyla birlikte su talebinin artması, bu talebi karşılayacak kaynakların azlığı, gelişen sanayi ve tarımsal faaliyetler nedeniyle aşırı kullanım ve kirliliğin artması gibi sorunlar su kaynakları yönetiminin önemini her geçen gün daha da artırmaktadır.

Artan endüstrileşme nedeniyle su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin tehlike altına girdiği Ergene Nehri'nde de su kalitesi bakımından ciddi bozulmalar meydana gelmiştir. Bu sebeple Meriç-Ergene Havzası için yapılan havza koruma eylem planı çerçevesinde Ergene Nehri'nin temizlenmesine yönelik çalışmalar başlamıştır. Ancak eylem planı kapsamında öngörülen “Su kalitesinin izlenmesi” faaliyetlerinin yetersiz olduğu gerekçesiyle TÜBİTAK destekli 115Y064 nolu proje gerçekleştirilmiş ve su kalitesinin yönetimi için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Gerçekleştirilen projenin işlem adımlarından biri olan bu çalışmada, Ergene Havzası'nın hidrolojik durumu tespit edilmiş ve su kalitesi modeline katkı sağlamak amacıyla hidrolik modeli kurulmuştur. Hidrolojik ve hidrolik modelleme süreci sırasıyla Amerikan Ordu Mühendisleri Hidroloji Mühendisliği Merkezi kapsamında geliştirilen HEC-HMS ve HEC-RAS programları ile gerçekleştirilmiştir. Hidrolik modelde kullanılacak akış hidrografını elde etmek amacıyla, havzanın hidrolojik durumunun temsil edildiği hidrolojik model kurulmuştur. Yapılan saha çalışması sonucu elde edilen veriler kullanılarak bir boyutlu kararlı akım simülasyonu ile akış kollarındaki en kesitlerde Manning pürüzlülük katsayıları kalibre edilmiş, kalibre edilen değerler ve hidrolojik modelden temin edilen akış hidrografları bir boyutlu kararsız akım simülasyonlarında kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre hesaplanan akış hidrografları ile gözlenen akış hidrograflarının trendinin benzerlik gösterdiği ancak pik debiler arasında uyumsuzluk olduğu gözlenmiştir. Endüstriyel ve tarım faaliyetlerinin yoğun olduğu Ergene Havzası'nda bu faaliyetlerden kaynaklanan yapay su katkısı, modelleme sürecini negatif yönde etkilese de genel olarak uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Ergene Havzası, Hidrolojik Modelleme, Hidrolik Modelleme, HEC-HMS, HEC-RAS

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF THE PRECIPITATION – FLOW RELATIONSHIPS IN ERGENE BASIN WITH HYDROLOGICAL AND HYDRAULIC MODELING**

**MSC THESIS**

**PINAR GÖKÇE KARGI**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**CIVIL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. MUSTAFA TAMER AYVAZ)**

**DENİZLİ, JUNE 2019**

Increasing demand for water due to rapid population growth, lack of resources to meet this demand, excessive use and pollution due to developing industrial and agricultural activities increase the importance of water resources management day by day.

There has been serious deterioration in water quality in the Ergene River, where the sustainability of water resources has been endangered due to the increasing industrialization. For this reason, within the scope of the basin protection action plan for the Meriç-Ergene Basin, the studies on cleaning the Ergene River have been started. However, in view of the insufficient "monitoring of water quality" activities foreseen under the action plan, TÜBİTAK project number 115Y064 was implemented and a decision support system was developed for the management of water quality.

In this study, which is one of the process steps of the project, the hydrological status of the Ergene Basin has been determined and a hydraulic model has been established to contribute to the water quality model. The hydrological and hydraulic modeling process was carried out by HEC-HMS and HEC-RAS programs developed by US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. A hydrological model representing the hydrological status of the basin was established to obtain flow hydrographs to be used in the hydraulic model. Using the data obtained from the field study, the Manning roughness coefficients were calibrated in the cross sections with one dimensional steady state simulation, and flow hydrographs obtained from the hydrological model and the calibrated values were used in one dimensional unsteady simulation.

According to the results, it was observed that the trend of estimated and observed flow hydrographs are similar despite the discrepancy between the peak flow rates. Although the artificial water contribution in Ergene Basin, where industrial and agricultural activities are intense, affect negatively the modeling process, generally consistent results were obtained.

**KEYWORDS:** Ergene Basin, Hydrological Modeling, Hydraulic Modeling, HEC-HMS, HEC-RAS

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|   |           |
|---|-----------|
| ÖZET.....   | i         |
| ABSTRACT .....  | ii        |
| İÇİNDEKİLER .....   | iii       |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | vi        |
| TABLO LİSTESİ .....   | xi        |
| SEMBOL LİSTESİ .....  | xiii      |
| KISALTMA LİSTESİ .....  | xv        |
| ÖNSÖZ.....  | xvi       |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 Amaç ve Kapsam .....  | 3         |
| 1.2 Literatür Taraması.....   | 6         |
| 1.2.1 Hidrolojik Modelleme Çalışmaları .....  | 7         |
| 1.2.2 Hidrolik Modelleme Çalışmaları.....   | 12        |
| 1.2.3 Ergene Havzası'nda Yapılmış Hidrolojik ve Hidrolik Modelleme<br>Çalışmaları ..... | 14        |
| 1.3 Tezin Organizasyonu .....   | 15        |
| <b>2. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>   | <b>17</b> |
| 2.1 Hidrolojik Modelleme.....   | 17        |
| 2.1.1 HEC-HMS.....  | 19        |
| 2.1.1.1 Yağışın Havzaya Dağılımı .....  | 20        |
| 2.1.1.2 Yağışın Akışa Dönüştürülmesi ve Kayıpların Belirlenmesi .....                   | 24        |
| 2.1.1.3 Doğrudan Akışın Belirlenmesi.....   | 27        |
| 2.1.1.4 Öteleme .....   | 31        |
| 2.1.1.5 Taban Akışının Belirlenmesi .....   | 38        |
| 2.1.1.6 Evapotranspirasyon .....  | 39        |
| 2.1.1.7 Model Kalibrasyonu.....   | 40        |
| 2.2 Hidrolik Modelleme.....   | 42        |
| 2.2.1 HEC-RAS.....  | 42        |
| 2.2.1.1 Bir Boyutlu Kararlı Akım .....  | 43        |
| 2.2.1.2 Bir Boyutlu Kararsız Akım .....   | 46        |



|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.1.3 Sınır Koşulları .....   | 47        |
| 2.2.1.4 Birleşim Noktaları .....  | 49        |
| <b>3. ÇALIŞMA SAHASI .....</b>  | <b>52</b> |
| 3.1 Çalışma Sahası Hakkında Genel Bilgi .....                           | 52        |
| 3.2 Hidrolojik Durum.....   | 56        |
| 3.2.1 Akım Gözlem İstasyonları .....                                    | 56        |
| 3.2.2 Meteoroloji Gözlem İstasyonları.....                              | 61        |
| <b>4. MODEL GELİŞTİRİLMESİ .....</b>                                    | <b>64</b> |
| 4.1 HEC-HMS ile Hidrolojik Model Kurulumu .....                         | 64        |
| 4.1.1 Sayısal Yükseklik Modeli .....                                    | 64        |
| 4.1.2 Arazi Kullanım Bilgisi .....                                      | 65        |
| 4.1.3 Hidrolojik Toprak Grubu .....                                     | 66        |
| 4.1.4 Alt Havzaların Belirlenmesi.....                                  | 67        |
| 4.1.5 Havza Parametrelerinin Belirlenmesi .....                         | 71        |
| 4.1.5.1 Havza Morfometrik Parametrelerinin Belirlenmesi.....            | 71        |
| 4.1.5.2 Eğri Numarası (CN) ve Gecikme Süresinin Belirlenmesi .....      | 73        |
| 4.1.5.3 İstasyon Ağırlıklarının Belirlenmesi .....                      | 76        |
| 4.2 HEC-RAS ile Hidrolik Model Kurulumu .....                           | 78        |
| 4.2.1 Saha Çalışması .....  | 79        |
| 4.2.2 HEC GeoRAS ile Model Oluşturulması .....                          | 87        |
| 4.2.3 Modelleme İçin Gerekli Sınır Koşullarının Elde Edilmesi.....      | 89        |
| <b>5. MODEL SONUÇLARI.....</b>  | <b>92</b> |
| 5.1 Hidrolojik Model Sonuçları .....                                    | 92        |
| 5.1.1 Senaryo 1: Düşük Akım İçin Model Kalibrasyonu.....                | 93        |
| 5.1.1.1 Doğrulama.....  | 96        |
| 5.1.2 Senaryo 2: Orta Akım İçin Model Kalibrasyonu .....                | 98        |
| 5.1.3 Senaryo 3: Yüksek Akım İçin Model Kalibrasyonu .....              | 100       |
| 5.1.4 Hidrolojik Model Senaryolarının Değerlendirilmesi .....           | 102       |
| 5.2 Hidrolik Model Sonuçları .....                                      | 104       |
| 5.2.1 Kararlı Durum İçin Yapılan Analiz Sonuçları .....                 | 104       |
| 5.2.1.1 Senaryo 4: Seviye Değerleri İçin Model Kalibrasyonu .....       | 104       |
| 5.2.1.2 Senaryo 5: Hız Değerleri İçin Model Kalibrasyonu .....          | 106       |
| 5.2.1.3 Senaryo 6: Seviye ve Hız Değerleri İçin Model Kalibrasyonu..... | 107       |
| 5.2.2 Kararlı Akım Senaryolarının Değerlendirilmesi.....                | 109       |
| 5.2.3 Kararsız Durum İçin Yapılan Analiz Sonuçları .....                | 112       |

|   |            |
|---|------------|
| 5.2.3.1 Senaryo 7: Düşük Akım Dönemi Kararsız Akım Simülasyonu.....   | 113        |
| 5.2.3.2 Senaryo 8: Orta Akım Dönemi Kararsız Akım Simülasyonu .....   | 116        |
| 5.2.3.3 Senaryo 9: Yüksek Akım Dönemi Kararsız Akım Simülasyonu ....  | 119        |
| 5.2.4 Kararsız Akım Senaryolarının Değerlendirilmesi.....   | 122        |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>   | <b>123</b> |
| 6.1 Bulgular.....   | 123        |
| 6.2 Sonuçlar .....  | 125        |
| 6.3 Öneriler .....  | 126        |
| <b>7. KAYNAKLAR.....</b>  | <b>128</b> |
| <b>8. EKLER.....</b>  | <b>142</b> |
| EK A Ergene Havzası 1996-2001 Su Yıllarında Ölçüm Yapmış Akım Gözlem İstasyonlarına Ait Debi Zaman Grafikleri ve Debi Süreklilik Eğrileri.... | 142        |
| EK B Ergene Havzası 1996-2001 Su Yıllarında Ölçüm Yapmış Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına Ait Yağış - Sıcaklık ve Nem Grafikleri .....       | 146        |
| EK C Ergene Havzası Alt Havzaları Ağırlıklı Eğri Numarası Hesapları.....  | 152        |
| EK D Saha Çalışması Sonucu Elde Edilen Akış Enkesitleri ve Hız Profilleri...  | 159        |
| EK E Kararsız Akım Simülasyonları İçin Yanal Akış Hidrografları .....   | 174        |
| <b>9. ÖZGEÇMİŞ.....</b>   | <b>177</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Şekil 1.1: Türkiye’de bulunan 25 nehir havzası .....   | 2  |
| Şekil 2.1: Hidrolojik modellerin sınıflandırılması.....  | 18 |
| Şekil 2.2: Alansal ortalama yağış .....  | 21 |
| Şekil 2.3: Ters mesafelerin kareleri yöntemi .....   | 22 |
| Şekil 2.4: 24 Saatlik SCS dağılımı .....   | 23 |
| Şekil 2.5: Kinematik dalga modeli .....  | 32 |
| Şekil 2.6: Gecikme modeli .....  | 34 |
| Şekil 2.7: Prizma ve kama şeklindeki depolamalar .....   | 35 |
| Şekil 2.8: HEC-RAS ile toplam konveyansın hesaplanması.....  | 44 |
| Şekil 2.9: Birleşim noktası.....   | 49 |
| Şekil 3.1: Ergene Havzası’nın yer buldur haritası .....  | 52 |
| Şekil 3.2: Yenicegözüce AGİ’ye ait su toplama alanı, bu alan ile sınırlandırılmış sayısal yükseklik modeli ve akış kolları ..... | 53 |
| Şekil 3.3: Ergene Havzası Eğim Haritası .....  | 54 |
| Şekil 3.4: Ergene Havzası’nda yer alan baraj hazneleri ve göletler .....   | 55 |
| Şekil 3.5: Ergene Havzası’nda yer alan AGİ’lerin yerleşimi .....   | 56 |
| Şekil 3.6: 1996-2001 döneminde ortak ölçüm yapmış AGİ’lerin havza üzerindeki yerleşimi.....                                      | 59 |
| Şekil 3.7: 112 nolu Yenicegözüce AGİ’ye ait debi – zaman grafiği .....   | 60 |
| Şekil 3.8:112 nolu Yenicegözüce AGİ’ye ait debi – süreklilik eğrisi.....   | 60 |
| Şekil 3.9: 1996-2001 su yıllarında kesintisiz olarak ölçüm yapılan MGİ’lerin havza üzerindeki yerleşimi.....                     | 62 |
| Şekil 3.10: 17631 nolu MGİ için yağış ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi .....  | 63 |
| Şekil 3.11: 17631 nolu MGİ için nem değerlerinin zamanla değişimi.....   | 63 |
| Şekil 4.1: 25 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli .....  | 65 |
| Şekil 4.2: Arazi kullanım haritası .....   | 66 |
| Şekil 4.3: Hidrolojik toprak grupları .....  | 67 |
| Şekil 4.4: Ergene havzası modellenecek akış kolları.....   | 68 |
| Şekil 4.5: Veri girişi yapılacak noktalara ait alt havzalar .....  | 68 |
| Şekil 4.6: Kaynak noktalarının drenaj alanları .....   | 69 |
| Şekil 4.7: 120, 108 ve 106 nolu akım gözlem istasyonları drenaj alanları.....  | 70 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Şekil 4.8:</b> Ergene havzası ve 16 alt havzası.....   | 70 |
| <b>Şekil 4.9:</b> WMS ile belirlenen ergene havzası sınırları ve akış kolları.....  | 71 |
| <b>Şekil 4.10:</b> Thiessen poligonları .....   | 77 |
| <b>Şekil 4.11:</b> Ergene havzası HEC-HMS üzerindeki görünümü .....   | 78 |
| <b>Şekil 4.12:</b> Akım – en kesit ölçümlerinin yapıldığı 30 noktanın havza üzerindeki dağılımı.....  | 80 |
| <b>Şekil 4.13:</b> 3 nolu ölçüm noktasında ADCP ile hız ve enkesit çıkarılması .....  | 80 |
| <b>Şekil 4.14:</b> 3 nolu nokta için ADCP ile belirlenen akış en kesiti ve hız dağılımı ...   | 81 |
| <b>Şekil 4.15:</b> Saha ölçüm talimnamesi.....  | 81 |
| <b>Şekil 4.16:</b> Saha çalışması sonucu her kesit için ölçülmüş ortalama akış hızları ....   | 82 |
| <b>Şekil 4.17:</b> Saha çalışması sonucu her kesit için ölçülmüş maksimum su derinlikleri .....   | 83 |
| <b>Şekil 4.18:</b> Saha çalışması sonucu her kesit için ölçülmüş debiler.....   | 84 |
| <b>Şekil 4.19:</b> 39 nolu ölçüm noktasındaki akım durumunun Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için karşılaştırılması .....                            | 85 |
| <b>Şekil 4.20:</b> Farklı akış kolları için elde edilen su yüzü profilleri .....  | 86 |
| <b>Şekil 4.21:</b> 40 nolu ölçüm noktası için sayısallaştırılan akış kolunun, sağ ve sol sahillerin ve en kesitin HEC-GeoRAS üzerindeki görüntüsü ..... | 87 |
| <b>Şekil 4.22:</b> 40 nolu ölçüm noktası için HEC-GeoRAS ile elde edilen en kesit bilgisi.....  | 88 |
| <b>Şekil 4.23:</b> 40 nolu ölçüm noktası için Şubat 2018 saha çalışması sonucu elde edilen en kesit bilgisi.....  | 88 |
| <b>Şekil 4.24:</b> Modellenen akış kollarının HEC-RAS üzerindeki görünümü.....  | 89 |
| <b>Şekil 4.25:</b> Kasım 2017 - normal derinlik hesabı için ortalama taban eğimlerine uydurulan eğilim çizgileri .....                                  | 90 |
| <b>Şekil 4.26:</b> Şubat 2018 - normal derinlik hesabı için ortalama taban eğimlerine uydurulan eğilim çizgileri .....                                  | 91 |
| <b>Şekil 5.1:</b> 112 nolu AGİ 1996-2001 su yılları akış hidrografı.....  | 92 |
| <b>Şekil 5.2:</b> Düşük, orta ve yüksek akım kalibrasyon dönemleri .....  | 93 |
| <b>Şekil 5.3:</b> Senaryo 1 - kalibrasyon sonucu elde edilen 120, 108, 60 ve 3 nolu havzaların akış hidrografları .....                                 | 94 |
| <b>Şekil 5.4:</b> Senaryo 1 - 43 ve 64 nolu havzalar için hesaplanan akış hidrografları...  | 95 |
| <b>Şekil 5.5:</b> Düşük akım kalibrasyon ve doğrulama dönemleri.....  | 96 |
| <b>Şekil 5.6:</b> Doğrulama sonucu elde edilen 120, 108, 60 ve 3 nolu havzaların akış hidrografları.....  | 97 |
| <b>Şekil 5.7:</b> Senaryo 2 - kalibrasyon sonucu elde edilen 120, 108, 60 ve 3 nolu havzaların akış hidrografları .....                                 | 98 |
| <b>Şekil 5.8:</b> Senaryo 2 - 43 ve 64 nolu havzalar için hesaplanan akış hidrografları...  | 99 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Şekil 5.9:</b> Senaryo 3 - kalibrasyon sonucu elde edilen 120, 108, 60 ve 3 nolu havzaların akış hidrografları .....   | 101 |
| <b>Şekil 5.10:</b> Senaryo 3 - 43 ve 64 nolu havzalar için hesaplanan akış hidrografları.....   | 102 |
| <b>Şekil 5.11:</b> Senaryo 4 - kalibrasyon sonrası elde edilen su seviyesi değerlerinin saha ölçümleri ile karşılaştırılması.....                                 | 105 |
| <b>Şekil 5.12:</b> Senaryo 4 - sahada ölçülen ve kalibre edilmiş parametreler için model tarafından hesaplanan hız değerlerinin karşılaştırılması .....           | 105 |
| <b>Şekil 5.13:</b> Senaryo 5 - kalibrasyon sonrası elde edilen ortalama hız değerlerinin saha ölçümleri ile karşılaştırılması.....                                | 106 |
| <b>Şekil 5.14:</b> Senaryo 5 - sahada ölçülen ve kalibre edilmiş parametreler için model tarafından hesaplanan su yüksekliği değerlerinin karşılaştırılması ..... | 107 |
| <b>Şekil 5.15:</b> Senaryo 6 - kalibrasyon sonrası elde edilen seviye ve ortalama hız değerlerinin saha ölçümleri ile karşılaştırılması.....                      | 108 |
| <b>Şekil 5.16:</b> Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için belirlenen $n$ değerlerinin Senaryo 4-6 için karşılaştırılması.....                                    | 110 |
| <b>Şekil 5.17:</b> HEC-RAS bir boyutlu kararsız akım modeli için kullanılan akış hidrografları.....   | 112 |
| <b>Şekil 5.18:</b> Senaryo 7 - 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen akış hidrografları.....   | 113 |
| <b>Şekil 5.19:</b> Senaryo 7 – 1 Kasım 1999 ve 1 Şubat 2000 hesaplanan su yüzü profilleri.....  | 115 |
| <b>Şekil 5.20:</b> Senaryo 8 - 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen akış hidrografları.....   | 116 |
| <b>Şekil 5.21:</b> Senaryo 8 – 15 Kasım 1997 ve 15 Şubat 1998 hesaplanan su yüzü profilleri.....  | 118 |
| <b>Şekil 5.22:</b> Senaryo 9 - 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen akış hidrografları.....   | 119 |
| <b>Şekil 5.23:</b> Senaryo 9 – 10 Kasım 1998 ve 10 Şubat 1999 hesaplanan su yüzü profilleri.....  | 121 |
| <b>Şekil A.1:</b> 101 nolu AGİ debi zaman grafiği.....  | 142 |
| <b>Şekil A.2:</b> 106 nolu AGİ debi zaman grafiği.....  | 142 |
| <b>Şekil A.3:</b> 108 nolu AGİ debi zaman grafiği.....  | 142 |
| <b>Şekil A.4:</b> 110 nolu AGİ debi zaman grafiği.....  | 143 |
| <b>Şekil A.5:</b> 111 nolu AGİ debi zaman grafiği.....  | 143 |
| <b>Şekil A.6:</b> 113 nolu AGİ debi zaman grafiği.....  | 143 |
| <b>Şekil A.7:</b> 120 nolu AGİ debi zaman grafiği.....  | 143 |
| <b>Şekil A.8:</b> 131 nolu AGİ debi zaman grafiği.....  | 144 |
| <b>Şekil A.9:</b> 139 nolu AGİ debi zaman grafiği.....  | 144 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Şekil A.10:</b> 152 nolu AGİ debi zaman grafiği.....                   | 144 |
| <b>Şekil A.11:</b> 163 nolu AGİ debi zaman grafiği.....                   | 144 |
| <b>Şekil A.12:</b> 165 nolu AGİ debi zaman grafiği.....                   | 145 |
| <b>Şekil A.13:</b> 166 nolu AGİ debi zaman grafiği.....                   | 145 |
| <b>Şekil A.14:</b> 166 nolu AGİ debi zaman grafiği.....                   | 145 |
| <b>Şekil B.1:</b> 17634 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri .....        | 146 |
| <b>Şekil B.2:</b> 17634 nolu MGİ nem değerleri .....                      | 146 |
| <b>Şekil B.3:</b> 17632 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri .....        | 146 |
| <b>Şekil B.4:</b> 17632 nolu MGİ nem değerleri .....                      | 147 |
| <b>Şekil B.5:</b> 17608 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri .....        | 147 |
| <b>Şekil B.6:</b> 17608 nolu MGİ nem değerleri .....                      | 147 |
| <b>Şekil B.7:</b> 17056 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri .....        | 148 |
| <b>Şekil B.8:</b> 17056 nolu MGİ nem değerleri .....                      | 148 |
| <b>Şekil B.9:</b> 17054 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri .....        | 148 |
| <b>Şekil B.10:</b> 17054 nolu MGİ nem değerleri .....                     | 149 |
| <b>Şekil B.11:</b> 17052 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri.....        | 149 |
| <b>Şekil B.12:</b> 17052 nolu MGİ nem değerleri .....                     | 149 |
| <b>Şekil B.13:</b> 17050 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri.....        | 150 |
| <b>Şekil B.14:</b> 17050 nolu MGİ nem değerleri .....                     | 150 |
| <b>Şekil B.15:</b> 643 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri .....         | 150 |
| <b>Şekil B.16:</b> 643 nolu MGİ nem değerleri .....                       | 151 |
| <b>Şekil D.1:</b> 3 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....   | 159 |
| <b>Şekil D.2:</b> 4 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....   | 159 |
| <b>Şekil D.3:</b> 5 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....   | 160 |
| <b>Şekil D.4:</b> 16 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....  | 160 |
| <b>Şekil D.5:</b> 27 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....  | 161 |
| <b>Şekil D.6:</b> 28 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....  | 161 |
| <b>Şekil D.7:</b> 29 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....  | 162 |
| <b>Şekil D.8:</b> 30 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....  | 162 |
| <b>Şekil D.9:</b> 31 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....  | 163 |
| <b>Şekil D.10:</b> 32 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri ..... | 163 |
| <b>Şekil D.11:</b> 33 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri ..... | 164 |
| <b>Şekil D.12:</b> 34 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri ..... | 164 |
| <b>Şekil D.13:</b> 35 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri ..... | 165 |
| <b>Şekil D.14:</b> 36 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri ..... | 165 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Şekil D.15:</b> 37 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 166 |
| <b>Şekil D.16:</b> 38 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 166 |
| <b>Şekil D.17:</b> 39 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 167 |
| <b>Şekil D.18:</b> 40 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 167 |
| <b>Şekil D.19:</b> 42 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 168 |
| <b>Şekil D.20:</b> 43 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 168 |
| <b>Şekil D.21:</b> 46 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 169 |
| <b>Şekil D.22:</b> 52 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 169 |
| <b>Şekil D.23:</b> 53 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 170 |
| <b>Şekil D.24:</b> 54 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 170 |
| <b>Şekil D.25:</b> 56 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 171 |
| <b>Şekil D.26:</b> 60 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 171 |
| <b>Şekil D.27:</b> 62 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 172 |
| <b>Şekil D.28:</b> 64 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 172 |
| <b>Şekil D.29:</b> 72 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 173 |
| <b>Şekil D.30:</b> 75 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri .....        | 173 |
| <b>Şekil E.1:</b> Düşük akım dönemi - 32 nolu nokta yanal akış hidrografi .....  | 174 |
| <b>Şekil E.2:</b> Düşük akım dönemi - 36 nolu nokta yanal akış hidrografi .....  | 174 |
| <b>Şekil E.3:</b> Düşük akım dönemi - 46 nolu nokta yanal akış hidrografi .....  | 174 |
| <b>Şekil E.4:</b> Düşük akım dönemi - 72 nolu nokta yanal akış hidrografi .....  | 174 |
| <b>Şekil E.5:</b> Orta akım dönemi - 32 nolu nokta yanal akış hidrografi.....    | 175 |
| <b>Şekil E.6:</b> Orta akım dönemi - 36 nolu nokta yanal akış hidrografi.....    | 175 |
| <b>Şekil E.7:</b> Orta akım dönemi - 46 nolu nokta yanal akış hidrografi.....    | 175 |
| <b>Şekil E.8:</b> Orta akım dönemi - 72 nolu nokta yanal akış hidrografi.....    | 175 |
| <b>Şekil E.9:</b> Yüksek akım dönemi - 32 nolu nokta yanal akış hidrografi.....  | 176 |
| <b>Şekil E.10:</b> Yüksek akım dönemi - 36 nolu nokta yanal akış hidrografi..... | 176 |
| <b>Şekil E.11:</b> Yüksek akım dönemi - 46 nolu nokta yanal akış hidrografi..... | 176 |
| <b>Şekil E.12:</b> Yüksek akım dönemi - 72 nolu nokta yanal akış hidrografi..... | 176 |

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tablo 2.1:</b> Hidrolojik toprak grupları.....   | 24  |
| <b>Tablo 2.2:</b> Öteleme modelinin seçilmesi.....  | 37  |
| <b>Tablo 2.3:</b> HEC-HMS model kalibrasyonunda kullanılan amaç fonksiyonları .....                                   | 41  |
| <b>Tablo 2.4:</b> Enerji çizgisi eğiminin hesaplanması .....  | 45  |
| <b>Tablo 3.1:</b> Ergene Havzası 2017-2023 nüfus karşılaştırması.....   | 55  |
| <b>Tablo 3.2:</b> Meriç-Ergene Havzası akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler.....                                   | 57  |
| <b>Tablo 3.3:</b> 1996-2001 döneminde ortak ölçüm periyoduna sahip AGİ'ler.....                                       | 58  |
| <b>Tablo 3.4:</b> 1996-2001 su yıllarında gözlenen akımların istatistiksel özeti.....                                 | 60  |
| <b>Tablo 3.5:</b> Ergene Havzası içinde ve yakın çevresindeki MGİ'ler, ölçülen parametreler ve ölçüm periyotları..... | 61  |
| <b>Tablo 3.6:</b> 1996-2001 su yılları için her bir MGİ'de ölçülen parametrelerin istatistiksel özeti .....           | 63  |
| <b>Tablo 4.1:</b> Ergene havzası morfometrik parametreleri.....   | 72  |
| <b>Tablo 4.2:</b> Ergene havzası alt havzaları morfometrik parametreleri.....   | 72  |
| <b>Tablo 4.3:</b> Corine arazi kullanım bölgeleri ve hidrolojik toprak gruplarına göre eğri numaraları .....          | 73  |
| <b>Tablo 4.4:</b> Ergene havzası ağırlıklı CN değerinin hesaplanması .....  | 74  |
| <b>Tablo 4.5:</b> Ergene havzası alt havzaları CN değerleri ve gecikme süreleri .....                                 | 76  |
| <b>Tablo 4.6:</b> Thiessen yöntemi ile elde edilen istasyon ağırlıkları.....  | 77  |
| <b>Tablo 4.7:</b> Akış kolları uç noktaları hesaplanan eğim değerleri .....   | 91  |
| <b>Tablo 5.1:</b> Düşük, orta ve yüksek akım kalibrasyon dönemleri.....   | 93  |
| <b>Tablo 5.2:</b> Senaryo 1 – hata değerlendirme ölçütleri .....  | 94  |
| <b>Tablo 5.3:</b> Doğrulama dönemi - hata değerlendirme ölçütleri .....   | 96  |
| <b>Tablo 5.4:</b> Senaryo 2 – hata değerlendirme ölçütleri .....  | 98  |
| <b>Tablo 5.5:</b> Senaryo 3 – hata değerlendirme ölçütleri .....  | 100 |
| <b>Tablo 5.6:</b> Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için belirlenen $n$ değerlerinin istatistiksel özeti.....        | 111 |
| <b>Tablo 5.7:</b> Senaryo 7 – Hesaplanan ve Gözlenen Debiler Arasındaki İlişki.....                                   | 113 |
| <b>Tablo 5.8:</b> Senaryo 8 – Hesaplanan ve Gözlenen Debiler Arasındaki İlişki.....                                   | 116 |
| <b>Tablo 5.9:</b> Senaryo 9 – Hesaplanan ve Gözlenen Debiler Arasındaki İlişki.....                                   | 119 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>Tablo C.1:</b> 3 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması .....    | 152 |
| <b>Tablo C.2:</b> 43 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması .....   | 153 |
| <b>Tablo C.3:</b> 60 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması .....   | 153 |
| <b>Tablo C.4:</b> 64 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması .....   | 154 |
| <b>Tablo C.5:</b> 101 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması .....  | 154 |
| <b>Tablo C.6:</b> 108 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması .....  | 155 |
| <b>Tablo C.7:</b> 110 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması .....  | 155 |
| <b>Tablo C.8:</b> 111 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması .....  | 156 |
| <b>Tablo C.9:</b> 113 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması .....  | 156 |
| <b>Tablo C.10:</b> 120 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması ..... | 157 |
| <b>Tablo C.11:</b> 131 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması ..... | 157 |
| <b>Tablo C.12:</b> 139 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması ..... | 157 |
| <b>Tablo C.13:</b> 152 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması ..... | 158 |
| <b>Tablo C.14:</b> 163 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması ..... | 158 |
| <b>Tablo C.15:</b> 165 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması ..... | 158 |
| <b>Tablo C.16:</b> 166 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması ..... | 158 |
| <b>Tablo C.17:</b> 167 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması ..... | 158 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                     |  |
|---------------------|--|
| $P_{OAY}$           | : Alansal ortalama yağış   |
| $w_i$               | : $i$ istasyonunun ağırlık faktörü                                   |
| $p_{nokta}$         | : Verisi bulunmayan noktadaki yağış yüksekliği                       |
| $CN_w$              | : Ağırlıklı Eğri Numarası  |
| $T_{lag}$           | : Gecikme süresi   |
| $R_{et}$            | : Havzadaki ortalama akış yüksekliği                                 |
| $f_t$               | : $t$ zaman dilimi boyunca oluşan sızma kaybı                        |
| $Q_n$               | : $n\Delta t$ zamanındaki yağış hidrografının ordinatı               |
| $\overline{Q}_t$    | : $t$ anında çıkış noktasındaki ortalama debi                        |
| $Q_t$               | : $t$ anında çıkış noktasındaki debi                                 |
| $C_A, C_B$          | : Öteleme katsayısı  |
| $t_{hücre}$         | : Bir hücre için debinin ulaşma süresi                               |
| $U_P$               | : Pik debi   |
| $T_P$               | : Pik debiye ulaşma süresi   |
| $t_{pR}$            | : Birim hidrografın gecikme süresi                                   |
| $S_f$               | : Enerji çizgisi eğimi   |
| $Q$                 | : Debi   |
| $q$                 | : Birim genişlik debisi  |
| $\bar{I}_t$         | : $\Delta t$ zamanı boyunca ortalama giren akım                      |
| $S_t$               | : $t$ anında akarsudaki biriktirme                                   |
| $C_{1,2,3,4}, K, X$ | : Muskingum Öteleme Modeli Parametreleri                             |
| $Q_0$               | : Referans debisi  |
| $Z$                 | : Amaç Fonksiyonu  |
| $q_0$               | : Gözlenen debi  |
| $q_s$               | : Hesaplanan debi  |
| $V_0$               | : Gözlenen akış hacmi  |
| $V_s$               | : Hesaplanan akış hacmi  |
| $h_e$               | : Yük kayıpları  |
| $L_w$               | : Akarsu ağırlıklı uzunluğu  |
| $L_{sol}$           | : Sol sahildeki taşkın yatağının diğer en kesite kadar olan uzunluğu |

|                   |   |  |
|-------------------|---|--|
| $L_{sağ}$         | : | Sol sahildeki taşkın yatağının diğer en kesite kadar olan uzunluğu |
| $L_{kanal}$       | : | Ana kanalın diğer en kesite kadar olan uzunluğu                    |
| $\bar{Q}_{sol}$   | : | Sol sahildeki taşkın yatağındaki ortalama debi                     |
| $\bar{Q}_{sağ}$   | : | Sağ sahildeki taşkın yatağındaki ortalama debi                     |
| $\bar{Q}_{kanal}$ | : | Ana kanaldaki ortalama debi  |
| $n_c$             | : | Kompozit pürüzlülük katsayısı                                      |
| $h_{ce}$          | : | Genişleme ve daralma kayıpları                                     |
| $WS$              | : | Hesaplanan su yüzü yüksekliği                                      |
| $z_k$             | : | $k$ akış kolundaki su seviyesi                                     |
| $z_c$             | : | $c$ akış kolundaki su seviyesi                                     |
| $L$               | : | Maksimum akış kolu uzunluğu  |
| $A$               | : | Alan   |
| $P$               | : | Havza çevresinin uzunluğu  |
| $h$               | : | Ortalama havza yüksekliği  |
| $S$               | : | Ortalama havza eğimi   |
| $r$               | : | Korelasyon katsayısı   |
| $R^2$             | : | Determinasyon katsayısı  |

## KISALTMA LİSTESİ

|                |  |
|----------------|--|
| <b>AB</b>      | : Avrupa Birliği   |
| <b>AGİ</b>     | : Akım Gözlem İstasyonu  |
| <b>CBS</b>     | : Coğrafi Bilgi Sistemleri   |
| <b>CN</b>      | : Eğri Numarası (Curve Number)   |
| <b>DSİ</b>     | : Devlet Su İşleri   |
| <b>EİE</b>     | : Elektrik İşleri Etüt İdaresi   |
| <b>EU-DEM</b>  | : Avrupa Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model over Europe)  |
| <b>HEC-HMS</b> | : Hidroloji Mühendisliği Merkezi - Hidrolojik Modelleme Sistemi (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) |
| <b>HEC-RAS</b> | : Hidroloji Mühendisliği Merkezi - Nehir Analiz Sistemi (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System)              |
| <b>HKEP</b>    | : Havza Korum Eylem Planı  |
| <b>HTG</b>     | : Hidrolojik Toprak Grubu  |
| <b>MGİ</b>     | : Meteoroloji Gözlem İstasyonu   |
| <b>MGM</b>     | : Meteoroloji Genel Müdürlüğü  |
| <b>NSE</b>     | : Nash-Sutcliffe Model Etkinlik Katsayısı  |
| <b>PBIAS</b>   | : Yüzde Yanlılık Sayısı (Percent Bias)   |
| <b>RMSE</b>    | : Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square Error)  |
| <b>SCS</b>     | : Toprak Muhafaza Servisi (Soil Conservation Service)  |
| <b>SYM</b>     | : Sayısal Yükseklik Modeli   |
| <b>WMS</b>     | : Havza Modelleme Sistemi (Watershed Modeling System)  |

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca sadece akademik olarak değil hayat konusunda da engin bilgileri ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa Tamer AYVAZ'a çalışma süresince gösterdiği hoşgörü ve sabır için çok teşekkür ederim. Tezimin bir parçası olduğu TÜBİTAK projesinin yürütücüsü Dr. Öğr. Üyesi Ulaş TEZEL'e sağladığı finansal ve teknik destekten, Prof. Dr. Elçin KENTEL ile Dr. Öğr. Üyesi Recep Kaya GÖKTAŞ'a teorik ve pratik alandaki yönlendirmelerinden, İpek TEZYAPAR ve Buket MESTA'ya da çalışmama sağladıkları katkılardan dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım süresince olduğu gibi tez çalışmam boyunca da teknik açıdan desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Abdullah Cem KOÇ'a ve Prof. Dr. Ülker Güner BACANLI'ya da ayrıca teşekkür ediyorum.

Varlığımı hayatım boyunca hissettiğim, her düştüğümde ayağa kaldıran ve bir daha denemem için beni cesaretlendiren sevgili annem Prof. Dr. Nihal YAYLA'ya, motivasyonumun sürekli yüksek kalması için çabalayan babam Prof. Dr. Hulusi KARGI'ya ve hayatıma hep neşe katan arkadaşım, sırdaşım, ablam Zeynep Gülşah KOCAMAN'a teşekkür ediyorum, hayatım boyunca vermiş oldukları destekler ve çalışmam boyunca da göstermiş oldukları sabır ve tolerans için minnetlerimi sunuyorum.

Ayrıca yüksek lisans çalışma odasında çok kıymetli anlar paylaştığım sevgili oda arkadaşlarıma ve her zaman yanımda olduğunu hissettiren çocukluk arkadaşım Gülcan PARLATAN'a da çok teşekkür ediyorum.

Ve bir ömrü paylaşacağım, bugüne kadar olduğu gibi bundan sonra da desteğini hep hissedeceğim nişanlım Birand DURGUT'a çalışmam süresince gösterdiği hoşgörü ve fedakarlıktan dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

# 1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışıyla birlikte su talebinin artması, bu talebi karşılayacak kaynakların azlığı, gelişen sanayi ve tarımsal faaliyetler nedeniyle aşırı kullanım ve kirliliğin artması gibi sorunlar su kaynakları yönetiminin önemini her geçen gün daha da artırmaktadır. Genel anlamda su kaynakları yönetimi, canlı yaşamını negatif yönde etkileyen su kaynaklı sorunlara karşı çözüm aramak ve doğal hayatın devamı için alternatif olmayan kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılmasını esas almaktadır.

Su kaynakları yönetiminin öneminin anlaşılmasıyla birlikte, Avrupa Birliği (AB) ve Avrupa parlamentosu tarafından 23 Ekim 2000 tarihinde 2000/60/EC sayılı Su Çerçeve Direktifi yayınlanmıştır. Yüzey ve yeraltı sularının korunmasına yönelik hazırlanan yönergenin amacı genel olarak, su ekosistemi ve su ekosistemine bağlı olan kara ekosistemi ve sulak alanların bozulmasını önlemek ve korumak, mevcut su kaynaklarının uzun süreli korunmasına dayanan sürdürülebilir su kullanımını teşvik etmek, su ekosistemini tehlikeli maddelerden arındırmak, yeraltı suyu kirliliğini kademeli olarak azaltmak ve daha fazla kirlenmesini önlemek ve taşkın ve kuraklık etkilerinin azaltılmasına katkıda bulunmaktır.

Ülkemizde ise su kaynaklarının kullanılması ve korunması ile ilgili kanun, tüzük ve yönetmelikler bulunmaktadır. Yeraltı suları ile ilgili 16 Aralık 1960 tarihli 167 sayılı “Yeraltı Suları Hakkında Kanun” ve 167 sayılı kanunun 20. maddesi gereğince 8 Ağustos 1961 tarihli 10875 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan “Yeraltı Suları Tüzüğü” bulunmaktadır. Ayrıca yeraltı ve yerüstü suları ile ilgili 9 Ağustos 1983 tarihli ve 2872 sayılı “Çevre Kanunu” ve 31 Aralık 2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" ülkemizde su kaynaklarının korunmasıyla ilgili alınan önlemlerden bazılarıdır.

Ülkemiz, dünyanın yarı kurak bir bölgesinde yer almaktadır. Dünya üzerine düşen yağış ortalaması 800 mm civarında iken bu değer Türkiye’de yılda ortalama 643 mm’dir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisiyle, su kaynakları üzerinde oluşabilecek baskıları tahmin etmek

mümkündür. Bu sebeple, ülkemiz açısından su kaynakları planlama ve geliştirme çalışmaları büyük önem ve değer kazanarak devam etmek zorundadır (Akkaya ve diğ. 2011). Kalkınma Bakanlığı Özel İhtisas Komisyonu Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Raporu (2014)'nda, entegre havza yönetimi kapsamında suyun en verimli şekilde yönetilmesi ve kullanılması amacıyla Türkiye'de yer alan 25 nehir havzası için (Şekil 1.1) Havza Koruma Eylem Planları (HKEP)'nin hazırlandığından ve bu sayede su kaynakları yönetiminin havza bazında sağlanacağından bahsedilmiştir.



**Şekil 1.1:** Türkiye'de bulunan 25 nehir havzası (T.C. Kalkınma Bakanlığı Özel İhtisas Komisyonu, 2014)

Eylem planları, havzadaki yüzeysel ve yeraltı sularının miktarları, özellikleri ve kirlilik durumu ile havzadaki kentsel, endüstriyel, tarımsal, ekonomik vb. faaliyetlere bağlı olarak oluşan baskı ve etkilerinin tespit edilmesi çerçevesinde Meriç-Ergene, Van, Akarçay, Gediz ve Sakarya Havzalarında münferit olarak, Kızılırmak, Büyük Menderes, Yeşilirmak, Susurluk, Marmara, Konya, Küçük Menderes, Seyhan, Burdur, Ceyhan ve Kuzey Ege olmak üzere 11 havza için hazırlanmıştır. Ayrıca Orta Akdeniz, Doğu Akdeniz, Batı Karadeniz, Fırat-Dicle, Doğu Karadeniz, Asi, Batı Akdeniz, Çoruh ve Aras Havza Koruma Eylem Planlarının yapılması, münferit olarak tamamlanan Meriç-Ergene, Van, Akarçay, Gediz ve Sakarya HKEP'lerinin güncellenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'ne işlenmesi çalışmalarını kapsayan bir proje başlatılmıştır.

Yukarıda bahsedilen HKEP'ler kapsamında çevresel etkilere maruz kalan ve risk altında bulunan havzaların en önemlilerinden biri Ergene Havzası'dır. Münferit

olarak hazırlanan HKEP çerçevesinde Ergene Havzası'nın su kaynaklarının, arıtılmadan deşarj edilen evsel atık sular, düzensiz depolama sahalarından kaynaklanan sızıntı suları, tekstil, gıda ve kimya endüstrilerinden kaynaklanan atık sular ve tarım ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan kirlilik tarafından baskı altında olduğu belirtilmiştir. Hazırlanan HKEP'nin hedefi, havza su kütlelerinin AB Su Çerçeve Direktifi'ne uygun hale getirilecek şekilde iyileştirilmesi ve bu kaynakların sürdürülebilir şekilde muhafaza edilmesidir.

2011'de "Temiz bir Ergene" hedefiyle başlatılan ve 2040'a kadar sürmesi öngörülen HKEP'te, 2011'e kadar arıtımı olmayan belediyelere atık su arıtma tesisleri yapılması, endüstriyel atık su arıtma tesislerinin birleştirilip daha verimli şekilde çalıştırılması, deşarj edilen suyun ve nehir suyunun kalitelerinin sürekli olarak izlenmesi gibi hususlar karara bağlanmış ve gerekli çalışmalara başlanmıştır.

Bu çalışmada ise HKEP'i münferit olarak hazırlanan, hızlı nüfus artışı ve sanayileşmenin etkisiyle su kaynaklarında negatif yönde önemli değişimler olan Meriç-Ergene Havzası'nın Ergene Nehri'ne ait su toplama havzası ölçeğinde çalışılmıştır.

Ergene Havzası geneline bakıldığında tarımsal faaliyetlerin oldukça yoğun olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca, İstanbul'a yakın olması sebebiyle bölge sanayisinin de önemli ölçüde geliştiği görülmektedir. Hem tarım hem de sanayi faaliyetleri sonucunda Ergene Havzası'nın su kaynaklarında nitelik ve nicelik bakımından önemli bozulmalar olmuştur. Yüzeysel ve yeraltı suyu kaynaklarının oldukça azalması ve sanayi faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atık suyun bu kaynaklar üzerindeki olumsuz etkileri dikkate alındığında havza su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin tehlike altında olduğu görülmektedir.

## **1.1 Amaç ve Kapsam**

Ergene Havzası, ulaşım bağlantıları, yerleşime uygun düz eğimli alanları, endüstriyel ve enerji hammadde kaynakları, yeraltı ve yüzeysel su kaynakları ile sanayi yatırımları açısından önemli potansiyele sahip bir havzadır. En önemli yerüstü su kaynağı Ergene Nehri ve yan kollarıdır.



Ergene Havzası içinde 2011 yılına kadar Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ve Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından, 2011 yılından sonra ise tamamı DSİ tarafından işletilen akım gözlem istasyonlarına ait akım değerlerine göre; özellikle Çorlu Deresi'nde 1991 yılı öncesi yağışlı sezonda akım piki olduğu, yağışın azalması ile akım değerinin sıfıra yaklaştığı ya da sıfır olduğu belirlenmiştir. 1991 yılından itibaren ise yağışın olmadığı yaz aylarında akım değerlerinin sıfıra yaklaşmadığı ve nehirde sürekli bir akımın olduğu gözlenmiştir (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008a). Bu durum hidrolojik çevrim dışında yapay bir su katkısının varlığı ile açıklanmaktadır. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı (2008a,b) raporlarında bu su katkısının; sanayi tesislerinin kullandıkları yeraltı suyu ya da şebeke sularını Ergene Nehri'ne deşarj etmeleri ve hızlı nüfus artışına bağlı olarak Ergene Nehri'ne deşarj edilen evsel atık su miktarının artmasından kaynaklandığı belirtilmektedir.

Ergene Nehri, Türkiye'nin en kirli akarsuyu olma özelliği taşımaktadır (Yılmaz, 2017). Doğduğu bölge itibari ile oldukça endüstrileşmiş olan Ergene Nehri'nde su kalitesi bakımından ciddi bozulmalar meydana gelmiştir. Özellikle en yoğun faaliyet gösteren tekstil fabrikalarından kaynaklanan, üretilen atık suyun düşük verimle arıtılması ya da hiç arıtılmadan nehre deşarj edilmesi sonucu bölge halkı ve bölgedeki tarım faaliyetleri olumsuz yönde etkilenmektedir.

Meriç-Ergene Havzası için hazırlanan HKEP çerçevesinde Ergene Nehri'nin temizlenmesine yönelik çalışmalar başlamıştır. Ancak TÜBİTAK 115Y064 nolu proje kapsamında yapılan değerlendirmeler sonucu HKEP'te öngörülen "Su kalitesinin izlenmesi" faaliyetlerinin yetersiz olduğu düşünülmektedir. Bu faaliyetler kapsamında eksik görülen hususlar şöyledir:

1. Havzada yapılmış/yapılmakta olan "öncelikli" ve "potansiyel öncelikli" kirleticilerin ölçümü, kirliliğin boyutu ve kaynağı konusunda detaylı bilgi edinmek için yeterli değildir,
2. Yapılan iyileştirmelerin her birinin havzanın su kalitesine ne kadar etkide bulunduğu mevcut plan kapsamında tespit edilemeyecektir,
3. Nehirde hedeflenen su kalitesi değerlerine ulaşamadığı takdirde sorunun kaynağını belirleyecek sistematik bir çözüm yaklaşımı bulunmamaktadır.

Bu eksiklikler çerçevesinde AB Su Çerçeve Direktifi doğrultusunda hazırlanmış olan Ergene Havzası HKEP'nin uygulamasının izlenmesi ve yeni ortaya çıkan bilgi, veri ve gelişmeler karşısında sürekli güncel tutulabilmesi için bir karar destek sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 115Y064 nolu "Ergene Havzası Su Kalitesi Yönetimi İçin Kirletici Parmak İzine Bağlı Coğrafi Bilgi Sistemi Bazlı Karar Destek Sistemleri Geliştirilmesi" başlıklı proje kapsamında Ergene Nehri'ndeki kirlilik sadece makrokirleticiler düzeyinde değil mikrokirleticiler ölçeğinde incelenmiştir. Saptanan kirleticiler, kaynakları ile eşleştirilmiş ve bu kirleticiler kullanılarak Havza'da faaliyet gösteren hangi kirletici kaynağının Ergene Nehri'ni nasıl etkilediğini tahmin edebilen FEnCY karar-destek sistemi geliştirilmiştir.

Ergene Havzası ölçeğinde yapılan 115Y064 nolu proje çerçevesinde havzanın hidrolojik durumu tespit edilmiş ve kirletici taşınım modeli kurulmuştur. Hidrolojik/hidrolik sistem bileşenlerini zaman ve konumun bir fonksiyonu olarak değerlendiren ve su kaynağının miktar kadar kalite açısından da korunmasını sağlayan sürdürülebilir verim değerinin belirlenmesi sırasında çeşitli matematiksel benzeşim modelleri gibi nümerik değerlendirmeler kullanılmaktadır (Meriç, 2004).

Bu çalışma kapsamında ise TÜBİTAK 115Y064 nolu projenin işlem adımlarından biri olan Ergene Havzası'nın hidrolojik modelinin ve kirletici taşınım modeline katkı sağlayacak olan hidrolik modelinin matematiksel tabanlı benzeşim modelleri ile kurulması amaçlanmıştır. Ergene Havzası'na ait karakteristik özellikler belirlenmiş, model kurulumunda ölçülmüş akım, yağış, sıcaklık ve nem verileri kullanılmıştır. Hidrolojik ve hidrolik modelleme süreçleri, Amerikan Ordu Mühendisleri tarafından geliştirilen Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) ve Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS) yazılımları kullanılarak yapılmış, kurulan modeller ölçüm verileri ve saha çalışması sonucu toplanan veriler ile kalibre edilmiştir.

## 1.2 Literatür Taraması

Hidrolojik ve hidrolik modelleme çalışmaları, modellerin kullanım alanları ve amaçları açısından çeşitlilik arz etmektedir. Literatürde farklı bölgeler için farklı teknikler kullanılarak yapılan hidrolojik ve hidrolik modeller ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır.

Hidrolojik döngü içerisinde sızma faktörünün önemli bir yer kapladığı, Horton (1933) tarafından yapılan çalışmada ortaya atılmıştır. Daha sonraları hidrolojik olaylar içerisinde sızma sürecinin anlaşılabilmesi ve hidrolojik döngünün temsil edilebilmesi için hidrolojik modellerin gerekliliği anlaşılmış, 20. yüzyılın ikinci yarısının başlarında hidrolojik modellere yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Hidrolojik döngünün modellenmesi ve bu sürecin atmosfer üzerindeki etkisi Manabe ve diğ. (1965) tarafından yapılan çalışma ile ortaya konulmuştur. Hidrolojik modellere ait çözüm yaklaşımları ise detaylı olarak Dawdy ve Lichty (1968) tarafından yapılan çalışma ile açıklanmıştır. Hidrolojik döngünün tarih boyunca insanlarda merak uyandırması, farklı modellerin ve bu modellere ilişkin yazılımların geliştirilmesini sağlamıştır. Genel olarak farklı süreçlerin süreklilik denklemi kapsamında çözümüne dayanan bu modeller, günümüzde de halen yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tarihte, yerleşik hayata geçilmesinden bu yana, insanların ihtiyaçlarını karşılamak için hidrolik yapılara gereksinim duyulmuştur. Ancak hidrolik modellerin ortaya çıkışı 17'nci yüz yıla dayanmaktadır. 18. ve 19. yüzyılda Avrupa'da hidroliğin anlaşılması ve fiziksel yasalara dayandırılması konusunda hızlı gelişmeler yaşanmıştır. Bu dönemde akışın gözlemlenmesine dayanan ampirik yaklaşımlar da ortaya atılmıştır (Swart, 2009). Hidrolik modellere olan ihtiyaç zaman içerisinde artmış ve özellikle hidrolik yapıların tasarımı aşamasında bu modellerin kullanılması bir gereklilik haline gelmiştir. Genel olarak süreklilik ve hareket denklemlerinin birlikte çözümüne dayanan hidrolik modellerin geliştirilmesi ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Bu modeller Yalın (1971) tarafından detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. İlgili çalışmada, su kaynakları mühendisliği kapsamında ele alınan pek çok önemli probleme ait hidrolik modeller hakkında (Reynolds modeli,

sızma mekanizması, nehir, açık kanal ve dalga modelleri, sediment taşınımı, vb.) bilgi verilmiştir.

Hidrolojik ve hidrolik modellerin yaygın olarak kullanılmaya başlaması, teknolojinin gelişmesiyle birlikte, hidrolojik/hidrolik olayların bilgisayar yazılımları ile temsil edilmesinin de önünü açmıştır. Hidrolojik ve hidrolik modeller ve bu modeller için geliştirilmiş yazılımlardan bazıları ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiş olup ilgili modellere ait literatürde bulunan çalışmalara da değinilmiştir.

### **1.2.1 Hidrolojik Modelleme Çalışmaları**

Hidrolojik modeller havza üzerinde meydana gelen yağış-akış sürecinin matematiksel benzeşiminin yapılması amacıyla kullanılmaktadır. Genel olarak süreklilik denkleminin analitik ve sayısal çözüm teknikleri kullanılarak çözümüne dayanan bu modeller ile çözüm işleminin yapılabilmesi için modellenen süreç ile ilgili bazı parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin modellenen saha için belirlenmesi ile ilgili sürecin benzeşimi bilgisayar ortamında yapılabilmektedir.

Hidrolojik sistemlerin ve nehir içindeki akışın görselleştirilmesi, sayısallaştırılması, birden fazla coğrafi katmanın kullanılabilmesi ve karşılaştırılabilmesi açısından iyi bir araç olan CBS, Tomlinson tarafından 1968 yılında bölgesel planlama için ilk defa kullanılmasıyla birlikte hidrolojik modellerde de yerini almıştır. Parametrelerin ve yağışların değerlendirildiği hidrolojik süreç içerisinde CBS teknikleri, hidrolojik çalışmaların önemli bir parçası olmuştur (Vieux, 2001). CBS'nin hidrolojik modeller için kullanılmaya başlaması, bu konuda yapılan çalışmaların literatürde de yerini almasını sağlamıştır. Sui ve Maggio (1999) tarafından yapılan çalışmada CBS kullanılarak oluşturulan hidrolojik modellerin uygulamaları incelenmiş ve bu konu hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Daha sonraları Özdemir (2007) tarafından yapılan çalışmada Balıkesir ilinde bulunan Havran Çayı Havzası'nın yağış-akış modeli Soil Conservation Service – Curve Number (SCS-CN) metodu ile CBS ve uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak oluşturulmuştur. Akım gözlem istasyonu bulunmayan akarsularda, kurulan hidrolojik model yardımıyla akımın tahmin edilmesine olanak sağlanmıştır. Akım tahmini ile

ilgili bir diğerk çalışma ise Karayusufođlu (2010) tarafından yapılmıştır. Çalışmada uzaktan algılama ve CBS ile Solaklı Havzası'nın içinde bulunduğu Sayısal Yůkseklik Modeli (SYM) oluşturulmuş ve havzanın fiziksel parametreleri belirlenmiştir. Yağış ölçümü olmayan herhangi bir noktanın yağış değerine ulaşmayı sağlayan eř yağış haritaları çizilmiş, noktasal yağış verisinden alansal yağış verisine geçilerek hidrometeorolojik parametreler tahmin edilmiştir. Bůylece su toplama alanı içerisinde rastgele seçilen bir noktanın akım değerleri elde edilebilmiştir.

Gůnůmůzde hidrolojik modellerin uygulanabilmesi amacıyla geliřtirilmiř pek çok modelleme ara yůzů bulunmaktadır. Bu kapsamda literatůrde yaygın olarak kullanılan yazılımlardan biri Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modelidir. SWAT'ın temelleri Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems (CREAMS) (Knisel, 1980), Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems (GLEAMS) (Leonard ve diđ., 1987) ve Erosion Productivity Impact Calculator (Williams, 1990) olarak bilinen ve daha sonraları Environmental Impact Policy Climate (EPIC) (Izaurrealde ve diđ., 2006) halini alan modellerin birleřmesiyle geliřtirilen Simulator for Water Resources in Rural Basins (SWRRB) (Arnold ve Williams, 1987) ile atılmıřtır. Daha sonraları SWRRB modeline, Routing Outputs to Outlet (ROTO) (Arnold ve diđ., 1995) ve The Stream Water Quality Model (QUAL2E) (Brown ve Barnwell, 1987) modelleri entegre edilmiř ve gůnůmůzde kullanılan SWAT halini almıřtır. SWAT, yůzey ve yeraltı sularının kalitesini ve miktarını simůle etmek ve arazi kullanımının, arazi yůnetimi uygulamalarının ve iklim deđiřikliđinin çevresel etkilerini tahmin etmek için geliřtirilmiř, toprak erozyonu ۆnleme ve kontrolů, nokta kaynaklı olmayan kirlilik kontrolů ve havzalardaki bۆlgesel yۆnetimin deđerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Model geliřtirme, sınırlar, varsayımlar ve model bileřenleri ile ilgili Arnold ve diđ. (1998) tarafından yapılan çalıřmada SWAT hakkında bilgi verilmiřtir. Santos ve diđ. (2019) ise iki bۆlgesel iklim modeline ait projeksiyonları kullanarak SWAT modeli ile Brezilya'da bulunan Paraguau Nehri'ne ait su toplama havzasının 2020-2040 yılları için hidrolojik durumunu modellemiřlerdir. Model kapsamında kullanılan parametrelerin deđerlerini, ilgili iklim modelinin verilerini kullanarak belirlemiřlerdir.

Literatürde yine yaygın olarak kullanılan The Water Evaluation and Planning System (WEAP) modeli, 1988 yılında Paul Raskin tarafından mevcut su talebi ve tedarik modellerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve alternatif uzun vadeli senaryoları araştırmak için esnek, entegre ve şeffaf bir planlama aracı olması amacıyla tasarlanmış, Stockholm Çevre Enstitüsü (SEI)'nün desteğiyle geliştirilmeye devam etmiştir. WEAP modelinin ilk uygulaması 1989 yılında SEI sponsorluğunda Aral Denizi'nde yapılmıştır (URL-1). Daha sonraları Raskin ve diğ. (1992), Aral Denizi bölgesindeki su dengelerini simüle etmek ve su yönetimi stratejilerini değerlendirmek için WEAP modeli kullanmışlardır. Léville ve diğ. (2002) ise Güney Afrika'da bulunan Olifant nehri havzasının su temini sorunlarını WEAP modeli ile ele almışlardır. Sulanan alanlar ve iklim değişikliği ile ilgili Rycroft ve Wegerich, (2009)'in kuzey Afganistan'da bulunan Amu Darya havzasında yaptıkları çalışmada ise WEAP modeli, mevcut su ihtiyacının ve iklim değişikliğinden kaynaklanan su ihtiyacının tahmin edilmesi için kullanılmıştır. Cüceloğlu (2013) tarafından yapılan çalışmada ise İstanbul'da bulunan Darlık Havzası'ndaki yağış-akış süreçlerini temsil etmek için, alt havzalar, akarsu kolları ve yeraltı suyu ortamını dikkate alınarak, WEAP modeli kullanılmıştır. Modelin kalibrasyon ve doğrulama işlemleri ise ölçülmüş yağış, sıcaklık, nem, rüzgâr ve bulutluluk parametrelerini kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Hidrolojik modelleme sürecinde kullanılan ve yağış-akış arasındaki ilişkiyi inceleyen, akım ölçüm bilgisinin hem bulunduğu hem de bulunmadığı havzalarda kullanılabilen Identification of Unit Hydrographs and Component Flows from Rainfall, Evaporation, Stream Flow Data (IHACRES, 1997) modeli ise Jakeman ve diğ. (1990) tarafından ortaya atılmış, Jakeman ve Hornberger (1993) tarafından kayıp modülü eklenmiştir (Schreider ve diğ. 2000). Croke ve Jakeman (2004) tarafından yapılan çalışmada ise IHACRES için, ölçüm verisi bulunmayan havzalarda ve gerçek evapotranspirasyonu hesaplamada kullanılabilecek 3 parametrelilik ve parametreler arası daha az korelasyon gerektiren yeni bir doğrusal olmayan kayıp modülü geliştirilmiştir. Cheng ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada, aynı bölgede akım ve yağış ölçüm verisi bulunan havzalar baz alınarak ölçüm verisi bulunmayan havzalardaki akım tahmin edilmiş, IHACRES ve yağış-akış modeli olan SCS-CN modeli karşılaştırılmıştır. Hope ve diğ. (2008), IHACRES'i Güney Kaliforniya'da küçük ve orta büyüklükteki havzaların günlük nehir akış tahminlerinde modeli

kalibre etmek için tek bir yağış ölçüm verisi yerine URD hücresele yağış verileri kullanılması durumunda daha iyi sonuçların elde edilebileceğini belirtmek amacıyla kullanmışlardır. Goodarzi ve diğ. (2019) ise iklimde meydana gelen değişiklikleri de dikkate alarak IHACRES ile yüzeysel akışı hesaplamışlardır. Günlük, aylık ve yıllık simülasyonlar sonucu günlük ve aylık modellerin kullanılabilirliğini ön sürmüşlerdir.

Farklı hidrolojik koşullarda bulunan ve farklı boyutlardaki havzalarda kullanılabilen, Makhlouf ve Michel (1994) tarafından ortaya atılan ve Mouelhi ve diğ. (2006) tarafından geliştirilen Global Rainfall-Runoff Model (GR2M) ampirik modeli ise Bayat (2011) tarafından yapılan çalışmada kullanılmıştır. İlgili çalışma kapsamında Büyük Menderes Havzası ve alt havzalarında iki farklı evapotranspirasyon hesaplama yöntemi ile iki farklı kalibrasyon kriteri kullanılarak toplam 12 farklı şekilde uygulama yapılmıştır. Böylece, Fransa, Amerika, Brezilya, Fildişi Sahilleri ve Çin'de uygulanan GR2M aylık yağış-akış modelinin Türkiye'de Büyük Menderes Havzası ve alt havzalarında uygulaması yapılmış ve aylık akışların tahmin edilebilir olduğu gösterilmiştir.

Literatürde yaygın olarak kullanılan hidrolojik modelleme ara yüzlerinden biri de ABD Ordu Mühendisleri (USACE) tarafından ilk olarak 1964 yılında geliştirilen HEC yazılımlarıdır. HEC'in ilk yazılımlarından biri Beard ve diğ. tarafından 1967 yılında geliştirilen HEC-1 modelidir. Bu model kullanılarak Onuşuel (1999) tarafından ölçülmüş yağış ve akım verileri ile bazı parametreler HEC-1'in içinde bulunan optimizasyon tekniği ile tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda HEC-1 ile yapılan optimizasyonun iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. HEC-1 ile yapılan modelleme sürecine zaman içerisinde ilave modüllerin eklenmesi ile HEC-HMS modelleme ara yüzü geliştirilmiştir. Dendritik havza sistemlerinde gözlenen hidrolojik süreçlerin benzeşiminin yapılabilmesi amacıyla tasarlanan HEC-HMS, sızma, birim hidrograf analizi ve hidrolojik öteleme gibi yöntemlerin dışında evapotranspirasyon, kar erimesi ve toprak nemi hesabı gibi yöntemleri de içermesi sebebiyle en sık kullanılan hidrolojik modellerden biri olma özelliğini taşımaktadır. Literatürde HEC-HMS kullanılarak yapılmış çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalardan biri Emerson ve diğ. (2003) tarafından yapılmıştır. Çalışmada ABD'de bulunan Valley Creek Havzası'na ait su toplama alanlarının, oluşan pik debiler üzerinde herhangi bir etkisinin olup olmadığı HEC-HMS modeli kullanılarak

belirlenmiştir. Knebl ve diğ. (2005) tarafından San Antonio Nehri Havzası'nda yapılan çalışmada ise hidrolojik modelleme süreci HEC-HMS ile yürütülmüş ve yağış akış ilişkisini belirlemek için SCS – CN yöntemi kullanılmıştır. Sardoi ve diğ. (2012), HEC-HMS modeli bünyesinde bulunan Green & Ampt, Başlangıç ve Sabit ve SCS - CN yöntemlerini kullanarak İran'ın Tahran ilinde bulunan Amirkabir Barajı sahası için sızma hesaplarını yapmıştır. Roy ve diğ. (2013) ise Doğu Hindistan'da bulunan Subarnarekha Nehri Havzası için HEC-HMS modeli kullanarak bir yağış-akış modeli kurmuşlardır. Modelleme işlemi sonucunda HEC-HMS tabanlı benzeşim modelinin Subarnarekha Nehri Havzası'na benzer diğer havzalarda da uygulanabileceğine vurgu yapmışlardır. Sri Lanka'da bulunan Kelani Nehri Havzası'nda De Silva ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada HEC-HMS kullanılmış, olay bazlı ve sürekli hidrolojik modeller oluşturulmuştur. İlgili çalışmada HEC-HMS modelinin tropik bölgelerdeki orta boyutlu havzalarda afet zararlarının azaltılması, taşkın kontrolü ve su yönetimi için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Kikine (2017) ise Fırat Nehri'nin membaında bulunan Karasu Havzası'nda gözlenen akım sürecini HEC-HMS kullanarak ileriye yönelik tahmin etmeyi amaçlamıştır. Model parametrelerini belirlemek için hem olay bazlı hem de sürekli hidrolojik modelleme yaklaşımları kullanılmıştır. Bredesen ve Brown (2018) ise HEC-HMS modelini yağışın ölçüm istasyonu ve Next-Generation Radar (NEXRAD) verilerinden temin edilmesi durumları için kurmuş ve yarı tropik bir havzada her iki durum için modellerin performanslarını karşılaştırmışlardır.

Yukarıda verilen çalışmalardan görüleceği gibi HEC-HMS, yüzey ve yeraltı suyu hidrolojisi, hidrolojik süreçler, rezervuar analizi, gerçek zamanlı su yönetimi ve benzeri konularda kullanılabilen geniş kapsamlı bir modelleme ara yüzüdür. Bu nedenle bu çalışma kapsamında da hidrolojik modelleme aracı olarak HEC-HMS kullanılacaktır.



### 1.2.2 Hidrolik Modelleme Çalışmaları

Hidrolik modeller bir akışkana ait hareketin matematiksel benzeşiminin yapılması amacıyla kullanılmaktadır. Genel olarak süreklilik ve hareket denklemlerinin analitik ve sayısal yöntemler kullanılarak çözümüne dayanan hidrolik modeller açık kanal akımı, katı madde taşınımı, ve taşkın modellemesi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu kapsamda literatürde hidrolik modellere ait oldukça fazla uygulama bulunmaktadır.

Sakkas ve Strelkoff (1973) prizmatik bir kanalda baraj yıkılmasından kaynaklanan taşkın dalgasının hareketini matematiksel bir model kullanarak modellemişlerdir. Hicks (1996) ise Kanada'da bulunan Peace Nehri'ndeki taşkın sürecini St. Venant denklemlerine dayanan bir hidrolik öteleme modeli kullanarak modellemiştir. İlgili çalışma kapsamında model kalibrasyonu ölçülen ve hesaplanan su yükseklikleri arasındaki hata minimize edilecek şekilde Manning pürüzlülük ( $n$ ) değerleri değiştirilerek yapılmıştır. Özdemir ve diğ. (2011) ise Tekirdağ'da bulunan Çokal Barajı'nda gözlenecek olası bir çökmenin bir boyutlu hidrolik modelleme ile benzeşimini yapmışlar ve taşkın risk analizini gerçekleştirmişlerdir. Benjankar ve diğ. (2018) ise baraj haznelerinde iklim değişikliğinin neden olduğu etkileri hafifletmek amacıyla hidrolojik, hidrolik ve habitat modellerinin entegre çalıştığı bir modelleme yaklaşımı geliştirmişlerdir.

Taşkın, baraj yıkılması ve sızma süreçlerinin modellenmesi gibi problemlere ilave olarak köprü ayakları gibi hidrolik yapılarda meydana gelen oyulmalar da hidrolik modelleme teknikleri ve deney sonuçlarına göre üretilmiş ampirik modeller kullanılarak incelenebilmektedir. Bu kapsamda Oliveto ve Hager (2002) ile Coleman ve diğ. (2003) tarafından ampirik, Dey ve Barbhuiya (2005) tarafından ise yarı-ampirik bir model geliştirilmiştir. Köse ve Yanmaz (2010) tarafından yapılan çalışmada ise köprü ayakları etrafındaki oyulmanın zamanla değişimi ampirik ve yarı ampirik iki model ile incelenmiş, ayak temel derinliğinin oyulma eğilimine karşı güvenilirliği Monte Carlo analizi ile bulunmuştur.

Hidrolik modelleme yaklaşımları kullanılarak incelenen bir diğer problem de akarsulardaki katı madde taşınımıdır. Literatürde bu kapsamda yapılmış çalışmalar da bulunmaktadır. Engelund ve Fredsøe (1976) alüvyal kanallardaki katı madde

taşınım sürecini matematiksel olarak modellemişlerdir. Gibbs (1976) ise Amazon Nehri'nin Atlantik Okyanusu ile birleştiği bölgeyi ele alan bir katı madde taşınım modeli geliştirmiştir. Wilcock ve Crowe (2003), bir boyutlu akım ve taşınım durumu için küçük boyutlu sedimanların hareketliliğini ele alabilen matematiksel bir taşınım modeli kurmuşlardır. Chou ve diğ. (2018) ise gelgit akımlarının ve rüzgâr dalgalarının birleştiği bölgede askıdaki katı madde taşınımının modellenebilmesi için üç boyutlu bir model geliştirmiştir.

Doğal ve yapay akarsu kanallarındaki akım ve katı madde taşınım süreçlerinin modellenmesi amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan modellerden biri de HEC-RAS'tır. İlk olarak Brunner (1996) tarafından geliştirilen HEC-RAS, bir boyutlu kararlı akış, bir ve iki boyutlu kararsız akış ve katı madde taşınım hesaplarının yapılabildiği kullanıcı dostu bir ara yüze sahiptir. HEC-RAS'ın literatürde oldukça fazla uygulaması da bulunmaktadır. Bu uygulamalardan Hunt ve diğ. (1999) kapsamında bir köprünün memba ve mansap bölümü arasında kalan bölümde meydana gelen enerji kayıplarının mertebesi belirlenmiştir. Seçkin ve diğ. (2003) tarafından yapılan çalışmada ise HEC-RAS modeli kullanılarak bir köprünün etrafında meydana gelen su yüzü profilleri belirlenmiştir. Sui ve diğ. (2005)'nin çalışmasında yoğun bitki örtüsüne sahip akarsu kanallarındaki akış olayı HEC-RAS ile modellenmiş ve su seviyesi, akım hızı ve Froude sayısı gibi hidrolik parametrelerin farklı senaryolar için değeri belirlenmiştir. Gee ve Brunner (2005) ise HEC-RAS ile taşkın süreçlerinin modellenmesi yapmıştır. Prata ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada Brezilya'da bulunan Taquaraçu Nehri HEC-RAS ile modellenmiş ve farklı yinelenme sürelerine sahip debiler için akarsuyun ve kollarının davranışı incelenmiştir. Timbadiya ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada ise Hindistan'da bulunan Aşağı Tapi Nehrinde Manning ( $n$ ) pürüzlülük katsayısı saha ölçümleri ve taşkın debisi kullanılarak HEC-RAS aracılığıyla kalibre edilmiş ve su yüzü profilleri belirlenmiştir. Tahmasbinejad ve diğ. (2012) İran'da bulunan Izeh bölgesindeki Karun Nehri'ndeki kararsız akım sürecini HEC-RAS ile modellemişlerdir. Doğan ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada, Sakarya Nehri'nin 100 yıl yineleme süreli taşkın debisini taşıma kapasitesi araştırılmış ve yatak üzerinde bulunan barajların yıkılması durumunda gerçekleşebilecek muhtemel taşkın senaryoları ve risk analizleri HEC-RAS kullanarak belirlenmiştir. Wang ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise yukarıda verilenlerden farklı olarak

tohum çimlenmesi ve bitki oluşum süreçlerine ait bir benzeşim modeli geliştirilmiş ve HEC-RAS modeline entegre edilerek bütünleşik bir model oluşturulmuştur.

Yukarıdaki çalışmalardan görüleceği üzere HEC-RAS modeli kullanılarak pratikte karşılaşılabilecek pek çok problem hidrolik olarak modellenenmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında Ergene Havzası'nda meydana gelen yüzeysel akış süreçleri HEC-RAS kullanılarak modellenmiştir.

### **1.2.3 Ergene Havzası'nda Yapılmış Hidrolojik ve Hidrolik Modelleme Çalışmaları**

Ergene Havzası yoğun kirliliğe maruz kalması sebebiyle literatürde dikkat çeken bir havzadır. Bu sebeple gerek akademik gerekse yönetsel düzeyde pek çok çalışmaya konu olmuştur (Ordu-Sağlam, 2005). Bu çalışmalardan biri Cengiz (1996) tarafından yapılmıştır. Meriç-Ergene Havzası'nın hidrolojik durumunun incelendiği çalışmada yüzde alansal poligon, aritmetik ortalama, eşyağış çizgileri ve Thiessen poligonu olma üzere dört ayrı yöntemle su potansiyeli hesaplanmıştır. Ökten (2004) ise Ergene Havzası yeraltı suyu kaynaklarının geliştirilmesi ve işletilmesi konusunda yaptığı çalışmasında kumlu kompleks akiferin sayısal yeraltı suyu modelini oluşturmuş, akiferin farklı pompaj durumlarındaki tepkisini belirlemiş ve alternatif yeraltı suyu yönetim senaryoları geliştirmiştir. Kocaman ve diğ. (2007) tarafından Ergene Havzası'nda yapılan çalışmada, ölçülmüş veriler kullanılarak mevcut arazi kullanımı ve toprak işleme tekniklerinin sediment üzerine etkisi araştırılmıştır. Bağdatlı ve Albut (2012) tarafından yapılan çalışmada ise Tekirdağ merkez ilçe sınırları dahilinde Marmara Denizine kıyısı olan dere yatakları ve havzalarının karakteristikleri CBS tekniklerinin kullanımı ile belirlenmiş, oluşabilecek taşkın risk faktörleri ortaya koyularak örnek bir dere yatağı havza alanında pilot uygulama gerçekleştirilmiştir. Paçal (2017) çalışmasında Ergene Havzasının hidrolojik ve su kalite modelini SWAT aracılığı ile yapmıştır. Modelleme, havzanın üst kısımlarında endüstriyel yoğunlaşmanın olduğu bölgede yapılmış, iklim verileri, arazi kullanım haritası, toprak özellikleri ve kirletici noktasal kaynaklar kullanılarak oluşturulan SWAT modelinde su kalite parametreleri kalibre edilmiştir. Karataş (2019) ise Ergene Havzası üzerinde yaptığı çalışmasında yüzeysel akışa etki eden parametreler

üzerinden bir sayısal akış dağılışı haritasının oluşturulmasını hedeflemiştir. Akış dağılışı haritasının kalibre edilmesi temelinde bir model geliştirilmiştir. Elde edilen haritanın kalibrasyonu hem teorik hem de ampirik verilere göre piksel bazlı yapılmıştır. Şişman (2019) çalışmasında Diyarbakır istasyonu, Ankara istasyonu ve Ergene Havzası içinde bulunan Lüleburgaz istasyonuna ait yağış ve akış verileri ile kuraklık analizlerinin çözümüne yönelik kullanılabilir aynı zamanda sulak durumun değerlendirmesini yapan yeni bir matematik model yaklaşımı öne sürmüştür. Güçlü (2019) ise Ergene Nehri üzerinde yaptığı çalışmasında, iklim değişikliğinin baskısı altında anlık yüksek akımların eğilim ve sıklık analizini gerçekleştirmiştir. İklim değişikliğinin hidrolojik olaylar üzerindeki etkisinin büyük olduğundan bahsetmiş, bu değişimler dikkate alınmadan su ile yapılacak her türlü planlamanın, tasarımın ve havza ve su kaynakları yönetiminin hatalı olacağına vurgu yapmıştır.

### **1.3 Tezin Organizasyonu**

Bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1’de su kaynaklarında sürdürülebilir yönetiminden ve havza koruma eylem planı bulunan Meriç-Ergene havzasının Ergene Havzası ölçeğinde gerçekleştirilen 115Y064 nolu TÜBİTAK projesinden bahsedilmiştir. Bu tez çalışmasının projenin hangi aşamasında kullanıldığına değinilmiştir. Ayrıca Ergene Havzası ve su kaynakları hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 2’de Ergene Havzası kapsamından gerçekleştirilen hidrolojik ve hidrolik modellerden, modellemenin gerçekleştirildiği HEC-HMS ve HEC-RAS yazılımlarından ve kullandıkları yöntemlerden detaylı bir şekilde bahsedilmiştir.

Bölüm 3’te çalışma sahasının konumu, özellikleri ve nüfus yapısı ile ilgili bilgiler verilmiş, havza içerisinde bulunan akım gözlem istasyonları (AGİ) ve meteoroloji gözlem istasyonlarında (MGİ) ölçülen akım, yağış, sıcaklık ve nem verileri değerlendirilmiştir. Ayrıca modelleme periyodunun nasıl seçildiği detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Bölüm 4'te hidrolojik model kurulumundan ve modelde kullanılan sayısal yükseklik modelinden, arazi kullanım haritasından ve toprak grubu haritasından bahsedilmiş, Ergene Havzası'nın alt havzalara bölünmesi aşaması anlatılmıştır. Ayrıca HEC-RAS ile hidrolik model kurulumundan, Ekoton Mühendislik firması tarafından yapılan saha çalışmasından ve saha çalışması sonucu elde edilen verilerin hidrolik modelde kullanılabilmesi için yapılan işlemlere değinilmiştir.

Bölüm 5'te HEC-HMS ile kurulan hidrolojik model dahilinde yapılan kalibrasyon senaryoları ve model çıktıları detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Ayrıca saha çalışması sonucu elde edilen veriler kullanılarak HEC-RAS ile gerçekleştirilen Manning pürüzlülük katsayının kalibrasyonuna ilişkin bir boyutlu kararlı akım senaryolarından ve bir boyutlu kararsız akım simülasyonları çerçevesinde gerçekleştirilen senaryolardan bahsedilmiştir.

Bölüm 6'da ise çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar tartışılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1 Hidrolojik Modelleme

Model kavramı, karmaşık bir sistemin basitleştirilerek fiziksel, matematiksel veya mantıksal olarak ifade edilmesidir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2015). Sistemin küçük bir prototipinin yapılmasıyla başlayan fiziksel modeller, tasarım tekniklerinin ve teorisinin test edilmesi amacıyla inşaat mühendisliğinde ilk kullanılan tekniklerden biri olma özelliğini taşımaktadır. Bilimin ve teknolojinin ilerlemesiyle temel prensiplere ve deneysel çalışmalara dayanılarak sistem ve sistemin özellikleri matematiksel denklemlerle ölçülmeye başlanmış ve matematiksel modeller ortaya atılmıştır. Ancak diferansiyel formdaki matematiksel gösterimlerin her zaman analitik çözüme sahip olmaması karmaşık denklemlerin çözümünde sayısal yaklaşımlar kullanılmasını sağlamış ve mantıksal modelleme kavramı ortaya atılmıştır (Popescu, 2014).

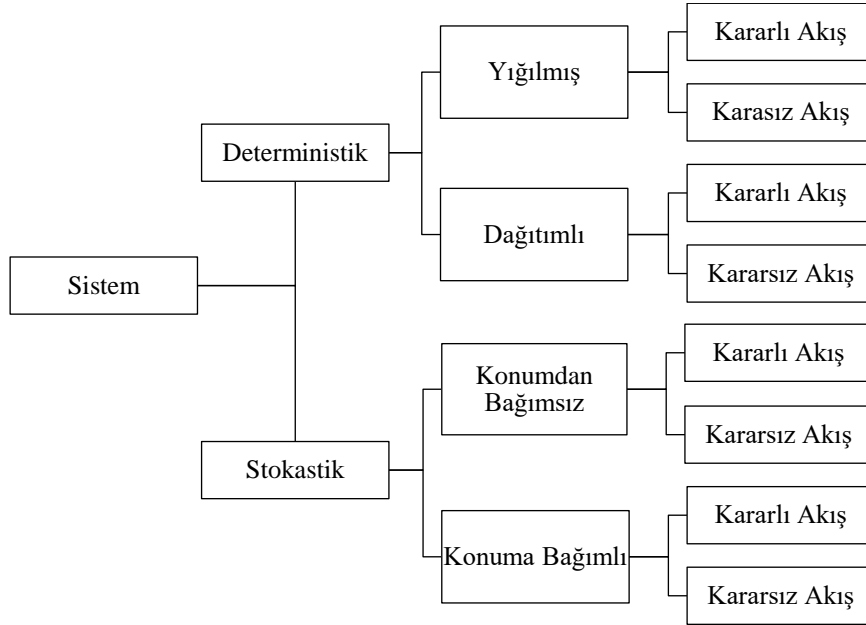
Hidrolojik olaylar, oldukça karışık ve hala tam olarak anlaşılammış olmasına rağmen sistem kavramı adı altında basitçe ifade edilebilmektedir (Chow ve diğ. 1988). Hidrolojik çevrim içerisindeki olayların anlaşılabilmesi ve sistem kavramı içinde incelenebilmesine yarayan hidrolojik modeller, günümüzde su kaynaklarının kullanılması ve geliştirilmesi, iklim değişiklikleri ve etkilerinin anlaşılması gibi birçok konuda kullanılmaktadır.

Hidrolojik model, doğadaki hidrolojik sistemin soyutlanmış bir benzeri olarak düşünülebilmektedir. Fizik yasalarını esas alarak kurulan matematik modellerin doğruluğu, model çıktıları ve ölçülen veriler karşılaştırılarak kontrol edilmektedir. Bu modeller mühendislik çalışmalarında gerekli olan hidrolojik büyüklüklerle ilgili bilgilerin elde edilmesini sağlamaktadır (Bayazıt, 1998).

Hidrolojik modeller, fiziksel ve kuramsal olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Fiziksel modeller gerçek sistemin ölçeğinin küçültülmesiyle ifade edilen modellerdir. Kuramsal modeller ise sistemin matematiksel ve mantıksal olarak

ifade edilmesidir. Genel olarak model, girdi ve çıktı değişkenleri arasında bağlantı bulunan eşitlikler ile tanımlanmaktadır. Bu değişkenler, zamanın ve konumun bir fonksiyonu olabildiği gibi rastgele ve olasılık dağılımları ile tanımlanabilen ve zaman ile konumda sabit bir değeri olmayan değişkenler olarak da tanımlanabilmektedir (Chow ve diğ. 1988).

Modelin kurulabilmesi için üç temel durumun araştırılması gerekmektedir. İlk olarak, model değişkenlerinin rastgele olup olmadığı araştırılmalıdır. İkinci olarak, değişkenlerin üniform değişip değişmediği belirlenmelidir. Son olarak ise değişkenlerin zamana bağlı olup olmadığına karar verilmelidir (Chow ve diğ. 1988). Bu üç temel duruma bağlı olarak Şekil 2.1’de hidrolojik modellerin sınıflandırılması verilmiştir.



**Şekil 2.1:** Hidrolojik modellerin sınıflandırılması (Chow ve diğ. (1988)’den uyarlanmıştır)

Deterministik yöntemlerde rastgele durum söz konusu değildir. Sistemde girdiler ve çıktılar aynıdır ve matematiksel fonksiyonlar kullanılmaktadır. Ancak stokastik yöntemlerde, tahmin işlemindeki belirsizlik ve hataları da ortaya koyabilecek şekilde hem matematiksel hem de istatistiksel fonksiyonlar dikkate alınarak işlem yapılmaktadır (Aydın ve Raja, 2016).

Deterministik yığılmış bir modelin sistemi, boyutsuz bir ortamda tek bir nokta olarak kabul etmesine karşın deterministik dağıtımlı model, konumda çeşitli noktalarda gerçekleşen hidrolojik süreçleri göz önünde bulundurmakta ve model değişkenleri konum boyutlarının bir fonksiyonu olarak tanımlamaktadır. Deterministik modeller zamanla değişimin ihmal edildiği kararlı akım ya da zamanla değişimin dikkate alındığı kararsız akım modelleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Stokastik modeller ise rastgele değişkenlerin birbirleri ile etkileşimine bağlı olarak konumdan bağımsız veya konuma bağımlı olarak sınıflandırılmaktadır. Zamana bağlı olmayan modeller (kararlı akım) birbirinden etkilenmeyen hidrolojik olay dizisini temsil ederken zamana bağlı modeller (kararsız akım), bir sonraki olayın mevcut olaydan etkilendiği bir olay dizisini temsil etmektedir (Chow ve diğ. 1988).

Hidrolojik süreçlerin matematiksel olarak modellenmesi ilgili diferansiyel denklem sistemlerinin verilen başlangıç ve sınır koşullarına bağlı olarak çözümünü gerektirdiğinden genel olarak zaman alıcı bir süreçtir. Ancak bilgi-işlem teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu modellerin kurulumu ve çalıştırılmasındaki güçlükler son derece azalmıştır. Günümüzde hidrolojik modelleme amacıyla geliştirilmiş pek çok yazılım bulunmaktadır (bkz. Bölüm 1.2.1). Bu yazılımların en yaygın olanlarından biri Amerikan Ordu Mühendisleri Birliği tarafından 1992 yılında geliştirilen Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) yazılımıdır. Bu çalışma kapsamında da hidrolojik modelleme işlemi HEC-HMS ile yapılmıştır. HEC-HMS'nin hidrolojik model bileşenleri hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

### **2.1.1 HEC-HMS**

HEC-HMS (**H**ydrologic **E**ngineering Center – **H**ydrologic **M**odeling **S**ystem) havza, kanal ve su kontrol yapılarında meydana gelen akım süreçlerinin benzeşiminin yapılabildiği nümerik bir modeldir. Model bileşenleri olan yağışın havzaya dağıtılması, kayıpların belirlenmesi, doğrudan akışın belirlenmesi, öteleme, taban akışının belirlenmesi, evapotranspirasyon hesapları ve kalibrasyon gibi işlemler HEC-HMS yazılımı kullanılarak yapılabilmektedir. Bu çalışmada hidrolojik



model kurulumu HEC-HMS v4.1 kullanılarak yapılmış ve bu model kapsamında kullanılan yöntemler aşağıda detaylarıyla birlikte verilmiştir.

### 2.1.1.1 Yağışın Havzaya Dağılımı

HEC-HMS içerisinde, gözlenen yağışın havzadaki dağılımını belirleyebilmek için yağış frekansı, alansal ortalama yağış, HMR 52 yağışı, ters mesafe ağırlık yöntemi, SCS yağışı, kullanıcı tanımlı hiyetograf ve standart proje yağışı olmak üzere sekiz farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin tümünde yağışın havzaya üniform dağıldığı kabul edilmektedir.

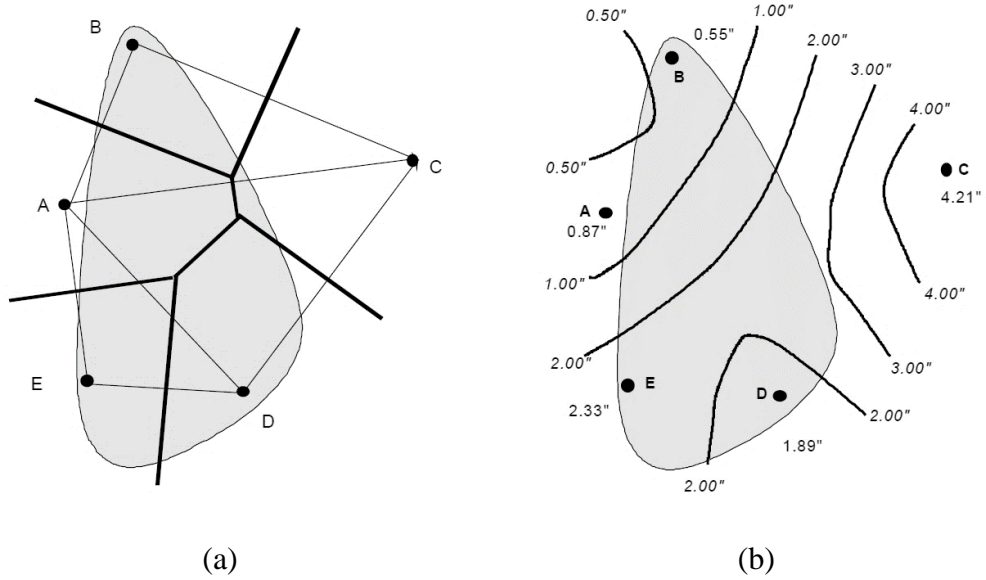
Yağış frekansı yöntemi, yağış verilerinden sentetik yağış verileri türetilerek modelleme yapılması amacıyla geliştirilmiştir. Bu yöntem, yağış anında çeşitli sürelerdeki (örn. 5 dk, 15 dk, 1 sa, vb.) yağış derinliğinin belirli bir aşılma olasılığına sahip olup olmadığının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (USACE, 2000).

Bir havza içerisinde alansal ortalama yağış derinliği ise Denklem (2.1)'de verildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$P_{OAY} = \frac{\sum_i (w_i \sum_t p_i(t))}{\sum_i w_i} \quad (2.1)$$

Burada  $P_{OAY}$  , havzadaki ortalama alansal yağışı;  $p_i(t)$  ,  $t$  anında  $i$  istasyonunda ölçülen yağış yüksekliğini;  $w_i$  ise istasyon ağırlık faktörünü temsil etmektedir. Alansal ortalama yağışın hesaplanmasında aritmetik ortalama, Thiessen çokgenleri ve eşyağış çizgileri olmak üzere üç yöntem bulunmaktadır. Aritmetik ortalama yöntemi, alansal ortalama yağışı belirlemek için kullanılan en basit yöntem olup istasyonların havzaya eşit olarak dağıldığı ve ölçüm verilerinin ortalamaya göre çok değişken olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. İstasyonların havzaya eşit dağılmadığı durumlarda ise istasyonların göreceli olarak ağırlıklarının hesaplandığı Thiessen çokgenleri yöntemi kullanılmaktadır. İlgili yöntem kapsamında herhangi bir noktadaki yağışın en yakın istasyonla aynı olduğunu varsayılmakta, böylece belirli bir istasyonda kaydedilen yağışın, herhangi bir yönde bir sonraki istasyonla arasındaki mesafenin yarısına kadar uygulandığı kabul edilmektedir (Chow ve diğ.

1988). Thiessen çokgenleri yönteminde istasyonlar, noktasal olarak temsil edilmekte ve her bir istasyon, yakınındaki istasyon ile çizgiler sayesinde birleştirilmektedir. İstasyonları birleştiren çizgilerin orta noktalarıyla  $90^\circ$  açı oluşturacak şekilde çizgiler çizilerek Thiessen poligonları oluşturulmaktadır. Oluşan poligonların (Şekil 2.2 (a)) havzadaki yüzdeleri istasyonların ağırlık faktörü olarak kabul edilmektedir. Eşyağış çizgileri yönteminde ise noktasal ölçüm verileri yardımı ile eşit yağış derinliğine sahip kontur çizgileri çizilmektedir (Şekil 2.2 (b)). Ortalama alansal yağış faktörü, her bir kontur çifti arasındaki ortalama yağış derinliği ve kontur çifti tarafından çevrelenen alan ile belirlenmektedir.



**Şekil 2.2:** Alansal ortalama yağış (a) Thiessen poligonu (b) Eşyağış çizgisi (USACE, 2000)

HEC-HMS bünyesindeki yağışın havzaya dağılımının hesaplanmasında kullanılan bir diğer yöntem hücresel yağış yöntemidir. Yağışın akışa dönüştürülmesi aşamasında kullanılan yaklaşımlardan biri olan Mod Clark hücresel dönüşüm yöntemi kapsamında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ancak yukarıda belirtilen diğer alan-ortalama dönüşüm yöntemleri ile de kullanılabilir. Hücresel yağış yöntemi genellikle radar tabanlı yağış tahminleriyle birlikte kullanılmaktadır (USACE, 2000).

HMR 52 yağışı (Hansen ve diğ., 1982), Hidrometeorolojik Rapor No 52'de ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi bir havza için olası maksimum yağış miktarını

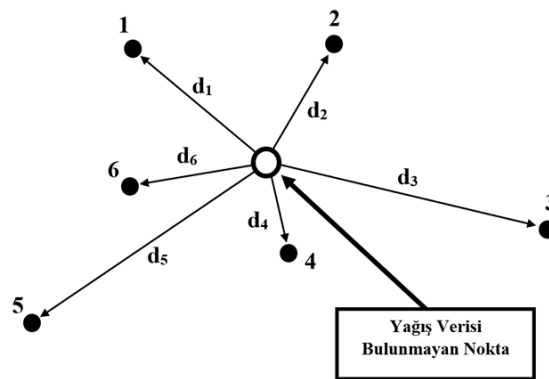
hesaplamak için kullanılabilen bir yaklaşımdır. HMR 52 yağışı, aynı yağış yüksekliğine sahip bölgelerin birleştirilmesiyle elde edilen elips biçimindeki eş yağış çizgilerini kullanmaktadır. Yağışın havzaya dağılımının belirlenmesi için elips ekseninin açısının ve merkezinin tanımlanması gerekmektedir. Havza üzerindeki toplam yağış yüksekliği belirli bir yağış alanı ve alan-süre-yağış eğrileri kullanılarak hesaplanmaktadır (USACE, 2000).

Ters mesafe ağırlık yönteminde, havza üzerindeki ortalama yağış, ters mesafelerin karesi yöntemiyle hesaplanan ağırlık katsayısı ile elde edilmektedir. Ters mesafelerin kareleri yönteminde ilk olarak yağış derinliğinin bilinmediğı nokta ile o noktanın çevresinde bulunan istasyonlar arasındaki yatay uzaklıklar belirlenmektedir (Şekil 2.3). Bu uzaklıklara bağılı olarak her istasyonun ağırlık katsayısı Denklem (2.2)'de verildiğı gibi hesaplanmaktadır. Ağırlık katsayılarının hesaplanmasının ardından her istasyonun yağış verisi, Denklem (2.3)'te verildiğı gibi ağırlık katsayıları ile düzenlenip verisi bulunmayan noktadaki yağış derinlikleri hesaplanmaktadır.

$$w_i = \frac{1}{d_i^2} \sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^2} \quad (2.2)$$

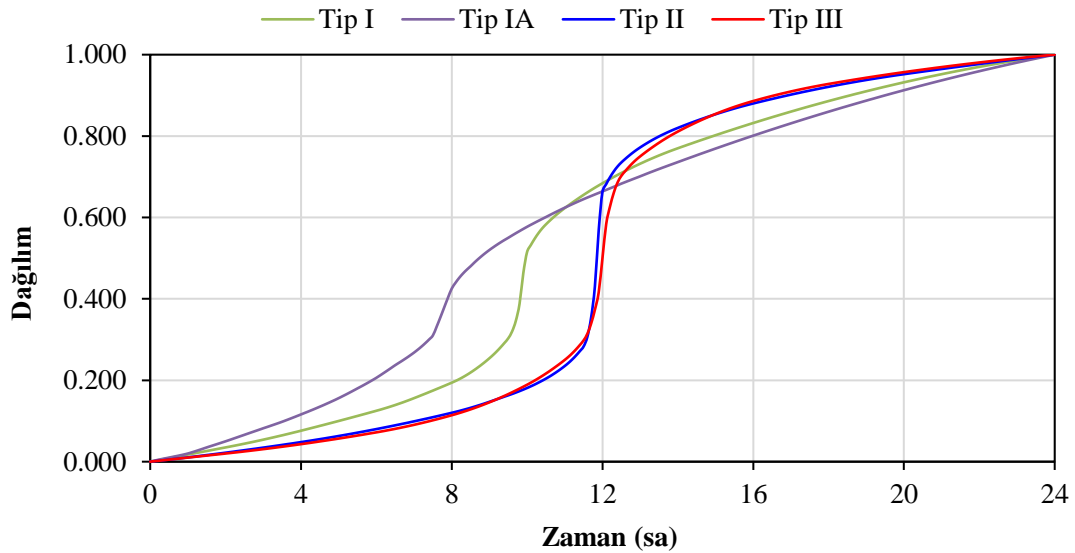
$$p_{\text{nokta}}(t) = \sum_{i=1}^N w_i p_i(t) \quad (2.3)$$

Burada;  $w_i$ ,  $i$ . istasyondaki ağırlık katsayısını;  $p_i(t)$ ,  $i$ . istasyondaki yağış yüksekliğini;  $d_i$ ,  $i$ . istasyon ile verisi bulunmayan nokta arasındaki yatay mesafeyi;  $p_{\text{nokta}}(t)$ , verisi bulunmayan noktadaki yağış yüksekliğini,  $N$  ise istasyon sayısını temsil etmektedir.



Şekil 2.3: Ters mesafelerin kareleri yöntemi

Küçük havzalardaki yüksek debiler genellikle yoğun ve kısa süreli yağışlardan kaynaklanmaktadır. Bu yoğun ve kısa süreli yağışların bölgesel olması, havza genelinde değerlendirilememesine ve yağış-akış analizinin yapılamamasına neden olmaktadır. Bu sebeple yağış-akış analizleri için sentetik yağış dağılımları geliştirilmiştir. Bu sentetik yağış dağılımlarından en yaygın kullanılanı Amerikan Zemin Koruma Servisi (SCS) tarafından geliştirilen ve 24 saatlik bir dağılıma sahip olan SCS yağışıdır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) için yapılan çalışmalar sonucu SCS yağışı Tip I, Tip IA, Tip II ve Tip III olmak üzere dört farklı kategoriye ayrılmaktadır. Yağışlı kışları ve kurak yazları ile Pasifik deniz iklimi Tip I ve IA, Meksika körfezindeki ve Atlantik kıyı bölgelerindeki tropikal yağışlar Tip III, ülkenin geri kalan kısmı ise Tip II ile temsil edilmektedir (Cronshey, 1986). 24 saatlik zaman dilimi için yukarıda belirtilen dört tip dağılım şekli Şekil 2.4'te verilmiştir.



**Şekil 2.4:** 24 Saatlik SCS dağılımı

Kullanıcı tanımlı hiyetograf yönteminde, tüm alt havzalara tanımlanan hiyetograflar ile havzadaki ortalama yağış belirlenmektedir. Aynı zamanda tek bir yağış gözlem istasyonunun tüm alt havzadaki etkisini incelemek için de kullanılmaktadır.

Standart proje yağışı (SPS) yöntemi ise günümüzde sıklıkla kullanılan bir yöntem olmamasına karşın HEC-HMS içerisinde yağışın havzaya dağıtılması için kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Bu yöntemin kullanılabilmesi için indeks yağış, yağışın meydana geldiği alan ve zamana bağlı bir dağılım

gerekmektedir. İndeks yağış, USACE (1965)'de verilen haritalar yardımı ile hesaplanabilmektedir. Aynı zamanda yağışın havza üzerinde ortalananmadığı ya da yağış alanının havzanın alanından büyük olduğu durumlarda SPS yönteminin uygulanabilmesi için bir biçim faktörünün kullanılması gerekmektedir.

### 2.1.1.2 Yağışın Akışa Dönüştürülmesi ve Kayıpların Belirlenmesi

HEC-HMS ile hidrolojik modelleme farklı yağış-akış modelleri kullanılarak yapılabilmektedir. Bu modeller, arasında en yaygın kullanılanlardan biri Amerikan Zemin Koruma Servisi - eğri numarası (SCS-CN) yöntemidir (SCS, 1956). SCS-CN ampirik yapıdaki bir model olup havzanın özelliklerine bağlı olarak geliştirilmiş eğri numarası (CN) değerlerini kullanarak yağıştan akışa geçen su miktarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu yöntem ile akışa geçen su miktarının hesaplanabilmesi için çalışma sahasına ait arazi kullanım haritası, hidrolojik toprak grupları ve meteoroloji gözlem verilerinin kullanılması gerekmektedir.

SCS-CN yöntemi kapsamında toprak, A, B, C ve D olmak üzere dört farklı hidrolojik gruba ayrılmaktadır. Genel olarak A grubu düşük akım potansiyeline (yüksek sızma kapasitesi), D grubu ise yüksek akım potansiyeline (düşük sızma kapasitesi) sahip toprak gruplarını temsil etmektedir (Özdemir, 2007). Bu gruplara ilişkin bilgiler Tablo 2.1'de verilmiştir.

**Tablo 2.1:** Hidrolojik toprak grupları (Özdemir, 2007)

| Toprak Grubu | Açıklama   |
|--------------|--|
| A            | Çok kumlu zemin. Sızma çok   |
| B            | Kumu çok, kili az zemin, derin bitkisel toprak.                            |
| C            | Kumu az, kili çok zemin, sığ bitkisel toprak.                              |
| D            | Killi zemin veya kayalık, bitkisel toprak ince ya da hiç yok. Sızma çok az |

Arazi kullanım haritalarında her bir arazi kullanım bilgisi için dört farklı hidrolojik toprak grubuna ait CN değerleri bulunmaktadır. Bu sebeple ağırlıklı eğri numarasının belirlenmesi aşamasında arazi kullanım haritası ve hidrolojik toprak grubu haritasının eşleştirilmesi gerekmektedir. Bu eşleştirme sonucunda hangi arazi kullanım bölgesinin hangi toprak türüne karşılık geldiği ve hangi CN değeri ile

temsil edildiği belirlenebilmektedir. Havza üzerindeki ağırlıklı CN değeri ise Denklem (2.4) ile elde edilmektedir.

$$CN_w = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.4)$$

Burada  $CN_w$ , ağırlıklı eğri numarasını;  $CN_i$ ,  $i$ . arazi kullanım bölgesine ait eğri numarasını;  $A_i$  ise  $i$ . arazi kullanım bölgesinin alanını ifade etmektedir.

Hidrolojik model kurulumunda gerekli bir diğer parametre ise gecikme süresidir. Gecikme süresi havzanın çıkış noktasına en uzak olan bölgede meydana gelen yağışın havzanın çıkış noktasına ulaşma süresidir. Bu süre Denklem (2.5) yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$T_{lag} = L^{0.8} \frac{\left( \left( \left( \frac{1000}{CN_w} \right) - 10 \right) + 1 \right)^{0.7}}{1900 \sqrt{S_{ort}}} \quad (2.5)$$

Burada  $L$ , drenaj çizgisinin uzunluğunu (km);  $S_{ort}$ , havzanın ortalama eğimini (%);  $CN_w$  ise ağırlıklı eğri numarasını ifade etmektedir.

HEC-HMS kapsamında yağışın akışa dönüştürülmesi için kullanılan bir diğer yöntem Başlangıç ve Sabit yöntemidir. Bu yöntem toprak bilgilerinin eksik olduğu durumlarda kullanılabilen basit bir yöntemdir. Ayrıca debi-frekans çalışmaları için de bu yöntemden yararlanılmaktadır. Başlangıç. ve Sabit yöntemi kapsamında yağıştan kaynaklanan akış yüksekliği Denklem (2.6) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$R_{et} = \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ R_t - L_r \\ 0 \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum R_i < L_i \\ \sum R_i > L_i \text{ ve } R_t > L_r \\ \sum R_i > L_i \text{ ve } R_t < L_r \end{array} \right. \right\} \quad (2.6)$$

Burada  $R_{et}$ , havzadaki ortalama akış yüksekliğini;  $L_r$ , yağış esnasında meydana gelen kayıpların maksimum potansiyelini;  $L_i$ , başlangıçtaki kayıpları;  $R_t$ ,  $\Delta t$  zaman aralığında oluşan alansal ortalama yağış yüksekliğini;  $R_i$  ise toplam yağış yüksekliğini ifade etmektedir.

HEC-HMS içerisinde mevcut olan yağış-akış dönüşümü için kullanılan bir diğer yöntem ise Açık ve Sabit yöntemidir. Başlangıç ve Sabit yönteminden farklı olarak programa yağışın sona ermesinin ardından akımda meydana gelen geri çekilme oranının tanımlanması gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen yöntemlerden farklı olarak yağışın akışa dönüştürülmesinde Green–Ampt yönteminden de yararlanılmaktadır. Bu yöntem kapsamında yağışta meydana gelen kayıp, Denklem (2.7)'nin çözümü ile elde edilmektedir.

$$f_t = K \left[ \frac{1 + (\varphi - \theta_i)S_f}{F_t} \right] \quad (2.7)$$

Burada  $f_t$ ,  $t$  zaman dilimi boyunca oluşan sızma kaybını;  $K$ , doymun durumdaki hidrolik iletkenliği;  $\varphi - \theta$ , kaybolan nem hacmini;  $S_f$ , ıslanma bölgesindeki etkin emme yüksekliğini;  $F_t$   $t$  anında eklenik sızma kaybını ifade etmektedir. Bir önceki alandaki artık yağış, Denklem (2.7) yardımıyla hesaplanan kayıp ile  $t$  zaman dilimi boyunca hesaplanan ortalama alansal yağış arasındaki fark ile elde edilmektedir.

HEC-HMS bünyesinde bulunan Eksponansiyel yönteminde ise toprak tipine, arazi kullanımına, bitki örtüsüne ve havzanın diğer özelliklerine bağlı sızma karakteristiklerinin bilinmesi gerekmektedir. Kümülatif sızmanın logaritmik bir fonksiyonu olduğu ve geri çekilme hesaplarının yapılmadığı bir yöntem olduğu için sürekli hidrolojik modellerde kullanılması önerilmemektedir.

HEC-HMS kapsamında kullanılabilen diğer bir yöntem olan Smith Parlange yönteminde ise doymun iletkenliğin eksponansiyel ölçeğiyle ve doymun ve kuru zemin arasındaki sınırın ifade edilebileceği varsayımıyla sızma hesabı yapılmaktadır. Smith Parlange yönteminin kullanılabilmesi için zeminin ilk doymunluğu, drenaj bittikten sonra zeminde kalan su miktarı, zeminin maksimum su tutma kapasitesi, zemin cinsine bağlı olarak hesaplanan boşluk dağılımı, hidrolik iletkenlik ve geçirimsizlik gibi parametrelerin programa girilmesi gerekmektedir.

HEC-HMS kapsamında kullanılacak bir diğer sızma yöntemi Zemin Nemi Hesabı (Soil Moisture Accounting – SMA) yöntemidir. Suyun zemin içindeki

hareketini, bitki örtüsü içinde, zemin yüzeyinde, zemin profilinde ve yeraltı suyu katmanlarında suyun depolanma kapasitesini hesaplayan SMA yöntemi Leavesley'in (1983) yağış-akış modelinin ardından ortaya atılmış, Bennett (1998) tarafından detaylı olarak açıklanmıştır. Yağışı ve potansiyel evapotranspirasyon modele girildiği takdirde havzadaki yüzey akışı ve yeraltı akışı hesaplanabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında ise arazi kullanım ve hidrolojik toprak grubu haritalarından yararlanılarak akışa geçen yağış miktarı ve yağışta meydana gelen kayıplar SCS-CN yöntemi ile belirlenmiştir.

### 2.1.1.3 Doğrudan Akışın Belirlenmesi

Doğrudan akışa geçen su miktarı ampirik veya kavramsal modeller ile belirlenebilmektedir. Ampirik modellerde, detaylı bir değerlendirme yapılmadan yağış-akış arasındaki nedensel bağlantıyı kurma amacıyla birim hidrograflardan faydalanılmaktadır. Kavramsal modeller ise havzadaki yağıştan kaynaklanan akışı ve su toplama kanallarındaki hareketi yöneten tüm fiziksel olayları temsil etmektedir.

Birim hidrograf genel anlamda havzaya üniform ve sabit bir oranla düşen yağışın bir birimlik (1 cm SI) kısmından meydana gelen, doğrudan akışın temsil edildiği akış hidrografı olarak tanımlanmaktadır. Doğrusal bir hidrolojik sistemde birim reaksiyonun bir fonksiyonu olan birim hidrograf ilk olarak Sherman tarafından 1932 yılında ortaya atılmıştır (Chow ve diğ. 1988). Birim hidrograf ile doğrudan akış, Denklem (2.8)'de verilen eşitlik ile elde edilmektedir.

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} \quad (2.8)$$

Burada  $Q_n$ ,  $n\Delta t$  zamanındaki yağış hidrografının ordinatını;  $P_m$ ,  $m\Delta t$  ve  $(m+1)\Delta t$  zaman aralığındaki artık yağışı;  $M$ , gözlenen toplam yağış olayı sayısını;  $U_{n-m+1}$  ise  $(n-m+1)\Delta t$  zamanındaki birim hidrografın ordinatını temsil etmektedir.



Kavramsal yağış-akış modellerinde ise, belirli bir yağışa karşılık gelen akışın değişken nem koşulları dikkate alınarak benzeşimi yapılabilir (Lamb, 1999). Literatürde yaygın olarak kullanılan kavramsal modeller Stanford Havza Modeli (SWM), Sacramento zemin nemi hesabı modeli (SAC-SMA), Xinanjiang Modeli, Zemin Nemi Hesabı ve Öteleme Modeli (SMAR) ve Tank Modelidir (Chen ve Adams, 2006).

HEC-HMS programı kapsamında Clark birim hidrograf, ModClark, SCS birim hidrograf, Snyder birim hidrograf, kullanıcı tanımlı S eğrisi ve kullanıcı tanımlı birim hidrograf olmak üzere doğrudan akışın belirlenmesi için kullanılan altı adet ampirik yöntem bulunmaktadır. Ayrıca kavramsal model olan kinematik dalga modeli de program içerisinde yer almaktadır.

Clark Birim Hidrografı, doğrudan akışın belirlenmesinde artık yağışın meydana geldiği noktadan havza çıkışına doğru hareketi olan öteleme ve havzada artık yağışın depolanmasıyla drene edilen suyun azalması olan sönümlenme olmak üzere iki süreçten oluşan sentetik bir birim hidrograf yöntemidir. Clark Birim Hidrografı ile çıkış noktasındaki ortalama akım değeri Denklem (2.9) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\overline{Q}_t = \frac{Q_{t-1} + Q_t}{2} \quad , \quad Q_t = C_A I_t + C_B Q_{t-1} \quad (2.9)$$

Burada  $\overline{Q}_t$ ,  $t$  anında çıkış noktasındaki ortalama akımı;  $Q_t$ ,  $t$  anında çıkış noktasındaki akımı değerini;  $C_A$  ve  $C_B$ , öteleme katsayısını;  $I_t$ ,  $t$  anındaki sisteme giren ortalama akımı;  $Q_{t-1}$  ise  $t - 1$  anında çıkış noktasındaki akım değerini ifade etmektedir.  $C_A$  ve  $C_B$  öteleme katsayıları Denklem (2.10) ile elde edilmektedir.

$$C_A = \frac{\Delta t}{S_t + 0.5\Delta t} \quad , \quad C_B = 1 - C_A \quad (2.10)$$

Clark Birim hidrografı ile doğrudan akışı hesaplayabilmek için depolama katsayısının ( $S_t$ ) bilinmesi gerekmektedir. Gözlenen bir akım verisi bulunduğu takdirde bu parametreler kalibrasyon ile tahmin de edilebilmektedir.

ModClark yöntemi Clark Birim Hidrograf yönteminin Peters ve Easton (1996) ile Kull ve Feldman (1998) tarafından düzenlenmesi ile elde edilmiştir. Clark Birim Hidrograf yönteminde olduğu gibi ModClark yöntemi de öteleme ve kapasite hesaplarını içermektedir. Doğrudan akış, havzanın gridlere bölünmesiyle elde edilmektedir. Her hücrenin bir havzayı temsil ettiği kabul edilmekte ve bir hücre için, o hücrenin çıkış noktasına kadar olan mesafede öteleme süresi Denklem (2.11) ile hesaplanmaktadır.

$$t_{\text{hücre}} = t_c \frac{d_{\text{hücre}}}{d_{\text{max}}} \quad (2.11)$$

Burada  $t_{\text{hücre}}$ , bir hücre için ulaşım süresini;  $t_c$ , havza için konsantrasyon süresini;  $d_{\text{hücre}}$ , hücreden havzanın çıkış noktasına kadar olan mesafeyi;  $d_{\text{max}}$  ise çıkış noktasına en uzak olan hücrenin çıkış noktasıyla arasındaki mesafeyi ifade etmektedir.

Akışa geçen su miktarı, hücredeki alansal ortalama yağış ile yine hücre içerisindeki kayıplar arası fark olarak tanımlanmakta ve her bir hücre için çıkış hidrografı elde edilmektedir. Tüm havza için doğrudan akışa geçen su miktarı, her bir hücre için elde edilen çıkış hidrografının program tarafından birleştirilmesiyle elde edilmektedir.

SCS, ABD’de bulunan birçok küçük tarımsal alanda ölçülen yağış ve akış ortalamaları ile elde edilen parametrik bir birim hidrograf olan SCS Birim Hidrograf yöntemini geliştirmiştir. SCS Birim Hidrograf yönteminin temeli tek pik noktalı boyutsuz bir birim hidrografa dayanmaktadır. Bu hidrograf kapsamında pik debi Denklem (2.12) yardımıyla, pik debinin olduğu zaman ise Denklem (2.13) yardımıyla elde edilmektedir.

$$U_P = C \frac{A_P}{T_P} \quad (2.12)$$

$$T_P = \frac{\Delta t}{2} + t_{\text{lag}} \quad (2.13)$$

Burada  $C$ , değişim katsayısını (SI birim sistemi için 2.08);  $A$ , havza alanını;  $T_P$ , pik debinin olduğu zamanı;  $U_P$ , pik debiyi;  $\Delta t$ , yağıştan kaynaklanan akış

süresini;  $t_{lag}$  ise yağıştan kaynaklanan akışın havzanın çıkış noktasına ulaşma süresini (gecikme süresi) ifade etmektedir. SCS Birim Hidrograf için gecikme süresi kalibrasyon ile de belirlenebilmektedir. Ölçüm verisi bulunmayan havzalarda SCS, gecikme süresinin konsantrasyon zamanı ile ilişkilendirilebileceğini önermektedir.

Havza karakteristiklerini kullanarak birim hidrograf parametrelerini tahmin eden Snyder Birim Hidrograf yöntemi, 1938’de Snyder tarafından geliştirilmiştir. Kayıtlı akım verisinin bulunup bulunmadığına bakılmaksızın, alanı 10 ile 1000 mi<sup>2</sup> arasında olan havzalar için kullanılabilen sentetik bir birim hidrograf yöntemidir. Kritik parametreleri gecikme süresi, pik debi ve zaman olan ve yağış süresinin gecikme süresiyle ilişkili olduğu bir birim hidrograf tanımlamıştır. Bu ilişki Denklem (2.14)’te gösterilmiştir.

$$t_p = 5.5t_r \quad (2.14)$$

Burada  $t_r$ , yağış süresini;  $t_p$  ise gecikme süresini ifade etmektedir. Programa yağış süresi tanımlandığı takdirde Snyder birim hidrografının gecikme süresi elde edilebilmektedir. Birim hidrografın pik zamanı ve süresi ise Denklem (2.15) ile elde edilmektedir.

$$t_{pR} = t_p - \frac{t_r - t_R}{4} \quad (2.15)$$

Burada  $t_{pR}$ , birim hidrografın gecikme süresi;  $t_R$  ise birim hidrografın süresi olarak ifade edilmektedir. Snyder, birim hidrografının gecikme süresi ve havzanın yüzde birim alanında meydana gelen yüzde birim akış arasındaki ilişkiyi keşfetmiş ve bu ilişkinin Denklem (2.16) ile ifade edilebileceğini ortaya koymuştur.

$$\frac{U_{pR}}{A} = C \frac{C_p}{t_{pR}} \quad (2.16)$$

Burada  $U_{pR}$ , birim hidrografın pik noktasını;  $A$ , havzanın alanını;  $C_p$ , birim hidrografın pik katsayısını;  $C$  ise dönüşüm katsayısını (SI birim sistemi için 2.75) ifade etmektedir. Snyder Birim Hidrograf modelinin kullanılabilmesi için standart gecikme süresi ( $t_p$ ) ve birim hidrografın pik katsayısının ( $C_p$ ) tanımlanması

gerekmektedir. Program tarafından,  $t_{pR}$  değeri, tanımlanan zaman aralığına eşitlenerek Denklem (2.15) çözülmekte ve birim hidrograf için gecikme süresini elde edilmektedir. Son olarak Denklem (2.16) çözülerek birim hidrografın pik debisi hesaplanmaktadır.

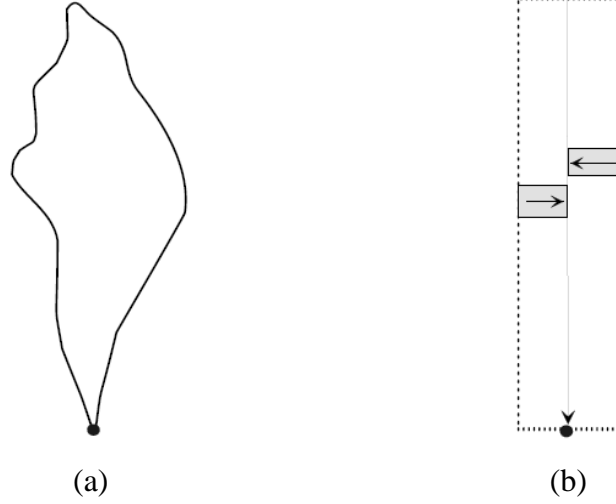
Sentetik bir yöntem olmayan kullanıcı tanımlı S eğrisi, bir alt havzanın yağışın bir birimlik kısmına olan tepkisini temsil etmek için kullanılmaktadır. Kullanıcı tanımlı S eğrisinin bağımsız değişkeni gecikme süresinin yüzdesi iken bağımlı değişkeni kümülatif akış hacminin yüzdesidir. Tanımlanan S eğrisi yalnızca alt havzaların benzer özellikleri taşıdığı bölgelerde kullanılabilir.

Kullanıcı tanımlı birim hidrograf yönteminde ise her bir alt havza için ayrı bir birim hidrograf tanımlanmaktadır. İdeal birim hidrograf, yağışın ve akışın aynı anda ölçüldüğü birçok yağış olayından elde edilmekte, böylece hidrografın süresi akışa geçen yağışın süresine eşit olmaktadır.

#### 2.1.1.4 Öteleme

Akarsuda öteleme modelleri ile akarsuyun herhangi bir kesiti için giriş hidrografı bilindiği takdirde çıkış hidrografı tahmin edilebilmektedir. HEC-HMS içerisinde akarsuda öteleme hesaplarının yapılabilmesi için Kinematik Dalga Modeli, Gecikme Modeli, Düzenlenmiş Puls Modeli, Muskingum ve Muskingum-Cunge yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler genel olarak süreklilik denklemleri ve momentum denklemlerinin (Saint-Venant denklemleri) sayısal çözümüne dayanmaktadır. İlgili öteleme yöntemleri hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

Kinematik dalga modeli, atalet ve basınç kuvvetlerini ihmal ederek süreklilik denkleminin sonlu farklar yaklaşımına ve momentum denkleminin basitleştirilmesine dayanan bir yöntemdir. Bu model ile havzanın geniş bir açık kanal olduğu varsayımıyla kanaldaki giriş hidrografından çıkış noktasındaki hidrograf hesaplanabilmektedir. Şekil 2.5 (a)'da gösterilen havza, kinematik dalga modeli ile çözüldüğünde Şekil 2.5 (b)'de gösterildiği gibi iki adet düz yüzey olduğu, düz yüzeylerin arasında açık kanal bulunduğu ve yüzeylerden kanala doğru bir akış olduğu varsayılmaktadır.



**Şekil 2.5:** Kinematik dalga modeli (a) Doğrudan akışa geçen yağışın hesaplanacağı havza (b) Kinematik dalga modelinin varsayımı (USACE, 2000)

Kinematik dalga modeli düz yüzeylerdeki akışın davranışını temsil etmektedir. Ayrıca kanallardaki akışın davranışının benzeşiminin yapılabilmesi için de kullanılabilir. Yüzeylerdeki akış, açık kanallarda olduğu gibi momentum ve süreklilik denklemi ile hesaplanmakta olup bu kapsamda kullanılan bir boyutlu süreklilik denklemi Denklem (2.17)'de verilmektedir.

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad (2.17)$$

Burada  $S_f$ , enerji çizgisinin eğimini;  $S_0$ , akarsu taban eğimini;  $V$ , hızı;  $y$ , hidrolik derinliği;  $x$ , akış kolu uzunluğunu;  $g$  ise yerçekimi ivmesini ifade etmektedir. Enerji çizgisinin eğimi Denklem (2.18)'de verilen Manning denklemi ile elde edilmektedir.

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (2.18)$$

Burada  $Q$ , debiyi;  $R$ , hidrolik yarıçapı;  $A$ , enkesit alanını;  $n$  ise Manning yüzey pürüzlülüğünü temsil etmektedir. Derinliğin yüksek olmadığı akış durumunda akarsu taban eğimi ile enerji çizgisi eğimi yaklaşık olarak eşit kabul edilmektedir ve hız etkisi ihmal edilebilmektedir (USACE, 2000). Böyle bir durumda Denklem

(2.17) basitleştirilerek Denklem (2.19), Denklem (2.18) basitleştirilerek ise Denklem (2.20) elde edilmektedir.

$$S_f = S_0 \quad (2.19)$$

$$Q = \alpha A^m \quad (2.20)$$

Burada  $\alpha$  ve  $m$  akış geometrisine ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı parametrelerdir. Kinematik dalga modelinde ikinci olarak kullanılan eşitlik Denklem (2.21)'de verilen bir boyutlu süreklilik denklemdir.

$$q = A \frac{\partial V}{\partial x} + VB \frac{\partial y}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} \quad (2.21)$$

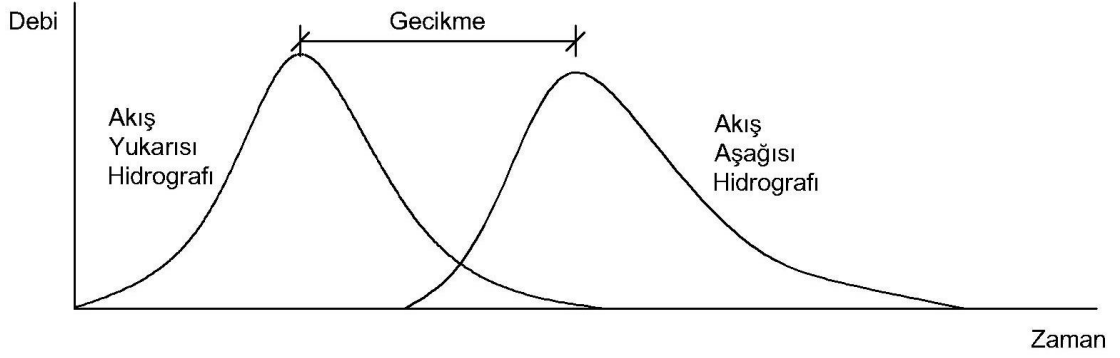
Burada  $q$ , kanalda ölçülen birim genişlik debisini;  $A$ , enkesit alanını;  $B$ , su yüzü genişliğini temsil etmektedir. Denklem (2.21)'in düzenlenmesi ile Denklem (2.22)'de verilen eşitlik elde edilmekte, Denklem (2.21) ve (2.22)'nin birleşimiyle ise kinematik dalga yaklaşımının nihai eşitliği olan Denklem (2.23) elde edilmektedir.

$$q = \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (2.22)$$

$$q = \frac{\partial A}{\partial t} + \alpha mA^{(m-1)} \frac{\partial A}{\partial x} \quad (2.23)$$

Kinematik dalga modelin kullanılabilmesi için akarsu en kesitinin, akarsu kolu uzunluğunun ve enerji çizgisi eğiminin bilinmesi gerekmektedir. Kinematik dalga ile en iyi çözüm, taban eğiminin yüksek olduğu bölgelerde elde edilmektedir. Ancak akarsuyun düzenli kesitler ve eğimlerle düzenlendiği kentsel alanlarda da kullanılabilir.

Öteleme modelleri arasında gecikme modeli en basit yöntemdir. Bu model kapsamında mambadaki hidrograf ile mansaptaki hidrografın ordinatları birbirine eşittir ve akımda herhangi bir azalma görülmemektedir (Şekil 2.6). Mansaptaki hidrografın ordinatları Denklem (2.24) ile elde edilmektedir (USACE, 2000).



**Şekil 2.6:** Gecikme modeli

$$Q_t = \begin{cases} I_t & t < t_{lag} \\ I_{t-lag} & t \geq t_{lag} \end{cases} \quad (2.24)$$

Burada  $Q_t$ ,  $t$  anında çıkış noktasındaki debiyi;  $I_t$ ,  $t$  anında giriş noktasındaki debiyi;  $t_{lag}$  ise gecikme süresini ifade etmektedir. Gecikme modeli özellikle kentsel alanlar için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Düzenlenmiş Puls modeli ise Denklem (2.25) kapsamında verilen süreklilik denkleminin sonlu farklar yöntemi ile çözümüne dayanmaktadır. İlgili denklem düzenlenerek sonlu farklar yaklaşımı uygulandığında Denklem (2.26) elde edilmektedir.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2.25)$$

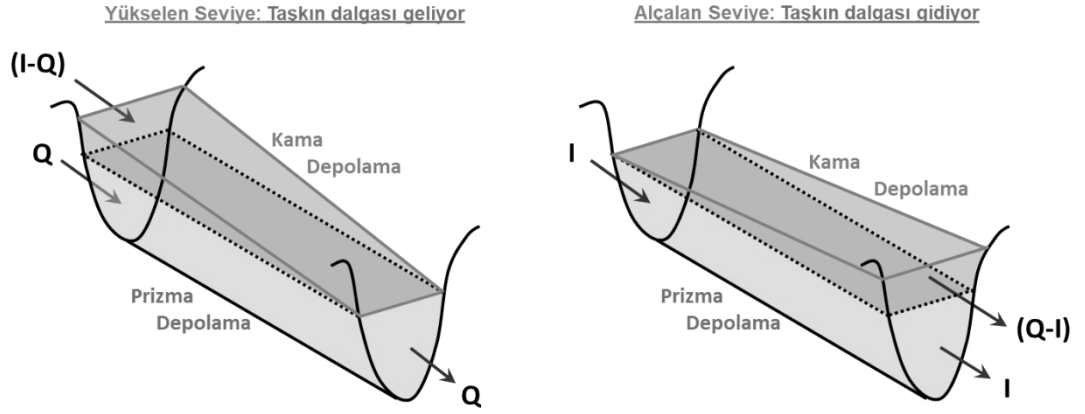
$$\bar{I}_t - \bar{Q}_t = \frac{\Delta S_t}{\Delta t} \quad (2.26)$$

Burada  $\bar{I}_t$ ,  $\Delta t$  zamanı boyunca ortalama giren akımı;  $\bar{Q}_t$ ,  $\Delta t$  periyodu boyunca ortalama çıkan akımı;  $\Delta S_t$  ise  $\Delta t$  periyodu boyunca akarsudaki biriktirmedeki değişimi ifade etmektedir. Ortalama değerler kullanılarak ilgili denklemler düzenlendiğinde Denklem (2.27)'deki eşitlik elde edilmektedir.

$$\left( \frac{S_t}{\Delta t} + \frac{Q_t}{2} \right) = \left( \frac{I_{t-1} + I_t}{2} \right) + \left( \frac{S_{t-1}}{\Delta t} - \frac{Q_{t-1}}{2} \right) \quad (2.27)$$

Burada  $I_{t-1}$  ve  $I_t$ ,  $t - 1$  ve  $t$  anında giren akıma ait hidrografın ordinatını;  $S_{t-1}$  ve  $S_t$ ,  $t - 1$  ve  $t$  anında akarsudaki biriktirmeyi göstermektedir. Biriktirme ve çıkan debi arasındaki ilişki Denklem (2.27)'nin çözülmesiyle elde edilebilmektedir. Tek bilinmeyenli lineer olmayan bu denklem HEC-HMS kapsamında deneme yanılma ile çözülmektedir.

Muskingum modeli Düzenlenmiş Puls modelinde olduğu gibi süreklilik denkleminin sonlu farklar yöntemi kullanılarak sayısal çözümüne dayanmaktadır (Denklem (2.28)). Akış hacmi, Şekil 2.7'de gösterildiği ve Denklem (2.29)'da verildiği gibi prizma ve kama biçiminde olan depolama hacimlerinin toplamı ile elde edilmektedir.



**Şekil 2.7:** Prizma ve kama şeklindeki depolamalar (Usul, 2008)

$$\left(\frac{S_t - S_{t-1}}{\Delta t}\right) = \left(\frac{I_{t-1} + I_t}{2}\right) - \left(\frac{Q_{t-1} + Q_t}{2}\right) \quad (2.28)$$

$$S_t = KQ_t + KX(I_t - Q_t) = K[XI_t + (1 - X)Q_t] \quad (2.29)$$

Burada  $K$ , ötelenen akarsudaki taşkın dalgasının çıkış noktasına ulaşma süresini;  $Q$ , çıkış noktasındaki debiyi (prizma hacmi);  $I$ , giriş noktasındaki debiyi (kama hacmi);  $S_t$ ,  $t$  anında akarsudaki biriktirmeyi;  $X$  ise boyutsuz ağırlık katsayını ifade etmektedir ( $0 \leq X \leq 0.5$ ). Denklem (2.28) ve (2.29) düzenlendiğinde Denklem (2.30)'daki eşitlik elde edilmekte ve bu eşitlik program tarafından çıkış hidrografının ordinatları, başlangıç koşulu ve  $K$  ve  $X$  parametreleri dikkate alınarak deneme yanılma ile çözülmektedir. Ek olarak  $K$  ve  $X$  parametreleri kalibrasyon ile de elde edilebilmektedir.



$$O_t = \left( \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \right) I_t + \left( \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \right) I_{t-1} \left( \frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t} \right) O_{t-1} \quad (2.30)$$

Muskingum modelinin düzenlenmesiyle Muskingum-Cunge modeli geliştirilmiştir. Kütle ve momentumun korunumu prensiplerine dayanan Muskingum-Cunge modelinde Denklem (2.31)'de verilen konvektif difüzyon denklemi çözülerek öteleme hesabı yapılmaktadır.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2 \partial t} + cq_L \quad (2.31)$$

Burada  $c$ , dalga yayılma hızını;  $q_L$ , artık yağışı;  $\mu$  ise hidrolik difüzyon katsayısını ifade etmektedir. Kısmi türevlere sonlu farklar yaklaşımı uygulandığında ve Denklem(2.30) ile birleştirildiğinde Denklem (2.32)'de verilen eşitlik elde edilmektedir. İlgili katsayılar ve  $K$  ve  $X$  parametreleri ise Denklem (2.33) - (2.38)'de verilmiştir.

$$Q_t = C_1 I_{t-1} + C_2 I_t + C_3 Q_{t-1} + C_4 (q_L \Delta x) \quad (2.32)$$

$$C_1 = \frac{\frac{\Delta t}{K} + 2X}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (2.33)$$

$$C_2 = \frac{\frac{\Delta t}{K} - 2X}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (2.34)$$

$$C_3 = \frac{2(1-X) - \frac{\Delta t}{K}}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (2.35)$$

$$C_4 = \frac{2 \left( \frac{\Delta t}{K} \right)}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (2.36)$$

$$K = \frac{\Delta x}{c} \quad (2.37)$$

$$X = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{Q}{BS_0 c \Delta x} \right) \quad (2.38)$$

Burada  $c, Q, B$  ve ilgili katsayılar zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple program her bir  $\Delta t$  ve  $\Delta x$  aralığında bu değerleri Ponce (1986) tarafından

geliştirilen algoritma ile tekrar hesaplanmaktadır. Herhangi bir  $\Delta t$  zaman aralığı seçildiğinde  $\Delta x$  Denklem (2.39) ile hesaplanmakta ve bu değer Denklem (2.40) ile sınırlanmaktadır.

$$\Delta x = c\Delta t \quad (2.39)$$

$$\Delta x < \frac{1}{2} \left( c\Delta t + \frac{Q_0}{BS_0c} \right) \quad (2.40)$$

Burada  $Q_0$ , Denklem (2.41)'de verilen eşitlik ile giriş hidrografından hesaplanan referans debisidir.

$$Q_0 = Q_B \frac{1}{2} (Q_{\text{Pik}} - Q_B) \quad (2.41)$$

Burada  $Q_B$ , taban akışını;  $Q_{\text{Pik}}$ , ise giriş hidrografındaki pik debiyi temsil etmektedir. Kanal eğimi, taşkın durumu ve hidrografa bağlı olarak Tablo 2.2'de hangi durum için hangi öteleme modelinin seçilebileceği verilmiştir.

**Tablo 2.2:** Öteleme modelinin seçilmesi (USACE, 2000)

| Durum  | Öteleme Modeli                               |
|--|--|
| Kalibrasyon için gözlenen hidrograf verisi yok                             | Kinematik Dalga, Muskingum-Cunge             |
| Çıkış hidrografını etkileyen geri çekilme                                  | Düzenlenmiş Puls                             |
| Taşkın dalgası taşkın yatağına giriyor                                     | Düzenlenmiş Puls, Muskingum-Cunge            |
| Kanal Eğimi $> 0.002$ ve $\frac{TS_0u_0}{d_0} \geq 171$                    | Tüm Öteleme Modelleri                        |
| Kanal Eğimi $0.002$ ve $0.0004$ arasında ve $\frac{TS_0u_0}{d_0} \geq 171$ | Muskingum-Cunge, Düzenlenmiş Puls, Muskingum |
| Kanal Eğimi $< 0.0004$ ve $TS_0 \left(\frac{g}{d_0}\right)^{1/2} \geq 30$  | Muskingum-Cunge                              |
| Kanal Eğimi $< 0.0004$ ve $TS_0 \left(\frac{g}{d_0}\right)^{1/2} < 30$     | Hiçbiri                                      |

Burada  $T$ , hidrograf süresini;  $u_0$ , ortalama akış hızını;  $d_0$ , akış yüksekliğini;  $g$ , yerçekimini;  $S_0$  ise kanal taban eğimini ifade etmektedir.

Bu çalışma kapsamında doğrudan akışın belirlenmesinde yukarıda detayları verilmiş olan yöntemlerden SCS Birim Hidrograf yöntemi kullanılmıştır. Akışın ötelenmesi sürecinde ise Tablo 2.2’de verilen bilgilerden yararlanılarak Muskingum modeli kullanılmıştır.

### 2.1.1.5 Taban Akışının Belirlenmesi

Bir havza modeli, doğrudan akış, sızma ve yüzey altı akışı süreçlerinden oluşmaktadır. Yüzey altı akışı ise taban akışı yöntemleri ile belirlenmektedir. HEC-HMS bünyesinde olay bazlı veya sürekli modellerde kullanılmak üzere Aylık Sabit Akış, Doğrusal Hazne, Geri Çekilme, Doğrusal Olmayan Boussinesq ve Sınırlandırılmış Geri Çekilme olmak üzere 5 farklı yöntem bulunmaktadır.

Aylık Sabit Akış modeli ay bazında değişen ve o ay sabit olan taban akışının kullanıcı tarafından tanımlanmasıyla hesaplanan basit bir taban akışı modelidir. Kullanıcı tarafından tanımlanan bu aylık taban akışı değeri, sayısal çözümün her bir zaman adımında hesaplanan doğrudan akışa eklenmektedir.

Doğrusal hazne modeli ise HEC-HMS kapsamında kullanılabilen diğer bir taban akışı modelidir. Sayısal çözümün her zaman adımında çıkan akım, ortalama kapasitenin lineer bir fonksiyonu olarak kabul edilmektedir. Bu model SMA modeliyle birlikte kullanılmaktadır.

Geri Çekilme modeli yağıştan sonra akımda oluşan geri çekilmenin davranışına yaklaşmak için tasarlanmış bir taban akışı modelidir. Genellikle olay bazlı hidrolojik modellerde kullanılmasıyla birlikte her yağıştan sonra taban akışını tekrar hesaplaması özelliği sayesinde sürekli modellerde de kullanılabilir.

Doğrusal Olmayan Boussinesq modeli de yağıştan sonra akımda oluşan geri çekilmenin davranışına yaklaşmak için tasarlanmış bir taban akışı modelidir. Geri Çekilme modeline benzerlik göstermesine karşın bu model kapsamında basınçlı yeraltı suyu tabakası ve Boussinesq varsayımlarıyla ölçülebilir veriler kullanılarak

parametreleri ifade etmek mümkün olmaktadır. Geri Çekilme modelinde olduğu gibi genellikle olay bazlı hidrolojik modellerde kullanılmasıyla birlikte her yağıştan sonra taban akışının tekrar hesaplaması özelliği sayesinde sürekli modellerde de kullanılabilir.

Sınırlandırılmış Geri Çekilme modelinde ise Geri Çekilme modelinden farklı olarak taban akışı limiti programa tanımlanabilmektedir. Metodoloji olarak Geri Çekilme modelinde olduğu gibi hesaplamalar yapılmakta ve aylık taban akışı limitleri modele dahil edilebilmektedir. En önemli farkı ise yağıştan sonra taban akışını tekrar hesaplamamaktadır.

Bu çalışma kapsamında yukarıda belirtilen taban akışı modellerinden doğrusal olmayan Boussinesq modeli kullanılmıştır.

#### **2.1.1.6 Evapotranspirasyon**

HEC-HMS bünyesinde evapotranspirasyon miktarının belirlenmesinde aylık ortalama buharlaşma, Penman Monteith ve Priestley Taylor yöntemleri kullanılmaktadır.

Aylık Ortalama Buharlaşma yöntemi ölçülmüş tava buharlaşması verileri ile çalışmak için tasarlanmış bir evapotranspirasyon metodudur. Her bir ay için ortalama buharlaşma yüksekliği ile işlem yapmaktadır.

Penman Monteith yönteminde ise evapotranspirasyon hesabı için Penman Monteith denklemleri kullanılmaktadır. Bu denklemler enerji dengesi ve kütle aktarımının kombinasyonuna dayanmaktadır. Muhtemel maksimum evapotranspirasyon, bitki örtüsü üzerindeki hava akımından kaynaklan sürtünme ile oluşan aerodinamik direnç ile basitleştirilerek hesaplanmaktadır. Penman Monteith yöntemi uzun ve kısa dalga radyasyonların tanımlanmasını gerektirmekte ve bunun için genellikle FAO56 yöntemi kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında evapotranspirasyonun hesaplanması için seçilen Priestley Taylor yöntemi ise (Priestley ve Taylor, 1972) zemin suyu kaynağının sınırsız olduğunu varsayarak enerji dengesini kullanmaktadır. Bu yöntem

kullanılarak modelleme süresinin 24 saat veya daha az olması durumunda evapotranspirasyondaki günlük değişim belirlenebilmektedir.

#### **2.1.1.7 Model Kalibrasyonu**

HEC-HMS ile hidrolojik modellemenin yapılabilmesi için kullanılan her bir yönteme ait parametrelerin saha ölçümleri dikkate alınarak kalibre edilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon aşamasında model sonuçları ile saha ölçümlerinin matematiksel olarak karşılaştırılmasında Tablo 2.3'te verilen amaç fonksiyonları kullanılmaktadır.

HEC-HMS modeli kapsamında parametrelerin kalibrasyonu tek değişkenli gradyan (univariate-gradient) ve Nelder ve Mead olmak üzere iki optimizasyon tekniği kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında model kalibrasyonu tek değişkenli gradyan optimizasyon tekniği kullanılarak yapılmış, amaç fonksiyonu Nash-Sutcliffe Model Etkinlik Katsayısı seçilmiştir.

**Tablo 2.3:** HEC-HMS model kalibrasyonunda kullanılan amaç fonksiyonları

| Fonksiyon                                     | Matematiksel Eşitlik  |
|---|---|
| Mutlak Farkların Ortalaması                   | $Z = \frac{1}{NQ} \sum_{i=1}^{NQ}  q_0(i) - q_s(i) $  |
| Farkların Karelerinin Ortalaması              | $Z = \frac{1}{NQ} \sum_{i=1}^{NQ} [q_0(i) - q_s(i)]^2$  |
| Nash-Sutcliffe Model Etkinlik Katsayısı       | $Z = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{NQ} (q_0(i) - q_s(i))^2}{\sum_{i=1}^{NQ} (q_0(i) - \bar{q}_0)^2}$  |
| Pik Ağırlıklı Ortalama Hata Kareleri Karekökü | $Z = \left\{ \frac{1}{NQ} \left[ \sum_{i=1}^{NQ} (q_0(i) - q_s(i))^2 \left( \frac{q_0(i) + q_0(\text{ort})}{2q_0(\text{ort})} \right) \right] \right\}^{1/2}$ |
| Pik Debide Yüzde Hata                         | $Z = 100 \left  \frac{q_s(\text{pik}) - q_0(\text{pik})}{q_0(\text{pik})} \right $  |
| Yüzde Hacimsel Hata                           | $Z = 100 \left  \frac{V_s(i) - V_0(i)}{V_0(i)} \right $   |
| Ortalama Hata Kareleri Karekökü               | $Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NQ} (q_s(i) - q_0(i))^2}{NQ}}$   |
| Ortalama Logaritmik Hata Kareleri Karekökü    | $Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NQ} (\log q_s(i) - \log q_0(i))^2}{NQ}}$   |
| Toplam Mutlak Fark                            | $Z = \sum_{i=1}^{NQ}  q_0(i) - q_s(i) $   |
| Farkların Kareleri Toplamı                    | $Z = \sum_{i=1}^{NQ} [q_0(i) - q_s(i)]^2$   |
| $q_0$ : gözlenen debi                         | $q_s$ : hesaplanan debi   |
| $q_0(\text{pik})$ : gözlenen pik debi         | $q_0(\text{ort})$ : gözlenen debilerin ortalaması   |
| $V_0$ : gözlenen akış hacmi                   | $q_s(\text{pik})$ : hesaplanan pik debi   |
| $V_s$ : hesaplanan akış hacmi                 | $NQ$ : hesaplanan hidrograf ordinatının sayısı  |

## 2.2 Hidrolik Modelleme

Hidrolojik modellemenin ardından, bu çalışma kapsamında, Ergene Havzası'nda meydana gelen yüzeysel kanal akışı süreci hidrolik olarak da modellenmiştir. Yapılan bu hidrolik analizler tek boyutlu akımlar için elde edilen ve bir önceki bölümde verilen süreklilik ve momentum denklemlerinin (Saint-Venant denklemleri) sonlu farklar yöntemi kullanılarak sayısal çözümüne dayanmaktadır. Bu çalışma kapsamında belirtilen sayısal çözüm işlemi doğrudan yapılmamış olup aynı sürecin benzeşiminin yapıldığı HEC-RAS modelinde ilgili akış süreci modellenmiştir. Aşağıda öncelikle HEC-RAS hakkında bilgi verilmiş, ardından kararlı ve kararsız akım süreçlerinin HEC-RAS ile modellenmesinden bahsedilmiştir.

### 2.2.1 HEC-RAS

HEC-RAS (**H**ydrologic **E**ngineering **C**enter - **R**iver **A**nalysis **S**ystem) (USACE, 2016), Amerikan Ordu Mühendisleri Birliği tarafından geliştirilmiş yapay veya doğal kanal kesitlerinde bir boyutlu hidrolik akım hesaplarını yapabilen bir modelleme yazılımıdır. HEC-RAS genel olarak kararlı-kararsız akım durumlarında nehir, sel veya karışık akım rejimleri için su yüzeyi profillerini belirleyebilmektedir (Usul, 2008). İlgili kurum web sayfasından ücretsiz olarak indirilip kullanılabilen bu model, su yüzü profillerinin belirlenebilmesi için Saint-Venant denklemlerinin akış hattı boyunca sonlu farklar metodu (SFM) ile sayısal çözümünü gerçekleştirmektedir. Tek boyutlu akım durumu için Saint-Venant denklemleri Denklem (2.42) ve Denklem (2.43)'te verilmektedir.

$$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2.42)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \quad (2.43)$$

Burada  $V$ , ortalama akım hızını;  $y$ , su yüksekliğini;  $x$ , koordinatı;  $t$ , zamanı;  $g$ , yerçekimi ivmesini;  $S_0$ , kanal taban eğimini ve  $S_f$  ise enerji çizgisini ifade etmektedir.

Bu çalışma kapsamında hidrolik model analizleri bir boyutlu kararlı ve kararsız akış durumları için HEC-RAS v5.0.4 ile yapılmıştır. Aşağıda kararlı ve kararsız akış durumları için HEC-RAS'ın kullanmış olduğu çözüm yaklaşımları detaylı olarak verilmiştir.

### 2.2.1.1 Bir Boyutlu Kararlı Akım

HEC-RAS, kararlı akımın su yüzü profillerini sel, nehir ve karışık akım rejimleri için belirleyebilmektedir. Bu hesaplamalar bir akarsu kesitinden diğerine bir boyutlu enerji denkleminin çözümüne dayanmaktadır. Enerji denklemi Denklem (2.44)'te, ilgili denklem kapsamında verilen sürekli yük kayıpları ise Denklem (2.45)'te verilmiştir.

$$z_2 + y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (2.44)$$

$$h_e = L_w \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2.45)$$

Burada  $z_1$  ve  $z_2$ , 1 ve 2 nolu kesitlerde referans yüzeyinden itibaren ölçülen yükseklikleri;  $y_1$  ve  $y_2$ , 1 ve 2 nolu kesitlerde kesitlerdeki su yüksekliklerini;  $V_1$  ve  $V_2$ , 1 ve 2 nolu kesitlerdeki ortalama akım hızını,  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$ , 1 ve 2 nolu kesitler için kinetik enerji düzeltme katsayılarını;  $g$ , yerçekimi ivmesini;  $h_e$ , yük kayıplarını;  $L_w$ , ağırlıklı akarsu uzunluğunu;  $\bar{S}_f$ , iki yüzey arasındaki sürtünme yüzeyi eğimini;  $C$ , genişleme ya da daralma kaybı katsayısını ifade etmektedir. Ağırlıklı akarsu uzunluğu ise Denklem (2.46)'da verilmiştir.

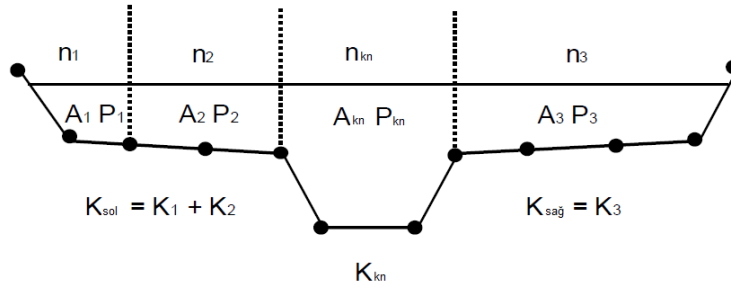
$$L_w = \frac{L_{sol} \bar{Q}_{sol} + L_{kanal} \bar{Q}_{kanal} + L_{sağ} \bar{Q}_{sağ}}{\bar{Q}_{sol} + \bar{Q}_{kanal} + \bar{Q}_{sağ}} \quad (2.46)$$

Burada  $L_{sol}$ , sol sahildeki taşkın yatağının diğer en kesite kadar olan uzunluğunu;  $L_{kanal}$ , ana kanalın diğer en kesite kadar olan uzunluğunu;  $L_{sağ}$ , sol sahildeki taşkın yatağının diğer en kesite kadar olan uzunluğunu;  $\bar{Q}_{sol}$ , sol sahildeki



taşkın yatağındaki ortalama debiyi;  $\bar{Q}_{\text{kanal}}$ , ana kanaldaki ortalama debiyi;  $\bar{Q}_{\text{sağ}}$  ise sağ sahildeki taşkın yatağındaki ortalama debiyi ifade etmektedir.

Bir kesitten diğerine iletilen toplam konveyansın hesaplanması, akış kesitinin hızın üniform olarak dağıldığı birimlere bölünmesi ile yapılmaktadır. HEC-RAS, taşkın yataklarındaki akışı bölümlere ayırma işlemini en kesitlerde tanımlanan Manning yüzey pürüzlülüğü ( $n$ ) değerlerinin değiştiği noktalara göre yapmaktadır (Şekil 2.8). Bu kapsamda toplam konveyans her alt bölüm için Denklem (2.47)'de verilen Manning denklemi yardımıyla hesaplanmaktadır.



Şekil 2.8: HEC-RAS ile toplam konveyansın hesaplanması (USACE, 2016)

$$Q = KS_f^{1/2} \quad (2.47)$$

Burada  $K$ , alt birimler için konveyans değerini;  $S_f$  ise enerji çizgisinin eğimini temsil etmektedir. Toplam konveyans sağ ve sol taşkın yatakları ile ana kanalda hesaplanan konveyansın toplanmasıyla elde edilmektedir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken hususlardan biri kanal içerisindeki akışın pürüzlülük katsayısının değişmediği durumlarda alt bölümlere ayrılmadığıdır. Ancak kanalın şev eğiminin 5:1'den daha yüksek olduğu veya kanalda birden fazla  $n$  değerinin bulunduğu durumlarda kompozit bir pürüzlülük katsayısı ( $n_c$ ) hesaplanmaktadır.  $n_c$  değeri Denklem (2.48) yardımıyla elde edilmektedir.

$$n_c = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1.5})}{P} \right]^{2/3} \quad (2.48)$$

Burada  $N$ , kanalın bölündüğü alt birim sayısını;  $P_i$ ,  $i$ . bölümdeki ıslak çevreyi;  $n_i$ ,  $i$ . bölümdeki pürüzlülük katsayısını;  $P$  ise tüm kanalın ıslak çevresini

ifade etmektedir. HEC-RAS kapsamında sürtünme kayıpları, enerji çizgisinin eğimine ve Denklem (2.46)'da verilen ağırlıklı akarsu uzunluğuna göre hesaplanmaktadır. Her bir en kesitteki enerji çizgisi eğimi Denklem (2.49) yardımıyla hesaplanmaktadır. Alternatif olarak model içerisinde enerji çizgisi eğiminin hesabı için Tablo 2.4'te verilen eşitlikler de kullanılabilir.

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \quad (2.49)$$

**Tablo 2.4:** Enerji çizgisi eğiminin hesaplanması

| Yöntem                                       | Eşitlik   |
|--|---|
| Ortalama Konveyans                           | $S_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2}\right)^2$      |
| Ortalama Enerji Çizgisi Eğimi                | $S_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$                       |
| Enerji Çizgisi Eğiminin Geometrik Ortalaması | $S_f = \sqrt{S_{f1} \times S_{f2}}$                     |
| Enerji Çizgisi Eğiminin Harmonik Ortalaması  | $S_f = \frac{2(S_{f1} \times S_{f2})}{S_{f1} + S_{f2}}$ |

HEC-RAS, bir en kesitin mansabındaki hız yüksekliğinin o en kesitten daha büyük olduğu durumlarda bir daralma olduğunu, daha küçük olduğu durumlarda ise bir genişleme olduğunu varsaymaktadır ve genişleme ve daralma kayıpları Denklem (2.50) ile hesaplanmaktadır.

$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \quad (2.50)$$

Burada  $h_{ce}$ , genişleme ve daralma kayıplarını;  $C$ , ise genişleme veya daralma katsayısını ifade etmektedir. Bir en kesitte su yüksekliği Denklem (2.44) ve (2.45)'in iteratif olarak çözülmesiyle elde edilmektedir. Hesaplama adımlarında ilk olarak mambadaki en kesite bir su yüksekliği atanmaktadır (sel rejimi hesaplanıyorsa mansaptaki en kesite su yüksekliği atanmaktadır). Daha sonra atanan su yüksekliği ile toplam konveyans ve hız yüksekliği elde edilmektedir. Toplam konveyans ve hız yüksekliği değerleri ile enerji çizgisinin eğimi belirlenmekte ve Denklem (2.45)'te

verilen sürekli yük kayıpları hesaplanmaktadır. Belirlenen toleransa göre hesaplanan su yüksekliği ile bir önceki adımda hesaplanan su yüksekliği karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma işlemi Sekant yöntemi ile yapılmaktadır (Denklem (2.51)).

$$WS_I = WS_{I-2} - E_{I-2} \frac{WS_{I-2} - WS_{I-1}}{E_{I-2} - E_{I-1}} \quad (2.51)$$

Burada  $WS_I$ , yeni hesaplanan su yüksekliğini;  $WS_{I-1}$ , bir önceki iterasyonda hesaplanan su yüksekliğini;  $WS_{I-2}$ , iki önceki iterasyonda hesaplanan su yüksekliğini;  $E_{I-1}$ , hesaplanan hatayı;  $E_{I-2}$  ise bir önceki iterasyonda hesaplanan hatayı temsil etmektedir. Bir iterasyonda hesaplanan su yüksekliği önceki iterasyonda hesaplanan su yüksekliğinin maksimum %50'si ile sınırlandırılmaktadır.  $E_{I-2} - E_{I-1}$  değerlerinin 0.001'den küçük olması durumunda Sekant yöntemi kullanılamamaktadır. Böyle bir durumda program yeni hesaplamayı bir önceki iterasyonda hesaplanan su yüksekliği ile yeni atadığı su yüksekliğinin ortalaması ile yapmaktadır.

### 2.2.1.2 Bir Boyutlu Kararsız Akım

HEC-RAS kapsamında bir boyutlu kararsız akım durumlarında su yüzü profilleri Denklem (2.42) ve (2.43)'te verilen Saint-Venant denklemlerinin sonlu farklar yöntemi ile sayısal çözümünün yapılmasıyla belirlenmektedir. Normal şartlar altında bu çözüm işlemi kinematik dalga, difüzyon dalgası ve dinamik dalga modelleri kullanılarak yapılabilmektedir. HEC-RAS bu çözüm yaklaşımlarından dinamik dalga modelini kullanarak momentum denkleminin tüm bileşenlerini dikkate alarak çözümlenmektedir. Bu çözümlenme aşamasında en kesitlerdeki su yüksekliklerine ilk değerlerini atayarak hesaplamaya başlamakta ve hesaplanan su yüksekliği ile bir önceki adımda hesaplanan su yüksekliği arasındaki fark belirlenen tolerans değeri ile karşılaştırmaktadır. Hesaplanan hata değerinin toleranstan küçük olması durumunda hesaplama yapılan zaman adımı için sonuca ulaşıldığı kabul edilmekte ve bir sonraki zaman adımına geçilmektedir. Hesaplanan hata değerinin toleranstan büyük olması durumunda ise yeni değer tahminleri ile iterasyona başlanmaktadır. Herhangi bir iterasyonda daha iyi bir sonuç elde edildiği ancak hata değerinin toleranstan küçük olmadığı durumda çözüm, program tarafından en iyi

çözüm olarak saklanmakta ve bir sonraki iterasyona geçilmektedir. Programın belirlenen maksimum iterasyon sayısına ulaşması durumunda ise en iyi çözümü veren değer kullanılmaktadır.

### 2.2.1.3 Sınır Koşulları

Bir nehir sisteminde her bir çözüm noktası için  $\Delta Q$  ve  $\Delta z$  bilinmediğinden, mambadaki veya mansaptaki uçlarda tanımlanan sınır koşulları iki bilinmeyenli denklemin çözümü sağlamaktadır. Bu kapsamda HEC-RAS'ta kullanılan sınır koşulları aşağıda özetlenmiştir:

#### Birleşim Yerleri Sınır Koşulu

İki kolun birleşim yerlerinde birleşim tipine bağlı olarak debi (Denklem (2.52)) veya seviye (Denklem(2.53)) eşitliklerinden biri kullanılmaktadır.

$$\sum_{i=1}^l S_{gi} Q_i = 0 \quad (2.52)$$

$$z_k = z_c \quad (2.53)$$

Burada  $l$ , birleşim noktalarının sayısını;  $Q_i$ ,  $i$  kolundaki debiyi;  $z_k$ ,  $k$  kolundaki seviyeyi;  $z_c$ , bir önceki kolda hesaplanan seviyeyi ifade etmektedir. Burada tanımlanan  $S_{gi}$  parametresi ise  $i$  kolu mambadaki kola bağlanıyorsa  $-1$ , mansaptaki kola bağlanıyorsa  $+1$  olarak alınan bir parametredir.

#### Kararlı Akım Sınır Koşulları

Kararlı akım durumunda kullanılabilen dört farklı sınır koşulu bulunmaktadır. Bunlar;

- Su Yüksekliği: Sınır koşulunun tanımlanacağı noktada su yüksekliği bilindiği takdirde programa olduğu gibi girilmektedir.

- Kritik Derinlik: Kritik derinliğin sınır koşulu olarak seçilmesi durumunda program her bir akış profili için kritik derinliği hesaplamakta ve kritik derinliği sınır koşulu olarak kullanmaktadır.
- Normal Derinlik: Normal derinliğin sınır koşulu olarak kullanılabilmesi için enerji çizgisi eğiminin programa girilmesi gerekmektedir. Enerji çizgisi eğiminin girildiği noktada normal derinlik Mannig denklemiyle hesaplanmaktadır.
- Anahtar Eğrisi: Sınır koşulunun anahtar eğrisi seçilmesi durumunda programa debi-seviye değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Her bir akış profili için seviye değerleri, verilen anahtar eğrisinden lineer interpolasyonla elde edilmektedir.

Sınır koşullarını, nehir rejiminin hesaplanması durumunda mansaptaki uç noktalara, sel rejiminin hesaplanması durumunda membadaki uç noktalara, karışık akımın hesaplanması durumunda ise hem membadaki hem de mansaptaki uç noktalara tanımlanması gerekmektedir.

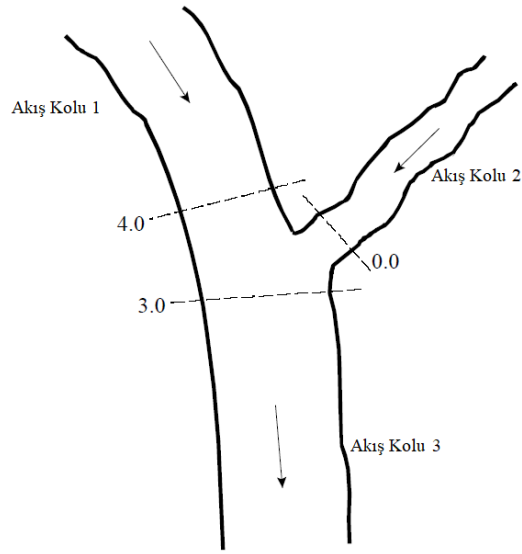
#### Kararsız Akım Sınır Koşulları

Kararsız akım durumunda memba sınır koşulu olarak akış hidrografi, seviye hidrografi ve seviye ve akış hidrografi olmak üzere uç, mansap sınır koşulu olarak anahtar eğrisi, normal derinlik, seviye hidrografi, akış hidrografi ve seviye ve akış hidrografi olmak üzere beş farklı sınır koşulu bulunmaktadır.

Seviye hidrografi, akışın bir durgun su ortamına (rezervuar, gól vb.) veya gelgit olaylarının olduğu kórfez veya haliç gibi yapılara doğru olduğu durumlarda kullanılırken akış hidrografi, ölçölmüş akış verisinin bulunduğu ve modelin kalibre edildiği durumlarda kullanılmaktadır.

#### 2.2.1.4 Birleşim Noktaları

HEC-RAS kararlı akım durumu için birleşim noktalarını enerji ve momentum olmak üzere iki farklı şekilde modelleyebilmektedir. Enerji yöntemi bir boyutlu enerji denkleminin çözümüne dayanmaktadır. Şekil 2.9’da verilen birleşim noktası nehir rejiminde çözümlenirken Denklem (2.54) kullanılmaktadır. Nehir rejimi hesapları mansap kontrollü olarak yapılmaktadır. Bu sebeple ilk olarak 3 nolu akış kolundaki 3.0 noktası için su yüksekliği hesaplanmakta daha sonra 4.0 ve 0.0 noktaları için su yüksekliği elde edilmektedir.



Şekil 2.9: Birleşim noktası (USACE, 2016)

$$WS_4 + \frac{\alpha_4 V_4^2}{2g} = WS_3 + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} + L_{4-3} \bar{S}_{f\ 4-3} + C \left| \frac{\alpha_4 V_4^2}{2g} - \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} \right| \quad (2.54)$$

Burada  $WS_3$  ve  $WS_4$ , 3.0 ve 4.0 noktasındaki su yüksekliğini;  $V_3$  ve  $V_4$ , 3.0 ve 4.0 noktasındaki akış hızını;  $g$ , yerçekimi ivmesini;  $L_{4-3}$ , 4.0 ve 3.0 noktaları arasındaki yatay uzunluğu;  $\bar{S}_{f\ 4-3}$ , 4.0 ve 3.0 noktaları arasındaki enerji çizgisi eğimini;  $\alpha$ , hız ağırlık katsayısını;  $C$  ise daralma veya genişleme katsayısını ifade etmektedir.

Sel rejimi hesapları ise memba kontrollü yapılmaktadır. Bu sebeple ilk olarak 1 ve 2 numaralı akış kollarında 4.0 ve 0.0 noktaları için su yükseklikleri ve kuvvetler hesaplanmakta daha sonra 3.0 noktası su yüksekliği belirlenmektedir.

Karışık akım durumunda ise sel rejimi hesapları sırasında, çözüm nehir rejimi özelliği gösterdiği takdirde nehir rejimi kabul edilmektedir. Nehir rejimi kabulünün ardından birleşim bölgesinin membandaki noktalarda sel rejiminin gözlenmesi durumunda ise hesaplamalar tekrar yapılmaktadır. Memba bölgesindeki bir veya birden fazla noktada sel rejiminin gözlenmesi durumunda, program bu noktalar için kuvvetleri belirlemektedir. Sel rejiminin gözlendiği noktada hesaplanan kuvvetin, nehir rejiminin gözlendiği noktada hesaplanan kuvvetten büyük olması durumunda, program rejimi sel rejimi olarak kabul etmekte ve membadaki en büyük kuvvete sahip olan noktadan mansaba doğru çözüm yapmaktadır. Program daha sonra mansaptaki nokta için hem nehir rejimi hem de sel rejimi için kuvvetleri hesaplamaktadır. Mansaptaki noktada sel rejimi için hesaplanan kuvvetin daha önce nehir rejimi için hesaplanan kuvvetten küçük olması durumunda ise program hidrolik sıçramanın gerçekleştiğini varsaymaktadır.

Momentum yönteminde çözüm enerji yönteminde olduğu gibi yapılmaktadır ancak enerji denklemi yerine momentum denklemi kullanılmaktadır. Momentum denkleminde ayrıca akış kolları arasındaki açılar da dikkate alınmaktadır.

Kararsız akım durumunda ise HEC-RAS içerisinde birleşim bölgelerindeki hidrolik hesaplar için iki yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem birleşim bölgesinin mansabında hesaplanan su yüksekliği membadaki noktalar için de kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem eğimi yüksek nehir sistemleri için iyi sonuçlar vermemektedir. İkinci yöntem ise membadaki su yüksekliklerinin hesaplanmasında enerji dengesinin kullanılmasıdır.

Bu çalışmada Ergene Havzası'nda saha çalışmasından elde edilen en kesit debi-seviye verileri ile bir boyutlu kararlı akım simülasyonu yapılmış ve Manning pürüzlülük katsayılarının kalibrasyonu sağlanmıştır. Bir boyutlu kararlı akım simülasyonunda sınır koşulu olarak normal derinlik kullanılmış ve birleşim yerlerinde enerji yöntemi seçilmiştir.

Manning pürüzlülük katsayılarının kalibrasyonunun ardından, gözlenen ve hidrolojik modelden üretilen akış hidrografları ile bir boyutlu kararsız akım simülasyonu yapılmış, hesaplanan her bir zaman adımı için en kesitlerdeki su yüzü profilleri ve akışa ait diğer parametreler elde edilmiştir.



### 3. ÇALIŞMA SAHASI

#### 3.1 Çalışma Sahası Hakkında Genel Bilgi

Meriç-Ergene Havzası, ulaşım bağlantıları, yerleşime uygun düz eğimli arazileri, endüstriyel ve enerji hammadde kaynakları, yeraltı ve yüzeysel su kaynakları ve sanayi tesislerinin yoğunluğu dikkate alındığında Türkiye'nin en önemli su havzalarından biridir. Ülkemizde Trakya bölgesinde yer alan havza toplamda 12,438 km<sup>2</sup> su toplama alanına sahip olup bu alan ülke yüzölçümünün yaklaşık olarak %2'lik kısmına karşılık gelmektedir. Havzaya ait yer buldur haritası Şekil 3.1'de verilmiştir.

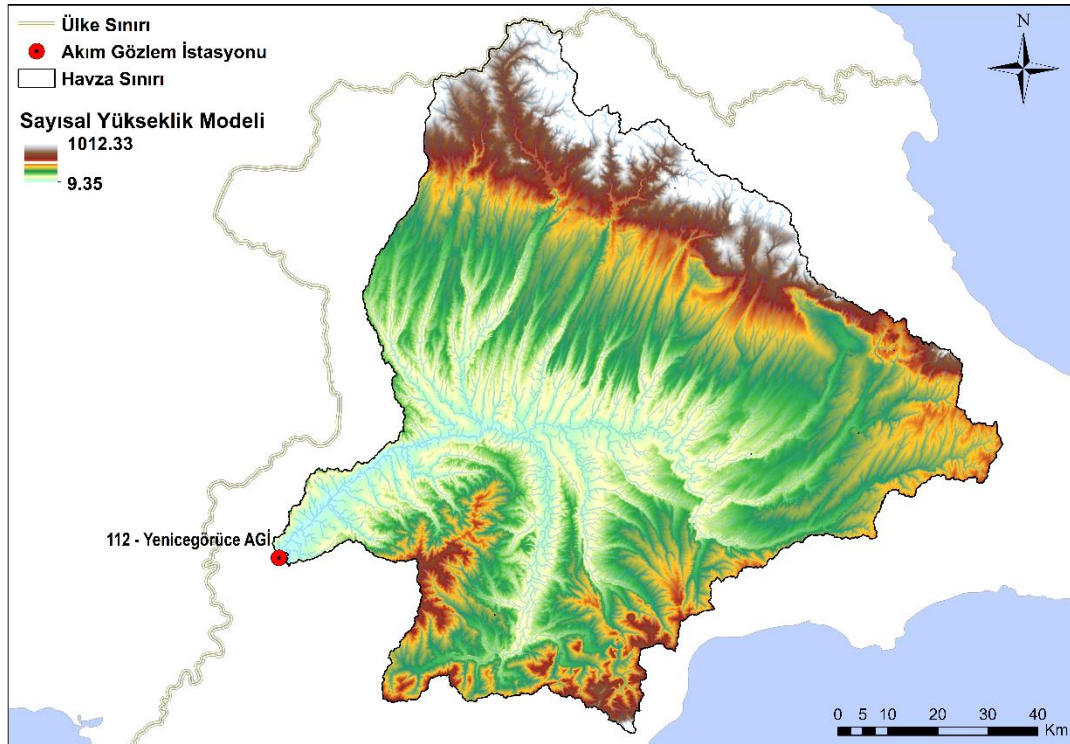


**Şekil 3.1:** Ergene Havzası'nın yer buldur haritası

Havzanın en önemli yerüstü su kaynağı Ergene Nehri ve yan kollarıdır. Havzanın ortasından geçmekte olan Ergene Nehri, Tekirdağ'ın Saray ilçesinin Taşpınar tepesi civarındaki kaynaklardan doğmakta ve Ergene Deresi olarak güneye doğru akmaktadır. Ergene Deresi, Çerkezköy ilçesinden gelen Çorlu Suyu ile birleşerek Ergene Nehri'nin ana kolunu oluşturmaktadır. Havza boyunca doğudan

batıya doğru akan nehir Edirne'nin Uzunköprü ilçesinin güneybatısında Meriç Nehri ile birleşerek Saroz Körfezi'nden Ege Denizi'ne dökülmektedir

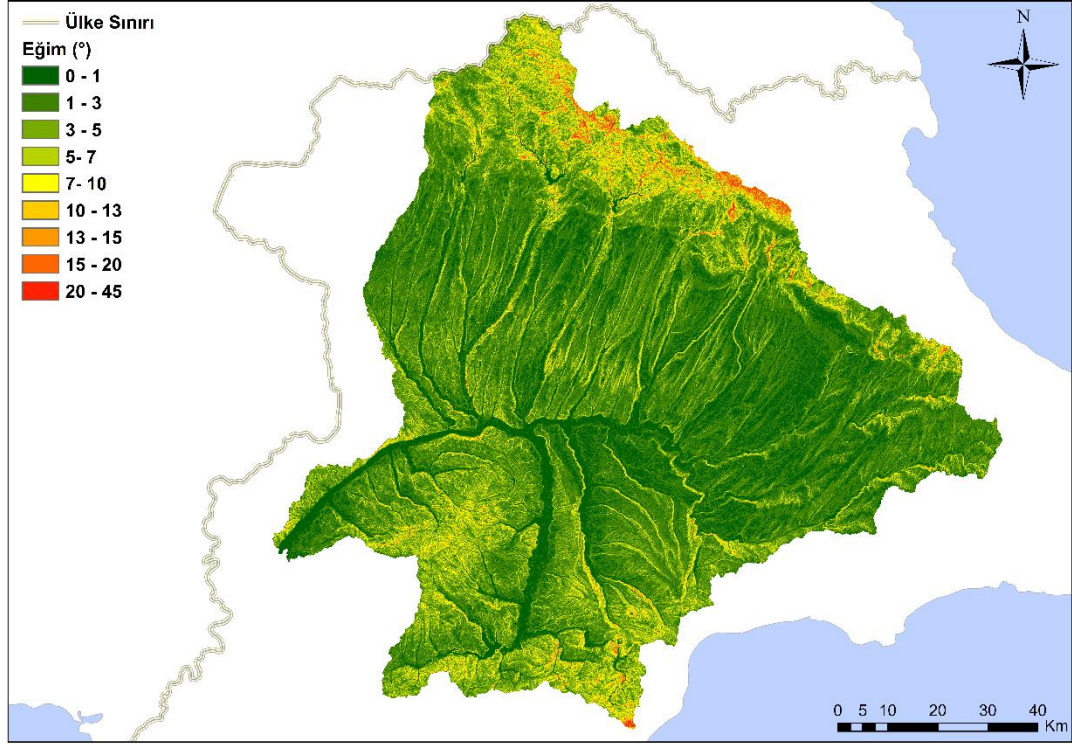
Önceki bölümlerde belirtildiği gibi, bu çalışma kapsamında ilgili havzadaki yağış-akış ilişkileri hidrolojik ve hidrolik modelleme ile belirlenmiştir. Bu bağlamda geliştirilecek modellerin kalibre edilebilmesi için havza çıkış noktasında mutlaka akım gözlemlerinin bulunması gerekmektedir. Buna karşın Ergene Nehri'nin Meriç Nehri ile birleştiği noktada herhangi bir akım gözlem istasyonu (AGİ) bulunmadığından havza çıkış noktası olarak su toplama alanı 10,508 km<sup>2</sup> olan ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen 112 – Yenicegözüce akım gözlem istasyonu seçilmiştir. 112 – Yenicegözüce AGİ'ye ait su toplama alanı (çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde Ergene Havzası olarak anılacaktır), bu alan ile sınırlandırılmış sayısal yükseklik modeli ve akış kolları Şekil 3.2'de verilmiştir.



**Şekil 3.2:** Yenicegözüce AGİ'ye ait su toplama alanı, bu alan ile sınırlandırılmış sayısal yükseklik modeli ve akış kolları

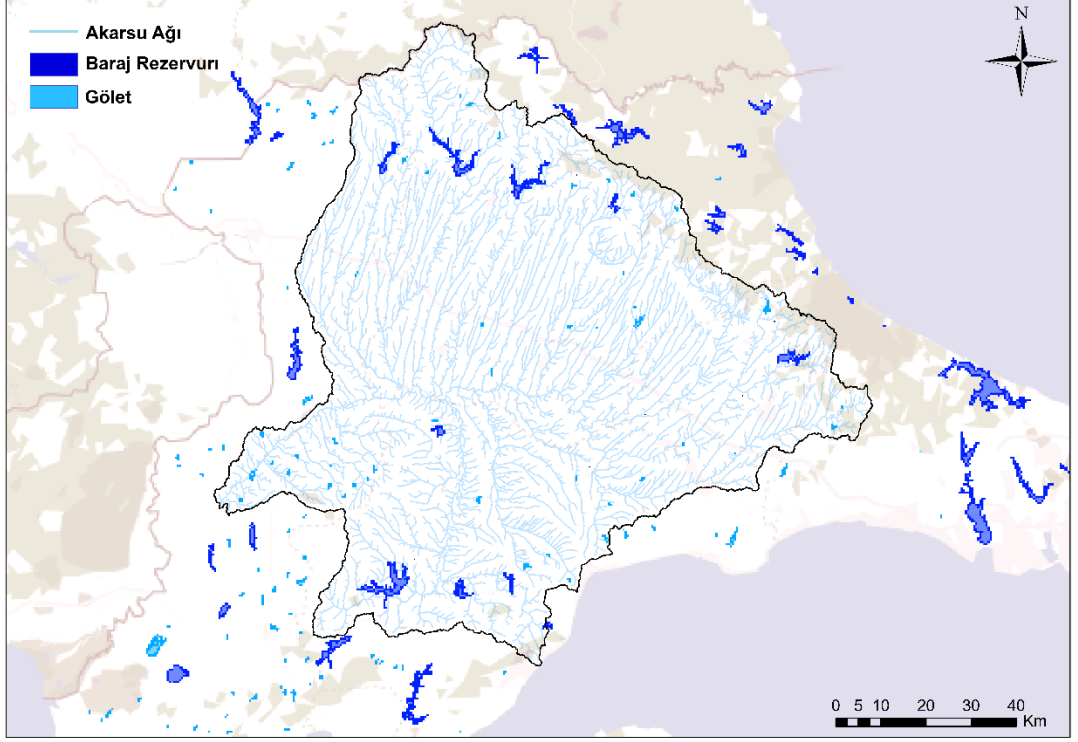
Ergene Havzası eğim bakımından değerlendirildiğinde havzanın kuzeydoğu bölgelerinde genel olarak eğim değerlerinin yüksek olduğu, bunun dışında kalan alanlarda ise topoğrafyanın daha az eğime sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3.3). CBS ortamında yapılan analizler sonucunda ortalama havza eğiminin yaklaşık olarak

3° mertebesinde olduğu görülmektedir. Havza genelinde eğimin düşük olması nedeniyle sızma oranının yüksek olduğu anlaşılmakta ve çıkış noktasına doğru düşük akış hızından kaynaklanan menderes yapıları ile karşılaşmaktadır.



**Şekil 3.3:** Ergene Havzası Eğim Haritası

Literatürde yapılan çalışmalar Ergene Havzası'ndaki yüzey suyu potansiyelinin yeraltı suyuna göre daha fazla olduğunu göstermiştir (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2009). İçme ve kullanma suyunun temin edilmesinde çoğunlukla baraj hazneleri ve göletler kullanılmaktadır. Genel olarak bu su yapıları havzanın kuzey ve güney kesimlerinde yoğunlaşmakta olup havza üzerindeki genel yerleşim planları Şekil 3.4'te verilmiştir. Bu su yapıları şehirler bazında değerlendirildiğinde Edirne il sınırları içinde Altinyazı, Süloğlu, Kadıköy barajları ile Beğendik ve Çamlıca göletleri; Kırklareli il sınırları içinde Armağan, Kayalıköy, Kırklareli barajları ile Üsküp göleti; Tekirdağ il sınırları içinde ise Karademir barajı ile Bıyıklı ve Türkmenli göletleri bulunmaktadır.



**Şekil 3.4:** Ergene Havzası'nda yer alan baraj hazneleri ve göletler (Altlık: <http://geodata.ormansu.gov.tr/> )

Havzada bulunan kent merkezleri için yapılan nüfus projeksiyonu değerlendirildiğinde 2017 – 2023 zaman aralığı için en fazla nüfus artışının %21 ile Tekirdağ'da olacağı Tablo 3.1'de görülmektedir. Tekirdağ'ı %5 değişimle Kırklareli ve %1 değişimle Edirne takip etmektedir. 2017 nüfus sayım sonuçlarına göre havza genelinde bulunan kentlere ait toplam nüfus 1,768,368 olup bu değer 2023 yılında %13 değişimle 2,005,424 kişiye ulaşacağı tahmin edilmektedir (TÜİK, 2019).

**Tablo 3.1:** Ergenen Havzası 2017-2023 nüfus karşılaştırması (TÜİK, 2019)

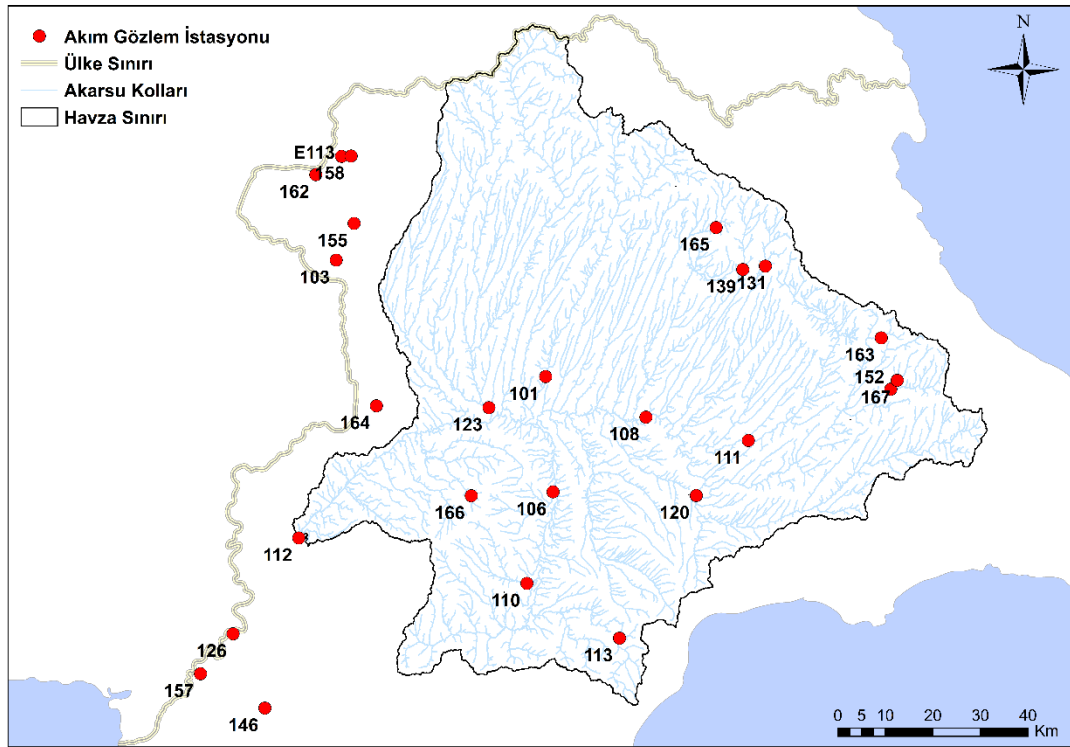
| İller      | Yıllar | Toplam    | Nüfus Değişimi (%) |
|------------|--------|-----------|--------------------|
| Edirne     | 2017   | 406,855   | 1                  |
|            | 2023   | 411,323   |                    |
| Tekirdağ   | 2017   | 1,005,463 | 21                 |
|            | 2023   | 1,219,386 |                    |
| Kırklareli | 2017   | 356,050   | 5                  |
|            | 2023   | 374,715   |                    |
| Toplam     | 2017   | 1,768,368 | 13                 |
|            | 2023   | 2,005,424 |                    |

## 3.2 Hidrolojik Durum

Bu bölümde Ergene havzası ve yakın çevresindeki akım ve meteoroloji gözlem istasyonlarına ait bilgiler verilmiş ve havza genelinde gözlenen yağış ve akış süreçlerinin genel değerlendirmesi yapılmıştır.

### 3.2.1 Akım Gözlem İstasyonları

Meriç-Ergene havzasında DSİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilen/işletilmiş ve farklı ölçüm periyotlarına sahip 32 adet AGİ bulunmaktadır. Bu istasyonlara ait koordinat, gözlem süreleri ve drenaj alanları gibi karakteristik özellikler Tablo 3.2’de sunulmuştur. Ayrıca bu AGİ’lerin havza üzerindeki yerleşimi Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5: Ergene Havzası’nda yer alan AGİ’lerin yerleşimi

**Tablo 3.2:** Meriç-Ergene Havzası akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler

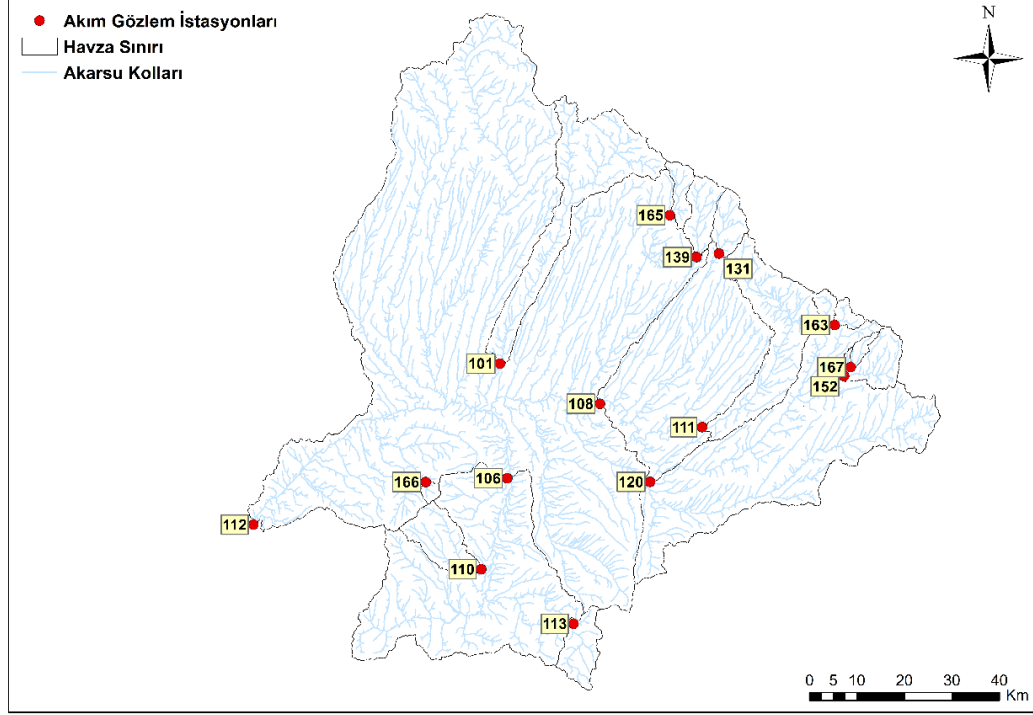
| İstasyon No | İstasyon Adı                   | Boylam Enlem |        | Gözlem Süresi |       | Drenaj Alanı (km <sup>2</sup> ) |
|-------------|--------------------------------|--------------|--------|---------------|-------|---------------------------------|
|             |                                |              |        | Başlangıç     | Bitiş |                                 |
| 101         | Şeytan Deresi-Babaeski         | 27.100       | 41.428 | 1957          | 2015  | 478.40                          |
| 103         | Meriç Nehri-Kirişhane          | 26.572       | 41.647 | 1985          | 2015  | 34990.00                        |
| 106         | Hayrabolu Deresi-Hayrabolu     | 27.118       | 41.210 | 1969          | 2015  | 1381.20                         |
| 108         | Ergene N.-Ddy Kop.Lüleburgaz   | 27.352       | 41.351 | 1948          | 2015  | 2794.00                         |
| 110         | Uzun Dere-Yörgüç               | 27.053       | 41.037 | 1979          | 2002  | 129.80                          |
| 111         | Anaçay-Misinli                 | 27.608       | 41.306 | 1988          | 2015  | 379.20                          |
| 112         | Ergene Nehri-Yenicegörüce      | 26.520       | 41.128 | 1996          | 2005  | 10508.00                        |
| E113        | Tunca N.-Suakacağı             | 26.584       | 41.843 | 1995          | 2014  | 7929.10                         |
| 113         | Hayrabolu Deresi-İncecik       | 27.283       | 40.933 | 1952          | 2004  | 92.18                           |
| 118         | Ergene N.-Bakırca              | 27.788       | 41.310 | 2006          | 2015  | 418.70                          |
| 120         | Ergene Nehri-İnanlı            | 27.477       | 41.202 | 1961          | 2015  | 1415.00                         |
| 123         | Teke D.-Kuştepe                | 26.958       | 41.369 | 1961          | 2013  | 1679.00                         |
| 126         | Meriç N.-İpsala Gümrük Köprüsü | 26.319       | 40.940 | 1962          | 2015  | 50030.00                        |
| 131         | Sogucak Deresi-Soğucak         | 27.654       | 41.635 | 1964          | 2015  | 71.30                           |
| 139         | Poyralı Deresi-Poyralı         | 27.597       | 41.629 | 1965          | 2015  | 86.40                           |
| 146         | Hamzadere-Kocahıdır            | 26.400       | 40.800 | 1970          | 2005  | 69.60                           |
| 152         | Manika Dere-K.Yoncalı          | 27.967       | 41.400 | 1976          | 2015  | 118.30                          |
| 155         | Pravadı Deresi-Hasanağa        | 26.617       | 41.717 | 1982          | 2006  | 198.03                          |
| 157         | Meriç Nehri-Ferre Kupuru       | 26.239       | 40.864 | 1985          | 2010  | 50140.00                        |
| 158         | Çömlekdere-Çomlekköy           | 26.609       | 41.844 | 1986          | 2010  | 70.13                           |
| 161         | Cesme Dere-Ahmetbey            | 27.583       | 41.450 | 2001          | 2004  | 52.02                           |
| 162         | Fisine Dere-B.İsmailce         | 26.519       | 41.808 | 1988          | 2010  | 136.00                          |
| 163         | Ayvacak Deresi-Ayvacak         | 27.944       | 41.497 | 1987          | 2015  | 25.80                           |
| 164         | Çakmakdere-Çakmakköy           | 26.675       | 41.372 | 1989          | 2009  | 85.00                           |
| 165         | Çayırdere-Çayırdereköy         | 27.531       | 41.708 | 1989          | 2010  | 50.50                           |
| 166         | Gazimehmet Deresi-Gazimehmet   | 26.913       | 41.203 | 1989          | 2003  | 13.67                           |
| 167         | Kocca Deresi-K.Yoncalı         | 27.983       | 41.417 | 1996          | 2000  | 19.60                           |
| 169         | Dolapdere-İslambeyli           | 27.614       | 41.719 | 2002          | 2015  | 10.70                           |
| 174         | Degirmendere-Yenice            | 27.633       | 41.723 | 2004          | 2014  | 5.97                            |
| 176         | Çobandere-Yünlüce              | 26.631       | 41.853 | 2007          | 2015  | 55.60                           |
| 177         | Kocadere-Lalapaşa              | 26.733       | 41.894 | 2007          | 2015  | 73.40                           |
| 178         | Tunca N.-Değirmenyanı          | 26.548       | 41.762 | 2009          | 2015  | 8099.00                         |
| 181         | Ambardere-Çerkezköy            | 28.034       | 41.275 | 2011          | 2015  | 123.00                          |

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi, bu çalışma kapsamında HEC-HMS ve HEC-RAS modelleri kullanılarak ilgili çalışma sahasında gözlenen yağış ve akış süreçlerinin modellenmesi yapılmıştır. Kurulan bu modellerin sahada gözlenen durumu yansıtılabilmeleri için kalibre edilmesi gerekmektedir ve kalibrasyon aşamasında kullanılacak en önemli veri, mevcut AGİ'lerde gözlenmiş akım değerleridir. Bu sebeple model kalibrasyon ve doğrulama aşamalarında kullanılmak üzere havza genelinde en fazla ortak ölçüm periyoduna sahip istasyon sayısı

araştırılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda en fazla istasyonun bulunduğu ortak ölçüm periyodunun 1996-2001 dönemi olduğu ve bu dönemde 24 adet AGİ'nin aktif olarak ölçüm aldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak 1996-2001 döneminde aktif olan istasyonlar Tablo 3.3'te verilmiş olup yerleşim olarak Ergene havzası sınırları içinde kalan 15 adet istasyon ilgili tabloda "\*" ile işaretlenmiştir. Tablo 3.3'te "\*" ile işaretlenen istasyonların havza üzerindeki dağılımı ise drenaj alanları ile birlikte Şekil 3.6'da verilmiştir.

**Tablo 3.3:** 1996-2001 döneminde ortak ölçüm periyoduna sahip AGİ'ler (Ergene havzası sınırları içinde kalan istasyonlar "\*" ile işaretlenmiştir.)

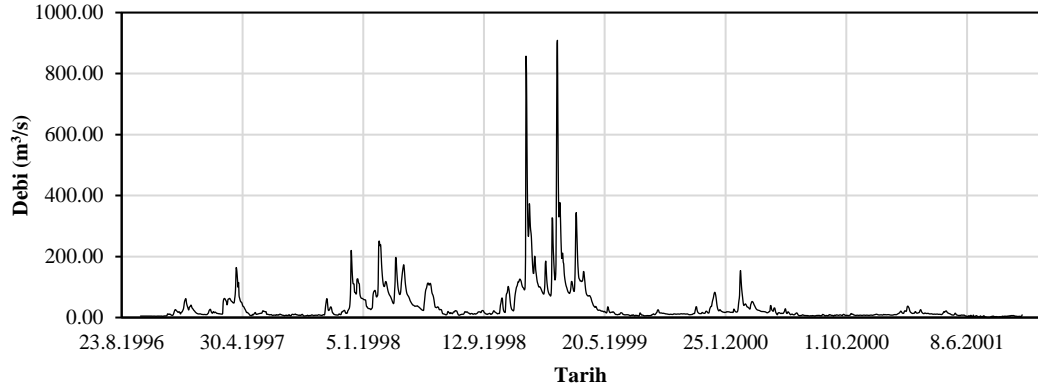
| İstasyon No | İstasyon Adı                   | Enlem (K) | Boylam (D) | Drenaj Alanı (km <sup>2</sup> ) |
|-------------|--------------------------------|-----------|------------|---------------------------------|
| 101 *       | Şeytan Deresi-Babaeski         | 41.428    | 27.100     | 478.40                          |
| 103         | Meriç Nehri-Kirişhane          | 41.647    | 26.572     | 34990.00                        |
| 106 *       | Hayrabolu Deresi-Hayrabolu     | 41.210    | 27.118     | 1381.20                         |
| 108 *       | Ergene N.-Ddy Kop.Lüleburgaz   | 41.351    | 27.352     | 2794.00                         |
| 110 *       | Uzun Dere-Yörgüç               | 41.037    | 27.053     | 129.80                          |
| 111 *       | Anaçay-Misinli                 | 41.306    | 27.608     | 379.20                          |
| 112 *       | Ergene Nehri-Yenicegörüce      | 41.128    | 26.520     | 10508.00                        |
| E113        | Tunca N.-Suakacağı             | 41.843    | 26.584     | 7929.10                         |
| 113 *       | Hayrabolu Deresi-İnecik        | 40.933    | 27.283     | 92.18                           |
| 120 *       | Ergene Nehri-İnanlı            | 41.202    | 27.477     | 1415.00                         |
| 126         | Meriç N.-İpsala Gümrük Köprüsü | 40.940    | 26.319     | 50030.00                        |
| 131 *       | Sogucak Deresi-Soğucak         | 41.635    | 27.654     | 71.30                           |
| 139 *       | Poyralı Deresi-Poyralı         | 41.629    | 27.597     | 86.40                           |
| 146         | Hamzadere-Kocahıdır            | 40.800    | 26.400     | 69.60                           |
| 152 *       | Manıka Dere-K.Yoncalı          | 41.400    | 27.967     | 118.30                          |
| 155         | Pravadi Deresi-Hasanağa        | 41.717    | 26.617     | 198.03                          |
| 157         | Meriç Nehri-Ferre Kupuru       | 40.864    | 26.239     | 50140.00                        |
| 158         | Çömlekdere-Çömlekköy           | 41.844    | 26.609     | 70.13                           |
| 162         | Fişine Dere-B.İsmailce         | 41.808    | 26.519     | 136.00                          |
| 163 *       | Ayvacic Deresi-Ayvacic         | 41.497    | 27.944     | 25.80                           |
| 164         | Çakmaktara-Çakmakköy           | 41.372    | 26.675     | 85.00                           |
| 165 *       | Çayırdere-Çayırdereköy         | 41.708    | 27.531     | 50.50                           |
| 166 *       | Gazimehmet Deresi-Gazimehmet   | 41.203    | 26.913     | 13.67                           |
| 167 *       | Kocca Deresi-K.Yoncalı         | 41.417    | 27.983     | 19.60                           |



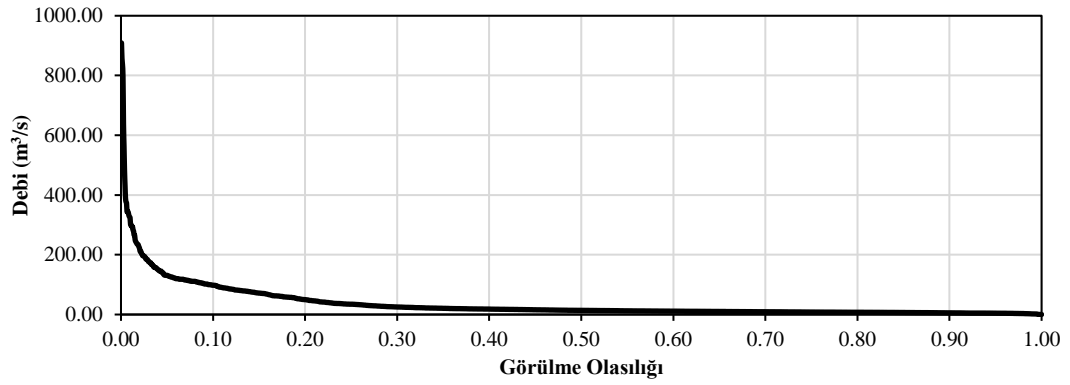
**Şekil 3.6:** 1996-2001 döneminde ortak ölçüm yapmış AGİ'lerin havza üzerindeki yerleşimi

Havzanın çıkış noktası olarak kabul edilen 112 nolu Yenicegözüce AGİ'de 1996-2001 su yıllarında gözlenen akışın zamanla değişimi Şekil 3.7'de verilmiştir. Şekil 3.7'de görüleceği üzere, ilgili istasyonda gözlenen en büyük ve en küçük debi değerleri sırasıyla  $909 \text{ m}^3/\text{s}$  ve  $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. 1996-2001 su yıllarında 112 nolu Yenicegözüce AGİ'de gözlenen akımlara ait debi – süreklilik eğrisi ise Şekil 3.8'de verilmiştir. 1996-2001 su yıllarını kapsayan periyot için zamanın %20 ve %50'sinde var olan debiler sırasıyla  $49.80 \text{ m}^3/\text{s}$  ve  $14.00 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak gözlenmiştir. Ergene havzası içindeki diğer istasyonlara ait debi-zaman grafikleri Ek A'da verilmiş olup mevcut istasyonların tümü için 1996-2001 su yıllarında gözlenen akımların istatistiksel özeti Tablo 3.4'te verilmiştir.





**Şekil 3.7:** 112 nolu Yenicegörmüce AGİ'ye ait debi – zaman grafiği



**Şekil 3.8:** 112 nolu Yenicegörmüce AGİ'ye ait debi – süreklilik eğrisi

**Tablo 3.4:** 1996-2001 su yıllarında gözlenen akımların istatistiksel özeti

| İstasyon No | Maksimum Debi<br>(m <sup>3</sup> /s) | Minimum Debi<br>(m <sup>3</sup> /s) | Ortalama Debi<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|-------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 101         | 64.00                                | 0.02                                | 2.49                                 |
| 106         | 127.00                               | 0.13                                | 6.26                                 |
| 108         | 800.00                               | 2.17                                | 11.84                                |
| 110         | 21.30                                | 0.00                                | 0.49                                 |
| 111         | 39.90                                | 0.01                                | 1.67                                 |
| 112         | 909.00                               | 0.18                                | 36.72                                |
| 113         | 15.00                                | 0.00                                | 0.55                                 |
| 120         | 280.00                               | 0.89                                | 7.59                                 |
| 131         | 7.80                                 | 0.00                                | 0.43                                 |
| 139         | 13.60                                | 0.00                                | 0.46                                 |
| 152         | 82.00                                | 0.00                                | 1.24                                 |
| 163         | 7.66                                 | 0.00                                | 0.33                                 |
| 165         | 12.50                                | 0.00                                | 0.44                                 |
| 166         | 3.25                                 | 0.00                                | 0.11                                 |
| 167         | 46.10                                | 0.00                                | 0.62                                 |

Tablo 3.4'te verilen bilgiler incelendiğinde özellikle 108 nolu AGİ'de gözlenen akım değerlerinin istasyonun memba bölgesinde bulunan istasyonlara göre

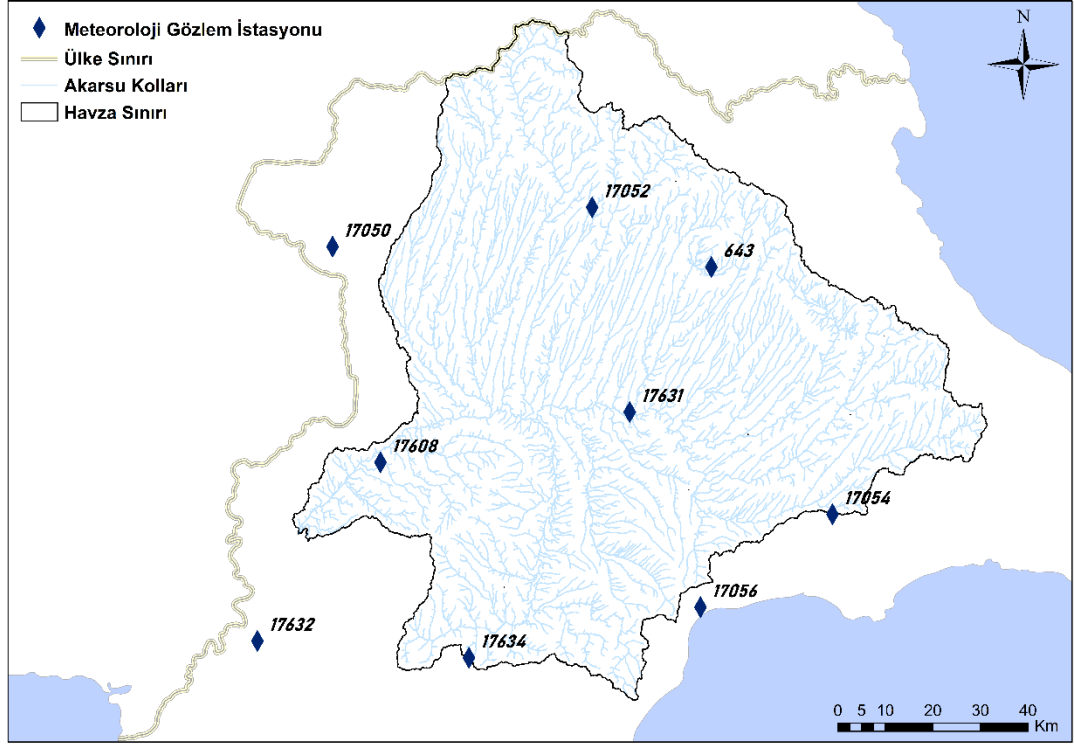
(bkz. Şekil 3.6) oldukça yüksek olduğu dikkat çekmektedir. 108 nolu istasyonda gözlenen bu yüksek akım değerlerinin, istasyonun su toplama alanı içindeki sanayileşmenin yüksek olmasına bağlı olarak fazla atık su deşarjından kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 3.2.2 Meteoroloji Gözlem İstasyonları

Ergene Havzası içinde ve yakın çevresinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen 18 adet meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) bulunmaktadır. Bu istasyonlarda ölçülen parametreler ve her bir parametreye ait ölçüm periyotları Tablo 3.5'te verilmiştir. Tablo 3.5 incelendiğinde 1996-2001 su yıllarında kesintisiz olarak ölçüm yapan 9 adet MGİ bulunduğu görülmektedir. Bu MGİ'ler Tablo 3.5'te “\*” ile işaretlenmiş ve havza üzerindeki genel yerleşimi Şekil 3.9'da verilmiştir.

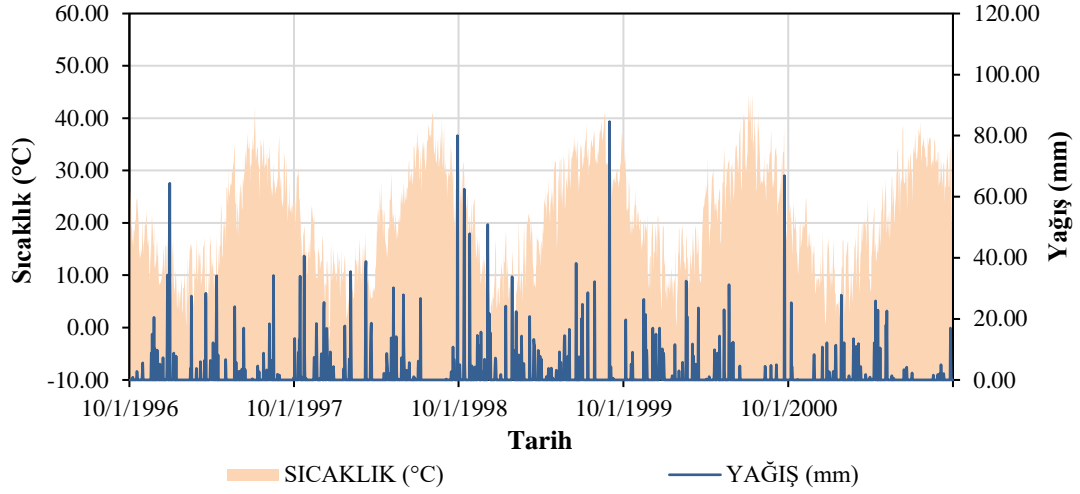
**Tablo 3.5:** Ergene Havzası içinde ve yakın çevresindeki MGİ'ler, ölçülen parametreler ve ölçüm periyotları

| İstasyon No | İstasyon Adı     | Enlem (K) | Boylam (D) | Toplam Yağış (mm) | Maksimum Sıcaklık (°C)                      | Ortalama Nem (%)                            | Maksimum Rüzgâr Hızı (m/s)           |
|-------------|------------------|-----------|------------|-------------------|---|---|--------------------------------------|
| 17634 *     | Malkara          | 40.89     | 26.91      | 1980 - 2011       | 1980 - 2016                                 | 1980 - 2016                                 | 1980 - 2016                          |
| 17632 *     | İpsala           | 40.92     | 26.38      | 1963 - 2011       | 1964 - 1975,<br>1977 - 2016                 | 1964 - 1975,<br>1977 - 2016                 | 1964 - 1975,<br>1977 - 2016          |
| 17631 *     | Lüleburgaz Tigem | 41.35     | 27.31      | 1960 - 2010       | 1960 - 2016                                 | 1960 - 2016                                 | 1960 - 2016                          |
| 17608 *     | Uzunköprü        | 41.26     | 26.66      | 1962 - 2011       | 1962 - 2016                                 | 1965 - 2016                                 | 1962 - 2016                          |
| 17056 *     | Tekirdağ         | 40.96     | 27.50      | 1960 - 2016       | 1960 - 2016                                 | 1960 - 2006,<br>2008 - 2016                 | 1960 - 2016                          |
| 17054 *     | Çorlu            | 41.16     | 27.82      | 1960 - 2011       | 1960 - 2016                                 | 1960 - 2016                                 | 1960 - 2016                          |
| 17052 *     | Kırklareli       | 41.74     | 27.22      | 1960 - 2016       | 1960 - 2016                                 | 1963 - 2016                                 | 1960 - 2016                          |
| 17050 *     | Edirne           | 41.66     | 26.56      | 1960 - 2016       | 1960 - 2016                                 | 1960 - 2016                                 | 1960 - 2006,<br>2008 - 2016          |
| 1048        | Muratlı          | 41.17     | 27.50      | 1965 - 1991       | 1965 - 1977,<br>1980 - 1982,<br>1986 - 1990 | 1965 - 1977,<br>1980 - 1982,<br>1986 - 1990 | 1965 - 1977,<br>1980 - 1990          |
| 943         | Çerkezköy KK     | 41.26     | 27.92      | 1984 - 1997       | 1984 - 1995                                 | 1988 - 1995                                 | 1984 - 1995                          |
| 934         | Hayrabolu        | 41.21     | 27.11      | 1965 - 1989       | 1966 - 1979,<br>1982 - 1984,<br>1989        | 1966 - 1984                                 | 1966 - 1984,<br>1986,<br>1988 - 1989 |
| 766         | Saray            | 41.44     | 27.92      | 1977 - 1982       | 1977 - 1981                                 | 1977 - 1981                                 | 1977 - 1981                          |
| 758         | Babaeski         | 41.44     | 27.06      | 1970 - 1983       | 1970 - 1983                                 | 1970 - 1983                                 | 1970 - 1983                          |
| 690         | Havsa            | 41.53     | 26.85      | 1984 - 1986       | 1984 - 1986                                 | 1984 - 1986                                 | 1984 - 1986                          |
| 648         | Kıyıköy-Midyе    | 41.64     | 28.09      | 1985 - 1997       | 1985 - 1987,<br>1989 - 1995                 | 1987 - 1995                                 | 1985,<br>1987 - 1995                 |
| 643 *       | Pınarhisar       | 41.62     | 27.52      | 1965 - 2005       | 1966 - 1979,<br>1981 - 2004                 | 1966 - 1979,<br>1981 - 2004                 | 1966 - 1979,<br>1981 - 2004          |
| 547         | Lalapaşa         | 41.83     | 26.74      | 1987 - 1992       | 1988 - 1992                                 | 1988 - 1992                                 | 1988 - 1992                          |
| 515         | Kofçaz           | 41.94     | 27.15      | 1986 - 1990       | 1986 - 1990                                 | 1986 - 1990                                 | 1986 - 1990                          |

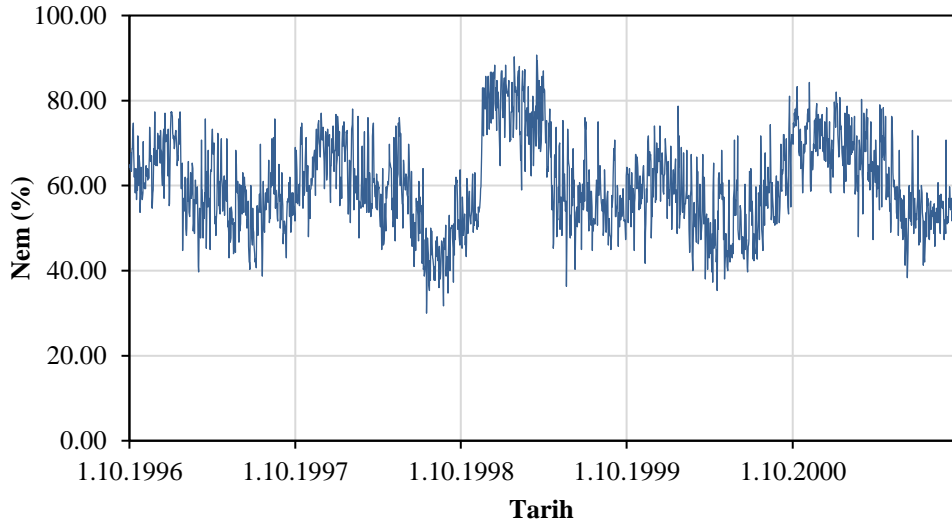


**Şekil 3.9:** 1996-2001 su yıllarında kesintisiz olarak ölçüm yapılan MGİ'lerin havza üzerindeki yerleşimi

Şekil 3.9'da verilen istasyonlardan havzanın orta bölümünde yer alan 17631 nolu istasyonda gözlenen yağış, sıcaklık ve nem verilerinin zamanla değişimi Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de verilmiştir. Diğer istasyonlar için çizilen grafikler ise Ek B'de sunulmuştur. Şekil 3.10'da görüleceği üzere yıl içerisindeki en yüksek yağışlar Eylül-Aralık dönemlerinde, en yüksek sıcaklıklar ise Temmuz-Ağustos dönemlerinde gözlenmektedir. 2000 yılından sonraki zaman dilimi için ise yağış miktarında diğer yıllara göre bir azalma gözlenmiştir. İstasyonda 1996-2001 su yılları içerisinde en yüksek nem değeri %90.7 ile 16.03.1999 tarihinde kaydedilmiştir (Şekil 3.11). Bu tarihteki yağış değeri 13.30 mm, sıcaklık değeri ise 7.70 °C olarak gözlemlenmiştir. Her bir istasyonda ölçülen parametrelerin istatistiksel değerlendirmesi ise Tablo 3.6'da verilmiştir. İstasyonların geneline bakıldığında 1996-2001 su yılları için havzaya düşen ortalama yağış 1.70 mm, ortalama sıcaklık 20 °C ve ortalama nem %70 mertebesindedir.



Şekil 3.10: 17631 nolu MGİ için yağış ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 3.11: 17631 nolu MGİ için nem değerlerinin zamanla değişimi

Tablo 3.6: 1996-2001 su yılları için her bir MGİ'de ölçülen parametrelerin istatistiksel özeti

| İstasyon No | Maksimum Yağış (mm) | Ortalama Yağış (mm) | Maksimum Sıcaklık (°C) | Ortalama Sıcaklık (°C) | Maksimum Nem (%) | Ortalama Nem (%) |
|-------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------|------------------|
| 17634       | 80.30               | 2.19                | 39.70                  | 18.84                  | 95.30            | 71.68            |
| 17632       | 85.60               | 1.77                | 42.40                  | 20.09                  | 96.30            | 72.99            |
| 17631       | 84.60               | 1.77                | 44.40                  | 20.86                  | 90.70            | 60.30            |
| 17608       | 73.90               | 1.68                | 42.00                  | 20.04                  | 99.70            | 71.98            |
| 17056       | 140.10              | 1.78                | 38.40                  | 18.33                  | 98.30            | 77.96            |
| 17054       | 100.50              | 1.64                | 40.00                  | 18.48                  | 96.00            | 80.74            |
| 17052       | 64.60               | 1.48                | 42.50                  | 19.31                  | 94.30            | 69.98            |
| 17050       | 91.50               | 1.72                | 42.20                  | 20.13                  | 97.30            | 68.78            |
| 643         | 68.00               | 1.38                | 41.20                  | 18.71                  | 101.30           | 67.08            |

## **4. MODEL GELİŞTİRİLMESİ**

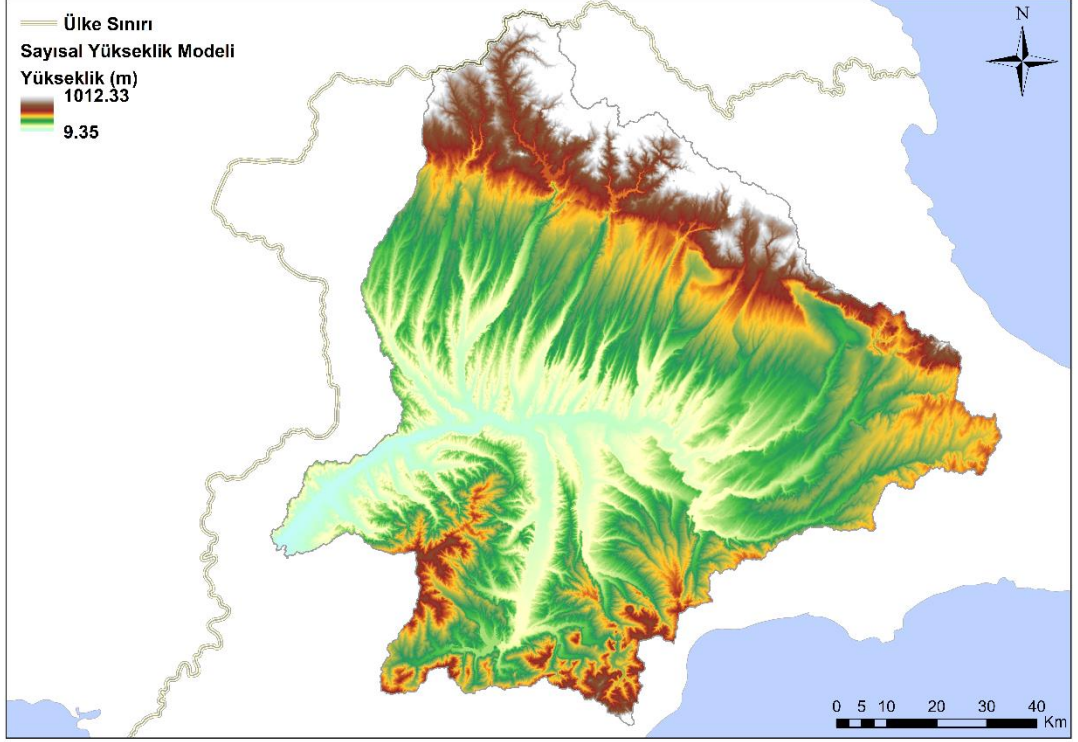
### **4.1 HEC-HMS ile Hidrolojik Model Kurulumu**

HEC-HMS ile hidrolojik modelin kurulması aşamasında ilk olarak sayısal yükseklik modeli, arazi kullanım bilgisi ve hidrolojik toprak gruplarına ait veriler elde edilmiştir. Ardından Ergene havzası alt havzalara bölünmüş ve her bir alt havzaya ait morfolojik parametreler, eğri numaraları, gecikme süreleri ve havza içerisindeki MGİ'lerin ağırlık faktörleri belirlenmiştir. Modelin kurulabilmesi için gerekli tüm parametreler elde edildikten sonra 1996-2001 dönemi, düşük, orta ve yüksek akım dönemi olmak üzere üç senaryo olarak değerlendirilmiş ve kalibrasyon işlemi bu senaryolar kapsamında gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyonun tamamlanmasının ardından HEC-RAS ile kurulan hidrolik model için gerekli akış hidrografları elde edilmiştir.

Bu bölümde, yukarıda bahsedilen ve modelin kurulması için gerekli sayısal yükseklik modeli, arazi kullanım bilgisi ve hidrolojik toprak grupları değerlendirilmiş, havza parametrelerinin hesaplanmasıyla ilgili bilgiler verilmiş, kalibrasyon senaryolarından detaylı olarak bahsedilmiş ve hidrolik model için akış hidrografları elde edilmiştir.

#### **4.1.1 Sayısal Yükseklik Modeli**

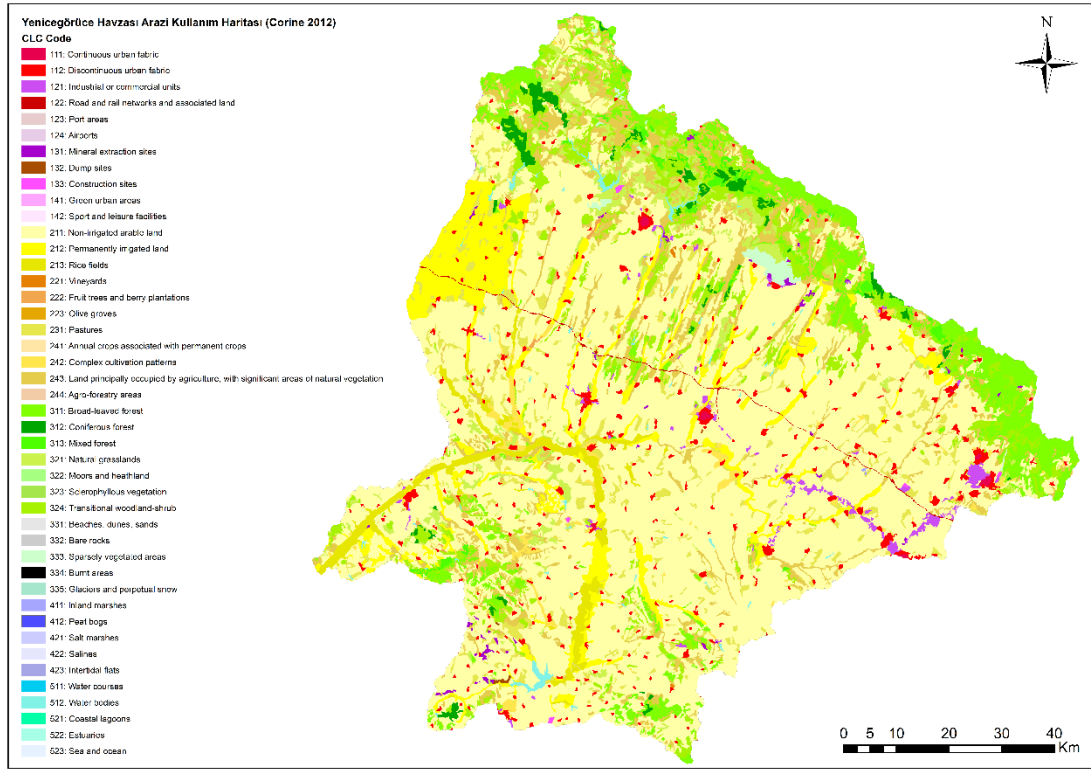
Sayısal yükseklik modeli (SYM) olarak Avrupa Çevre Ajansı'ndan 25 m çözünürlüklü EU-DEM temin edilmiştir. Coğrafi koordinat olarak WGS-84 elipsoidi kullanılmış, projeksiyonu UTM-35N seçilmiştir. İlgili sayısal yükseklik modeli Ergene Havzası ile sınırlandırılmış ve Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere Ergene Havzası'nda sık aralıklarla yükselti değişimi görülmemekte ve en yüksek kotlar havzanın kuzeyinde ve güneyinde yoğunlaşmaktadır.



**Şekil 4.1:** 25 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli

#### **4.1.2 Arazi Kullanım Bilgisi**

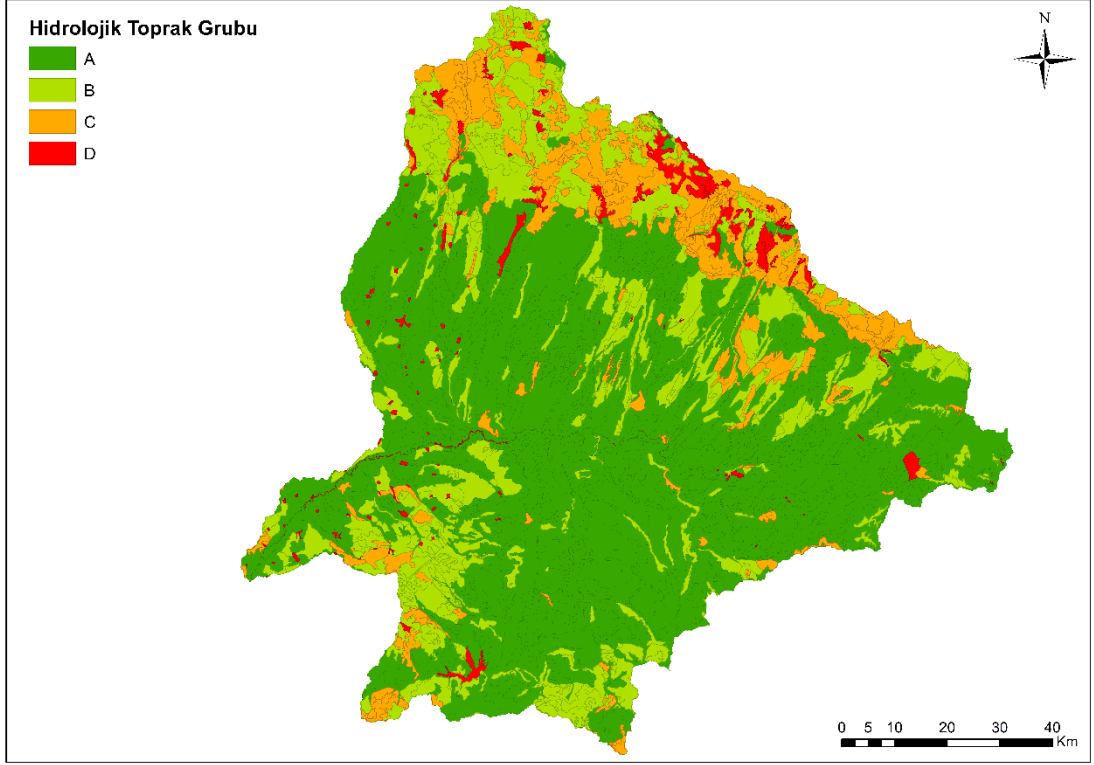
Arazi kullanım verileri Corine (2012) uydu görüntüsünden temin edilmiştir. Corine (2012) verilerinde her bir arazi kullanım bölgesi farklı bir renk kodu ile temsil edilmekte ve ilgili bölgelere, bu kodlara ait renkler atanarak arazi kullanım haritası elde edilebilmektedir. Ergene havzası için elde edilmiş arazi kullanım haritası ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2’de görüleceği üzere Ergene havzasının büyük bir bölümü sulama gerektirmeyen tarım arazilerinden oluşmakta, yüksek kotlarda ise geniş yapraklı orman alanları bulunmaktadır. Havzanın geri kalan kısmında belirgin olarak sürekli sulama gerektiren tarım arazileri bulunduğu görülmekte ve havza geneline göre küçük yüzdelere sahip kentsel alanlar ve pirinç tarlalarının yer aldığı sonucuna ulaşılmaktadır.



**Şekil 4.2:** Arazi kullanım haritası (Corine, 2012)

### 4.1.3 Hidrolojik Toprak Grubu

Hidrolojik toprak grupları yüksek sızma potansiyelinden düşük sızma potansiyeline doğru sırasıyla A, B, C ve D olarak gruplandırılmaktadır. Modelleme çalışması kapsamında hidrolojik toprak grupları için Tarım Reformu Genel Müdürlüğü'nden temin edilen ve Şekil 4.3'te verilen 1/25,000 ölçekli toprak grubu haritası kullanılmıştır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, tarım alanının fazla olduğu bölgelerin yüksek sızma potansiyeline sahip A grubu toprak çeşidine ait olduğudur. Şekil 4.2'teki arazi kullanım haritasında gösterilen tarım alanları, toprak grubu haritasında A grubu toprak çeşidinin bulunduğu alanlarla eşleşmektedir. Havzanın yüksek kotlarında ise sızma potansiyeli yüksek olmayan dağlık araziler bulunmaktadır. Bu nedenle bu araziler C grubu ve nispeten daha düşük sızma potansiyeline sahip D grubu toprak kategorisine girmektedir. Kentsel alanlar da sızma potansiyeli düşük alanlardır. Bu nedenle Şekil 4.3'teki toprak grubu haritasında kentsel alanlar C ve D toprak grubu ile temsil edilmiştir.



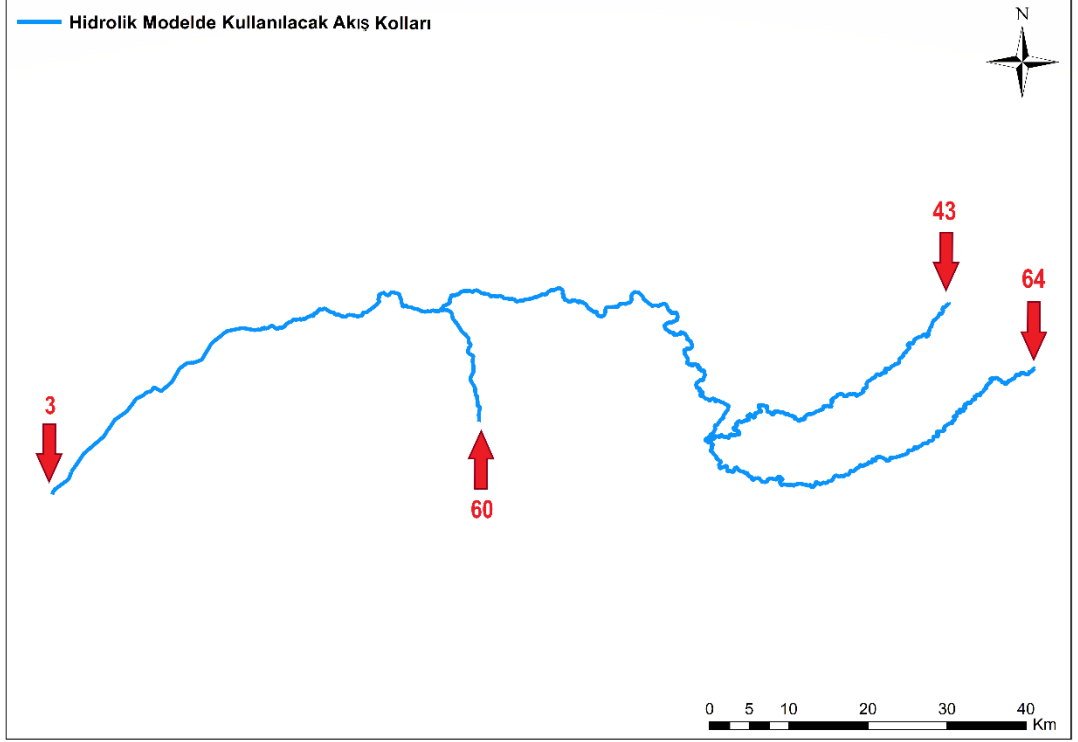
**Şekil 4.3:** Hidrolojik toprak grupları

#### 4.1.4 Alt Havzaların Belirlenmesi

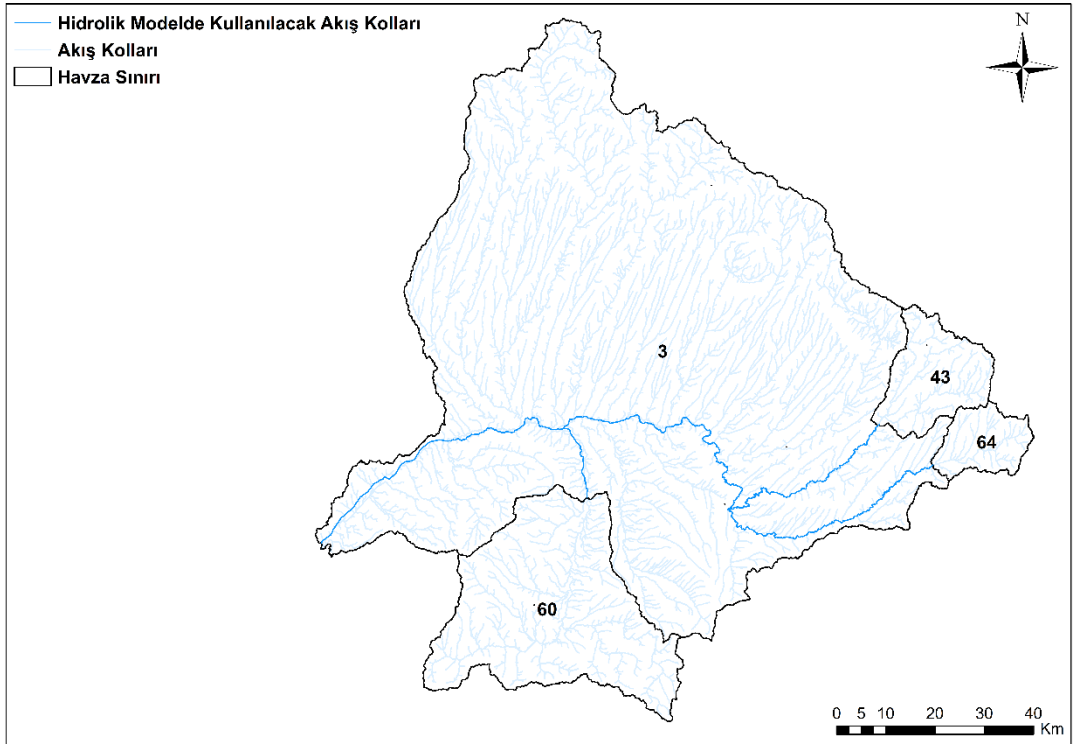
Alt havzaların belirlenmesi aşamasında ilk olarak hidrolik modelde kullanılacak akış kolları belirlenmiştir. Belirlenen akış kolları Şekil 4.4'te verilmiş ve hidrolik modelin kurulması aşamasında veri girilmesi gereken noktalar işaretlenmiştir.

İşaretlenen 4 adet noktadan yalnızca 2 noktada (3 ve 60) akım gözlem istasyonu bulunması dolayısıyla (3 noktasında 112 nolu AGİ, 60 noktasında 106 nolu AGİ bulunmaktadır.) veri girişinin mümkün olduğu belirlenmiştir. Diğer iki nokta için ise akış hidrografının üretilmesi gerekmektedir. Bu sebeple 43 ve 64 noktaları için alt havza tanımlanmasına karar verilmiş ve veri girilmesi gereken noktalara ait alt havzalar Şekil 4.5'de verilmiştir.



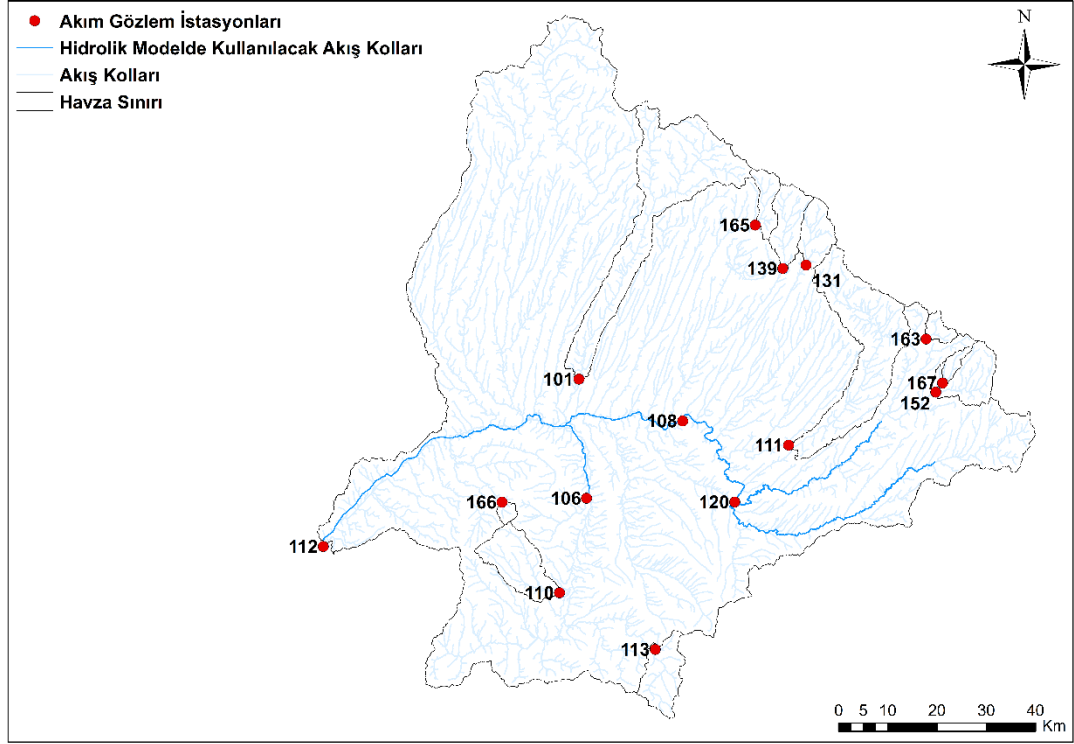


Şekil 4.4: Ergene havzası modellenecek akış kolları



Şekil 4.5: Veri girişi yapılacak noktalara ait alt havzalar

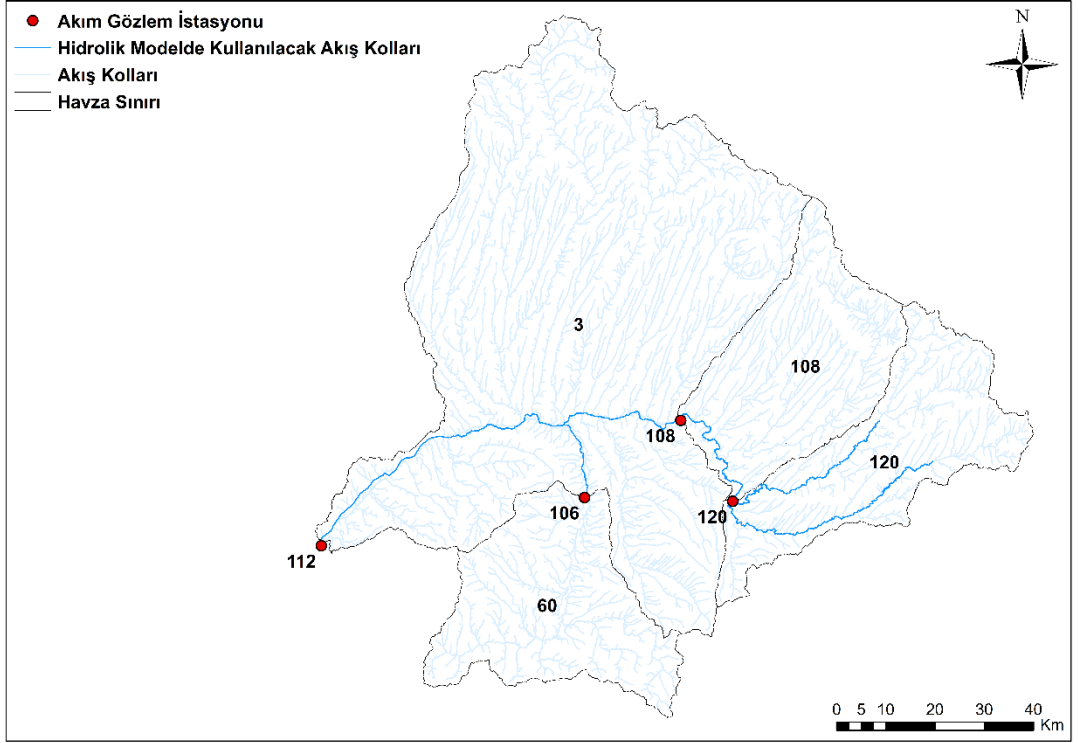
İkinci olarak drenaj alanı 1000 km<sup>2</sup> den küçük olan akım gözlem istasyonları kalibrasyon işleminde kontrol noktası olarak değerlendirilmemiş ve kaynak olarak girilmesine karar verilmiştir. Bu sebeple kaynak olarak değerlendirilen akım gözlem istasyonları alt havza olarak seçilmiş ve bu istasyonlara ait drenaj alanları Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



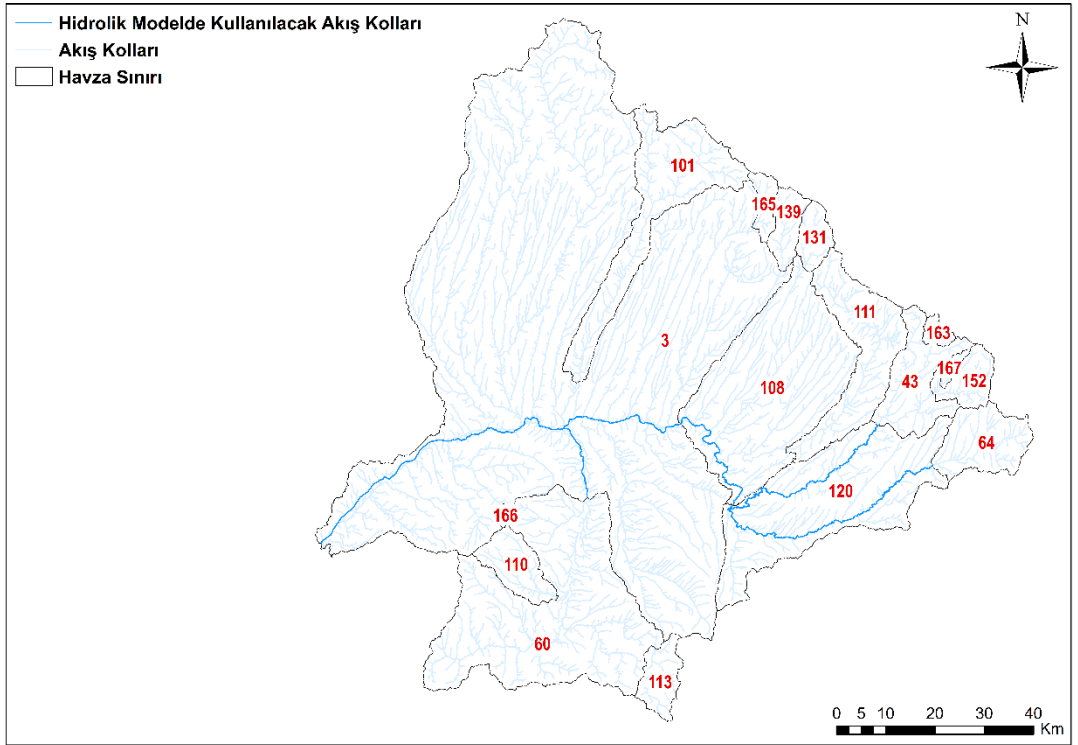
**Şekil 4.6:** Kaynak noktalarının drenaj alanları

Son olarak Ergene havzasının çıkış noktası olan 112 nolu akım gözlem istasyonu haricinde drenaj alanı 1000 km<sup>2</sup> den büyük olan 120, 108 ve 106 nolu akım gözlem istasyonları kalibrasyon işleminde kontrol noktası olarak düşünülmüş ve alt havza olarak seçilmiştir (Şekil 4.7).

Sonuç olarak, 43 ve 64 noktaları için 2 alt havza, kaynak olarak değerlendirilen 11 alt havza ve kontrol noktası olarak seçilen 3 alt havza olmak üzere toplamda 16 adet alt havza oluşturulmuş ve tüm alt havzalar Şekil 4.8'de verilmiştir. Alt havzaların tamamının belirlenmesinin ardından her bir alt havzaya ait parametreler hesaplanmıştır.



Şekil 4.7: 120, 108 ve 106 nolu akım gözlem istasyonları drenaj alanları



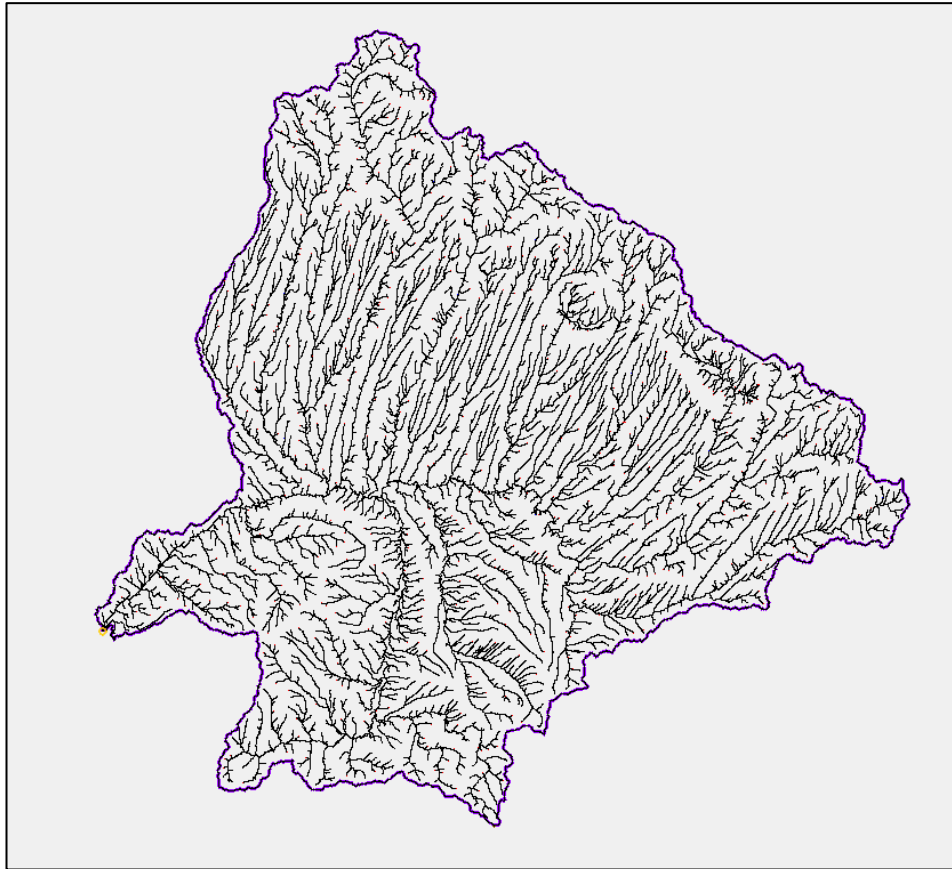
Şekil 4.8: Ergene havzası ve 16 alt havzası

#### 4.1.5 Havza Parametrelerinin Belirlenmesi

Havza parametreleri havza modellemesi amacıyla Aquaveo firması tarafından geliştirilen ve bünyesinde birçok hesaplama aracı bulunduran CBS tabanlı bir paket program olan Watershed Modeling System (WMS) ile belirlenmiştir (Aquaveo, 2017). WMS kullanılarak pek çok farklı hidrolojik, hidrodinamik ve su kalitesi modeline ait girdi dosyaları oluşturulabilmekte ve bu modellere ait sonuçlar detaylı olarak WMS ortamında değerlendirilebilmektedir.

##### 4.1.5.1 Havza Morfometrik Parametrelerinin Belirlenmesi

Morfometrik parametrelerin belirlenmesi aşamasında ilk olarak WMS ile Ergene Havzası sınırları ve akış kolları hesaplanmıştır (Şekil 4.9). Bu aşamanın ardından ilgili parametreler hesaplanmıştır. Belirlenen parametre değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.9: WMS ile belirlenen ergene havzası sınırları ve akış kolları

**Tablo 4.1:** Ergene havzası morfometrik parametreleri

| MORFOMETRİK PARAMETRE               | DEĞER  |
|-------------------------------------|--------|
| Havza alanı, A (km <sup>2</sup> )   | 10,508 |
| Maksimum akış kolu uzunluğu, L (km) | 231.59 |
| Havza Biçim Faktörü                 | 2.06   |
| Havza çevresi, P (km)               | 809.59 |
| Maksimum akış kolu eğimi, S (-)     | 0.0008 |
| Ortalama havza eğimi, S (-)         | 0.0524 |
| Ortalama havza yüksekliği, h (m)    | 173.91 |

Tablo 4.1’de verilen sonuçlar değerlendirilerek Ergene Havzası’nın bütünü hakkında genel bir bilgi elde edilebilmektedir. Ancak hidrolojik model, alt havzalar dikkate alınarak kurulacağından tüm alt havzalara ait morfometrik parametrelerin ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda Şekil 4.8’de verilen alt havzalara ait parametreler WMS ortamında hesaplanmış ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

**Tablo 4.2:** Ergene havzası alt havzaları morfometrik parametreleri

| Havza Adı | Havza alanı A (km <sup>2</sup> ) | Maksimum akış kolu uzunluğu L (km) | Havza Biçim Faktörü | Havza çevresi P (km) | Maksimum akış kolu eğimi S (-) | Ortalama havza eğimi S (-) | Ortalama havza yüksekliği h (m) |
|-----------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 3         | 5588.59                          | 178.76                             | 2.55                | 776.04               | 0.0032                         | 0.0509                     | 162.73                          |
| 60        | 1153.16                          | 73.76                              | 2.23                | 291.73               | 0.0025                         | 0.0604                     | 151.67                          |
| 110       | 135.48                           | 23.23                              | 2.79                | 76.45                | 0.0064                         | 0.0673                     | 165.75                          |
| 166       | 13.99                            | 3.83                               | 1.53                | 19.84                | 0.0153                         | 0.1039                     | 180.19                          |
| 101       | 484.74                           | 74.21                              | 7.11                | 237.81               | 0.0067                         | 0.0923                     | 309.58                          |
| 113       | 101.12                           | 20.09                              | 2.23                | 68.92                | 0.0181                         | 0.1084                     | 261.13                          |
| 108       | 922.95                           | 67.20                              | 1.91                | 209.18               | 0.0027                         | 0.0274                     | 132.24                          |
| 120       | 806.78                           | 69.25                              | 2.89                | 238.00               | 0.0020                         | 0.0379                     | 143.62                          |
| 165       | 50.41                            | 12.47                              | 2.61                | 52.26                | 0.0224                         | 0.1542                     | 471.03                          |
| 139       | 87.04                            | 18.56                              | 3.41                | 60.77                | 0.0217                         | 0.1103                     | 443.13                          |
| 111       | 385.90                           | 64.89                              | 4.58                | 182.26               | 0.0052                         | 0.0430                     | 186.51                          |
| 131       | 73.61                            | 14.61                              | 2.68                | 49.09                | 0.0205                         | 0.0996                     | 439.11                          |
| 43        | 240.83                           | 33.11                              | 2.79                | 142.79               | 0.0049                         | 0.0443                     | 183.15                          |
| 163       | 25.98                            | 6.39                               | 1.59                | 33.04                | 0.0093                         | 0.0584                     | 240.21                          |
| 152       | 99.53                            | 22.84                              | 2.08                | 77.30                | 0.0082                         | 0.0592                     | 222.82                          |
| 64        | 212.41                           | 26.88                              | 2.22                | 97.33                | 0.0023                         | 0.0402                     | 197.54                          |
| 167       | 19.52                            | 8.86                               | 4.68                | 31.51                | 0.0147                         | 0.0585                     | 228.30                          |

#### 4.1.5.2 Eğri Numarası (CN) ve Gecikme Süresinin Belirlenmesi

Ağırlıklı eğri numarasının (CN) belirlenmesi aşamasında arazi kullanım haritası ve hidrolojik toprak grubu haritası WMS ortamında eşleştirilmiş ve hangi arazi kullanım bölgesinin hangi toprak türüne karşılık geldiği belirlenmiştir. CN değerinin hesaplanması ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 2.1.1.2’de verilmiştir. Arazi kullanım haritasında gösterilen her bir arazi kullanım bölgesi için A, B, C ve D hidrolojik toprak gruplarına karşılık gelen CN değerleri Tablo 4.3’te verilmiştir. Ağırlıklı CN değeri hesaplanırken arazi kullanım bölgesine karşılık gelen hidrolojik toprak grubunun sahip olduğu CN değeri ve o arazi kullanım bölgesinin alanı ile işlem yapılmaktadır.

**Tablo 4.3:** Corine arazi kullanım bölgeleri ve hidrolojik toprak gruplarına göre eğri numaraları (Corine, 2012)

| Arazi Kullanımı<br>Renk Kodu | Açıklama                                    | Eğri Numarası (CN) |    |    |    |
|------------------------------|---|--------------------|----|----|----|
|                              |   | A                  | B  | C  | D  |
| 111                          | Sürekli kentsel alan                        | 92                 | 94 | 96 | 98 |
| 112                          | Süreksiz kentsel alan                       | 84                 | 86 | 88 | 90 |
| 121                          | Endüstriyel veya ticari birimler            | 92                 | 94 | 96 | 98 |
| 122                          | Yol ve demiryolu ağları ve ilişkili arazi   | 98                 | 98 | 98 | 98 |
| 123                          | Liman alanları                              | 98                 | 98 | 98 | 98 |
| 124                          | Havaalanları                                | 98                 | 98 | 98 | 98 |
| 131                          | Maden Sahaları                              | 75                 | 77 | 84 | 86 |
| 132                          | Atık madde depolama alanları                | 75                 | 77 | 84 | 86 |
| 133                          | İnşaat Alanları                             | 75                 | 77 | 84 | 86 |
| 141                          | Yeşil kentsel alan                          | 84                 | 86 | 88 | 90 |
| 142                          | Spor ve boş zaman tesisleri                 | 84                 | 86 | 88 | 90 |
| 211                          | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65                 | 72 | 78 | 84 |
| 212                          | Sürekli sulanan arazi                       | 65                 | 72 | 78 | 84 |
| 213                          | Pirinç tarlaları                            | 65                 | 72 | 78 | 84 |
| 221                          | Üzüm Bağları                                | 38                 | 45 | 60 | 70 |
| 222                          | Meyve ağaçları ve meyve ağaçlandırmaları    | 38                 | 45 | 60 | 70 |
| 223                          | Zeytinlik alan                              | 38                 | 45 | 60 | 70 |
| 231                          | Çayır                                       | 41                 | 47 | 65 | 76 |
| 241                          | Yıllık kalıcı tarımsal ürün                 | 65                 | 72 | 78 | 84 |
| 242                          | Karışık ekim alanları                       | 65                 | 72 | 78 | 84 |
| 243                          | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65                 | 72 | 78 | 84 |
| 244                          | Tarımsal ormancılık alanları                | 65                 | 72 | 78 | 84 |
| 311                          | Geniş yapraklı orman                        | 29                 | 38 | 54 | 61 |
| 312                          | İğne yapraklı orman                         | 25                 | 35 | 50 | 57 |
| 313                          | Karışık orman                               | 25                 | 35 | 50 | 57 |
| 321                          | Doğal çayır                                 | 37                 | 50 | 68 | 75 |
| 322                          | Fundalıklar                                 | 37                 | 50 | 68 | 75 |
| 323                          | Sklerofilik bitki örtüsü                    | 37                 | 50 | 68 | 75 |
| 324                          | Maki  | 33                 | 45 | 64 | 72 |
| 331                          | Plajlar kum tepeleri                        | 75                 | 77 | 84 | 86 |
| 332                          | Kayalık alanlar                             | 80                 | 87 | 93 | 96 |
| 333                          | Seyrek bitki örtülü alanlar                 | 75                 | 77 | 84 | 86 |

**Tablo 4.3 (devam):** Corine arazi kullanım bölgeleri ve hidrolojik toprak gruplarına göre eğri numaraları (Corine, 2012)

| Arazi Kullanımı<br>Renk Kodu | Açıklama                          | Eğri Numarası (CN) |    |    |    |
|------------------------------|-----------------------------------|--------------------|----|----|----|
|                              |                                   | A                  | B  | C  | D  |
| 335                          | Buzullar ve sürekli karlı alanlar | 95                 | 95 | 95 | 95 |
| 411                          | İç bataklıklar                    | 99                 | 99 | 99 | 99 |
| 412                          | Turba bataklıkları                | 99                 | 99 | 99 | 99 |
| 421                          | Tuzlu bataklıklar                 | 99                 | 99 | 99 | 99 |
| 422                          | Tuz madeni                        | 99                 | 99 | 99 | 99 |
| 423                          | Gelgit bölgesi                    | 99                 | 99 | 99 | 99 |
| 511                          | Akarsu                            | 99                 | 99 | 99 | 99 |
| 512                          | Su Kütleleri                      | 99                 | 99 | 99 | 99 |
| 521                          | Kıyı Lagünleri                    | 99                 | 99 | 99 | 99 |
| 522                          | Haliç                             | 99                 | 99 | 99 | 99 |
| 523                          | Deniz ve okyanus                  | 99                 | 99 | 99 | 99 |

Ergene havzası için WMS ortamında hesaplanan ağırlıklı CN değeri ayrıntılı olarak Tablo 4.4'te verilmiştir. Alt havzalar için de aynı işlem yapılmış ve tüm havzalar için elde edilen CN değerleri ile ilgili detaylı bilgi EK C'de verilmiştir.

**Tablo 4.4:** Ergene havzası ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| HTG | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A    | HTG | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A  |
|-----|---|----|-----------------------------|-----------|-----|---|----|-----------------------------|---------|
| A   | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 14.235                      | 925.263   | D   | Sürekli sulanan arazi                       | 84 | 0.448                       | 37.661  |
| A   | Sürekli sulanan arazi                       | 65 | 35.083                      | 2280.372  | B   | Maden Sahaları                              | 77 | 0.224                       | 17.261  |
| C   | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 78 | 16.477                      | 1285.168  | B   | Sürekli kentsel alan                        | 86 | 1.681                       | 144.59  |
| A   | Pirinç tarlaları                            | 65 | 10.76                       | 699.411   | A   | Yol ve demiryolu ağları ve ilişkili arazi   | 98 | 0.448                       | 43.937  |
| B   | Maki  | 45 | 12.441                      | 559.865   | D   | Su Kütleleri                                | 99 | 1.009                       | 99.868  |
| C   | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 78 | 9.415                       | 734.382   | A   | Atık madde depolama alanları                | 75 | 0.112                       | 8.406   |
| B   | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 67.139                      | 4834.008  | C   | Çayır                                       | 65 | 0.785                       | 50.999  |
| A   | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 231.007                     | 15015.485 | D   | İğne yapraklı orman                         | 57 | 0.785                       | 44.722  |
| A   | Karışık ekim alanları                       | 65 | 4.708                       | 305.992   | A   | İğne yapraklı orman                         | 25 | 0.336                       | 8.406   |
| B   | Sürekli sulanan arazi                       | 72 | 6.165                       | 443.857   | D   | Maki  | 72 | 2.578                       | 185.613 |
| A   | Çayır                                       | 41 | 17.934                      | 735.278   | A   | Geniş yapraklı orman                        | 29 | 10.312                      | 299.043 |
| A   | Maki  | 33 | 12.89                       | 425.363   | A   | Meyve ağaçları ve meyve ağaçlandırmaları    | 38 | 0.336                       | 12.778  |
| A   | Doğal çayır                                 | 37 | 3.923                       | 145.15    | B   | Su Kütleleri                                | 99 | 0.336                       | 33.289  |
| B   | Çayır                                       | 47 | 5.604                       | 263.4     | A   | Su Kütleleri                                | 99 | 0.673                       | 66.579  |
| D   | Sürekli kentsel alan                        | 90 | 1.121                       | 100.877   | D   | Doğal çayır                                 | 75 | 2.018                       | 151.315 |
| A   | Maden Sahaları                              | 75 | 0.56                        | 42.032    | D   | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 84 | 1.009                       | 84.736  |
| C   | Sürekli sulanan arazi                       | 78 | 0.897                       | 69.941    | D   | Seyrek bitki örtülü alanlar                 | 86 | 0.224                       | 19.279  |
| C   | Sürekli kentsel alan                        | 88 | 1.569                       | 138.089   | C   | Su Kütleleri                                | 99 | 0.448                       | 44.386  |

**Tablo 4.4 (devam):** Ergene havzası ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| HTG | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A  | HTG | Arazi Kullanım Bölgesi                           | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A         |
|-----|---|----|-----------------------------|---------|-----|--|----|-----------------------------|----------------|
| A   | Sürekli kentsel alan                        | 84 | 8.518                       | 715.552 | B   | Seyrek bitki örtülü alanlar                      | 77 | 0.448                       | 34.522         |
| B   | İğne yapraklı orman                         | 35 | 1.569                       | 54.922  | C   | Sürekli kentsel alan                             | 96 | 0.448                       | 43.041         |
| C   | Doğal çayır                                 | 68 | 6.837                       | 464.929 | C   | Seyrek bitki örtülü alanlar                      | 84 | 1.569                       | 131.812        |
| B   | Doğal çayır                                 | 50 | 4.932                       | 246.587 | C   | İnşaat Alanları                                  | 84 | 0.112                       | 9.415          |
| C   | Karışık orman                               | 50 | 2.354                       | 117.689 | A   | Karışık orman                                    | 25 | 0.56                        | 14.011         |
| B   | Geniş yapraklı orman                        | 38 | 11.209                      | 425.924 | C   | Endüstriyel veya ticari birimler                 | 96 | 0.56                        | 53.801         |
| D   | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 84 | 1.233                       | 103.567 | A   | İç bataklıklar                                   | 99 | 0.224                       | 22.193         |
| C   | Maki  | 64 | 12.89                       | 824.947 | B   | Endüstriyel veya ticari birimler                 | 94 | 0.224                       | 21.072         |
| B   | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 16.925                      | 1218.59 | B   | Yol ve demiryolu ağları ve ilişkili arazi        | 98 | 0.112                       | 10.984         |
| C   | Meyve ağaçları ve meyve ağaçlandırmaları    | 60 | 0.112                       | 6.725   | A   | Üzüm Bağları                                     | 38 | 0.224                       | 8.518          |
| C   | İğne yapraklı orman                         | 50 | 3.699                       | 184.94  | D   | Karışık orman                                    | 57 | 0.673                       | 38.333         |
| C   | Geniş yapraklı orman                        | 54 | 10.2                        | 550.786 | A   | Endüstriyel veya ticari birimler                 | 92 | 2.242                       | 206.237        |
| B   | Karışık ekim alanları                       | 72 | 1.457                       | 104.912 | C   | Maden Sahaları                                   | 84 | 0.112                       | 9.415          |
| B   | Pirinç tarlaları                            | 72 | 0.224                       | 16.14   | D   | Endüstriyel veya ticari birimler                 | 98 | 0.56                        | 54.922         |
| B   | Karışık orman                               | 35 | 0.673                       | 23.538  | C   | Karışık ekim alanları                            | 78 | 0.336                       | 26.228         |
| D   | Çayır                                       | 76 | 0.224                       | 17.037  | A   | İnşaat Alanları                                  | 75 | 0.112                       | 8.406          |
| D   | Pirinç tarlaları                            | 84 | 0.112                       | 9.415   | A   | Seyrek bitki örtülü alanlar                      | 75 | 0.112                       | 8.406          |
| D   | Geniş yapraklı orman                        | 61 | 2.242                       | 136.744 |     | <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |    |                             | <b>63.6813</b> |

Tüm alt havzalar için ağırlıklı CN değerinin belirlenmesinin ardından hidrolojik model kurulumu için gerekli olan her bir alt havza için gecikme süresi hesaplanmıştır. Gecikme süresi basitçe, havzanın çıkış noktasına en uzak olan noktada meydana gelen akışın, çıkış noktasına ulaşma süresi olarak tanımlanmakta ve hesaplama ile ilgili detaylar Bölüm 2.1.1.2’de verilmektedir. Bu doğrultuda Ergene Havzası’nın tüm alt havzaları için hesaplanan gecikme süreleri ve tüm alt havzalara ait ağırlıklı CN değerleri Tablo 4.5’te verilmiştir.

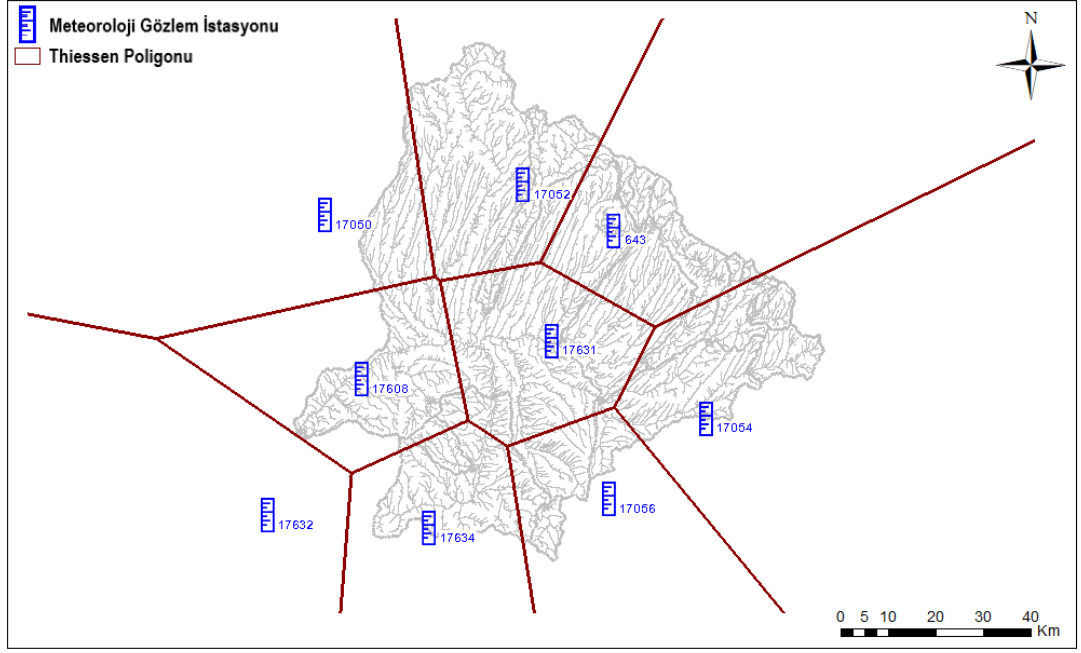


**Tablo 4.5:** Ergene havzası alt havzaları CN değerleri ve gecikme süreleri

| Havza Adı | Ağırlıklı CN Değeri | Gecikme Süresi (saat) |
|-----------|---------------------|-----------------------|
| 3         | 64.18               | 36.19                 |
| 60        | 64.68               | 16.34                 |
| 110       | 61.99               | 6.87                  |
| 166       | 65.14               | 1.46                  |
| 101       | 62.38               | 14.07                 |
| 113       | 61.40               | 4.92                  |
| 108       | 66.41               | 21.90                 |
| 120       | 66.31               | 18.89                 |
| 165       | 64.92               | 2.68                  |
| 139       | 64.66               | 4.18                  |
| 111       | 65.44               | 17.15                 |
| 131       | 65.31               | 3.69                  |
| 43        | 59.09               | 11.80                 |
| 163       | 47.64               | 4.27                  |
| 152       | 40.48               | 12.62                 |
| 64        | 47.21               | 14.50                 |
| 167       | 34.40               | 7.95                  |

#### 4.1.5.3 İstasyon Ağırlıklarının Belirlenmesi

İstasyon ağırlıkları hesaplanırken Thiessen poligonu yönteminden yararlanılmıştır. Bölüm 2.1.1.1’de bahsedildiği gibi istasyonlar düz çizgilerle birleştirilerek üçgenler oluşturulmuş, her iki istasyonun arasındaki çizginin orta noktası ile 90° açı oluşturacak şekilde çizgiler çizilerek poligonlar oluşturulmuştur. Böylece her istasyonun etki alanı poligon olarak ifade edilmiştir. Bu kapsamda ilgili ağırlıklar WMS ile hesaplanmış olup model kapsamında oluşturulan poligonlar Şekil 4.10’da verilmiştir. Bu poligonlar için hesaplanan ağırlık katsayıları ise Tablo 4.6’da verilmiştir. Tablo 4.6’da görüldüğü üzere 17632 nolu MGİ’nin, 1996-2001 su yılları içerisinde ölçüm yapmış olsa da hiçbir alt havzaya etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle hidrolojik model kurulumunda 17632 nolu MGİ’nin ölçüm verileri kullanılmamıştır.



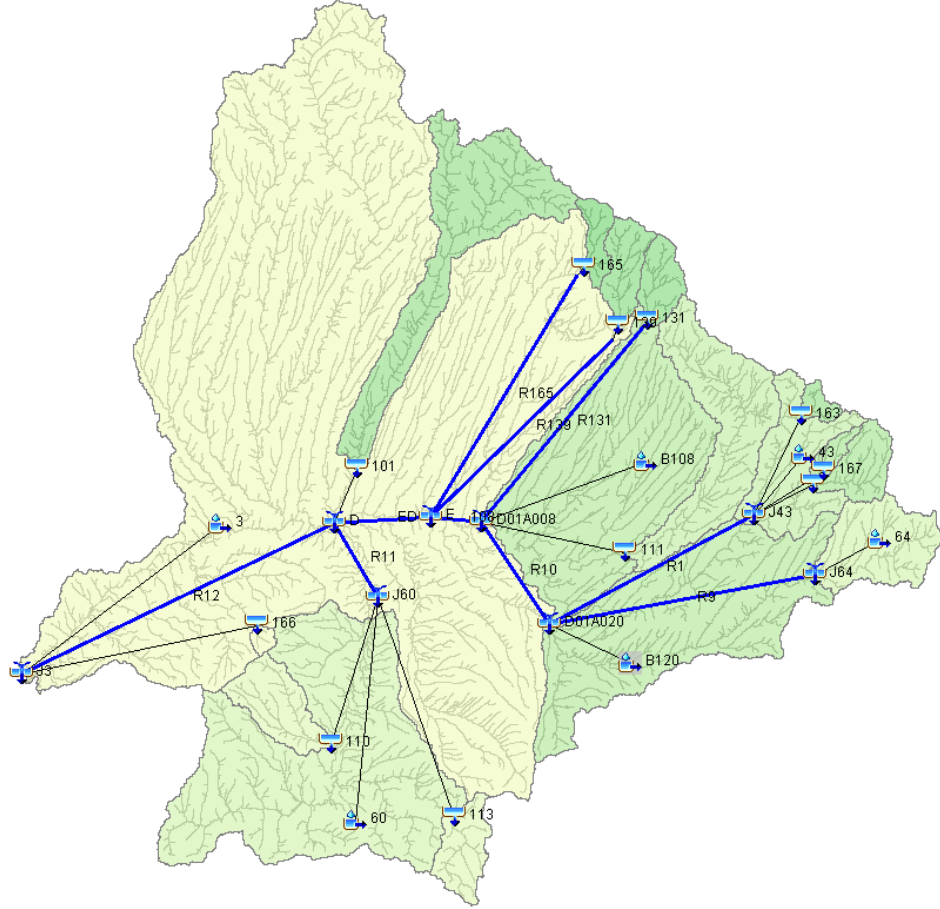
**Şekil 4.10:** Thiessen poligonları

**Tablo 4.6:** Thiessen yöntemi ile elde edilen istasyon ağırlıkları

| Havza No | İstasyon No |        |        |        |        |        |       |        |        |
|----------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
|          | 17050       | 17052  | 17054  | 17056  | 17608  | 17631  | 17632 | 17634  | 643    |
| 3        | 0.0915      | 0.3148 | -      | 0.0606 | 0.1937 | 0.2424 | -     | -      | 0.0970 |
| 60       | -           | -      | -      | 0.1166 | 0.0601 | 0.1234 | -     | 0.6999 | -      |
| 110      | -           | -      | -      | -      | 0.2867 | -      | -     | 0.7133 | -      |
| 166      | -           | -      | -      | -      | 1.00   | -      | -     | -      | -      |
| 101      | -           | 0.8319 | -      | -      | -      | 0.1102 | -     | -      | 0.0579 |
| 113      | -           | -      | -      | 1.00   | -      | -      | -     | -      | -      |
| 108      | -           | -      | 0.0667 | -      | -      | 0.4671 | -     | -      | 0.4662 |
| 120      | -           | -      | 0.7941 | 0.1752 | -      | 0.0307 | -     | -      | -      |
| 165      | -           | -      | -      | -      | -      | -      | -     | -      | 1.00   |
| 139      | -           | -      | -      | -      | -      | -      | -     | -      | 1.00   |
| 111      | -           | 0.8319 | -      | -      | -      | 0.1102 | -     | -      | 0.0579 |
| 131      | -           | -      | -      | -      | -      | -      | -     | -      | 1.0000 |
| 43       | -           | -      | 0.8446 | -      | -      | -      | -     | -      | 0.1554 |
| 163      | -           | -      | 0.2470 | -      | -      | -      | -     | -      | 0.7530 |
| 152      | -           | -      | 1.00   | -      | -      | -      | -     | -      | -      |
| 64       | -           | -      | 1.00   | -      | -      | -      | -     | -      | -      |
| 167      | -           | -      | 1.00   | -      | -      | -      | -     | -      | -      |

Hidrolojik modelin kurulabilmesi için gereken parametrelerin (drenaj alanları, ağırlıklı eğri numaraları, gecikme süreleri ve istasyon ağırlıkları) belirlenmesinin ardından model, WMS ortamından HEC-HMS ortamına aktarılmıştır. Kaynak ve kontrol noktası olarak değerlendirilen akım gözlem istasyonlarına ait akış hidrografları ve MGİ'lere ait yağış, sıcaklık, ortalama nem ve maksimum sıcaklık

verileri HEC-HMS modeline girilmiştir. Model simülasyonların yapılabilmesi için Bölüm 2.1.1’de bahsedilen doğrudan akışın belirlenmesi, yağışın akışa dönüştürülmesi, taban akışı ve evapotranspirasyonun belirlenmesi ile ilgili HEC-HMS bünyesinde bulunan yöntemler kullanılmış ve hidrolojik model kurulumu tamamlanmıştır. Kurulan hidrolojik modelin HEC-HMS üzerindeki görüntüsü Şekil 4.11’de verilmiştir.



**Şekil 4.11:** Ergene havzası HEC-HMS üzerindeki görünümü

## 4.2 HEC-RAS ile Hidrolik Model Kurulumu

HEC-RAS genel olarak kararlı-kararsız akım durumları için nehir-sel veya karışık akım rejimleri için su yüzeyi profillerinin elde edilmesi için geliştirilen bir matematiksel benzeşim modelidir. Su yüzü profillerinin belirlenmesinde kullanıcının seçimine bağlı olarak hem enerjinin hem de momentumun korunumu prensipleri kullanılabilir (Usul, 2008). Bu işlem genel olarak Bölüm 2.2.1’de de

bahsedildiği gibi Saint-Venant denklemlerinin sayısal çözümine dayanmaktadır (Chow ve diğ. 1988).

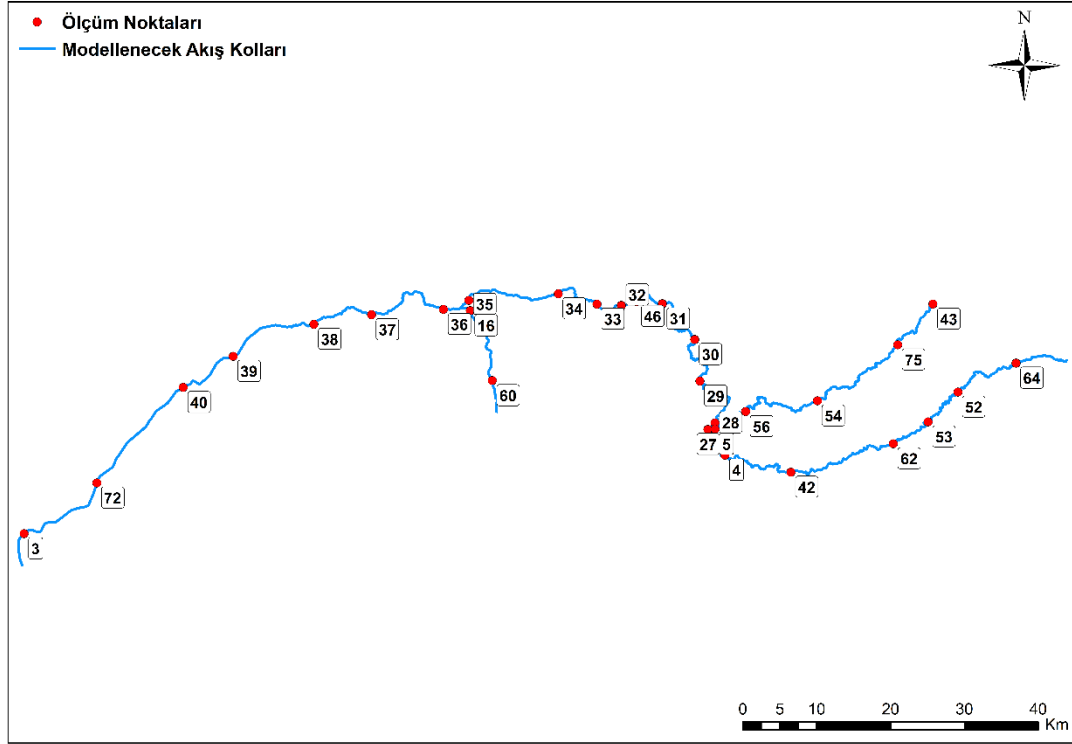
HEC-RAS ile hidrolik model kurulması aşamasında ilk olarak Ergene Havzası içerisinde modellenecek akış kolları üzerinde belirlenen noktalardan en kesit, debi, akış hızı gibi bilgileri elde etmek amacıyla bir saha çalışması yapılmıştır. Daha sonra Bölüm 4.1.1’de bahsedilen SYM kullanılarak HEC-GeoRAS aracılığı ile akış kolları sayısallaştırılmış ve simülasyonlar için uygun hale getirilmiştir. Simülasyonlar bir boyutlu kararlı akım durumu ve bir boyutlu kararsız akım durumu için yapılmıştır. Saha çalışması sonucu elde edilen veriler kullanılarak HEC-RAS modeli üzerinde kararlı akım durumu için her bir en kesit noktasındaki Manning pürüzlülük katsayıları kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işleminin ardından hidrolojik model ile elde edilen akış hidrografları kullanılarak bir boyutlu kararsız akım simülasyonları yapılmıştır.

Bu bölümde, yukarıda bahsedilen saha çalışması, HEC-GeoRAS ile akış kollarının sayısallaştırılması ve bir boyutlu kararlı ve kararsız akım simülasyonlarından detaylı olarak bahsedilmiştir.

#### **4.2.1 Saha Çalışması**

Çalışma sahası üzerinde detaylı bir değerlendirme yapılmış ve akım durumu, şehirleşme, sanayileşme, morfolojik durum vb. hususlar dikkate alınarak Şekil 4.12’de verilen 30 nokta için akım ve en kesit belirlenmesine karar verilmiştir. 115Y064 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında EKOTON Mühendislik firması ile yapılan hizmet alımı sözleşmesi çerçevesinde belirlenen noktalarda akımın belirlenmesi ve en kesit çıkarılması işleri yapılmıştır. Her bir nokta için ilk olarak ölçüm yapılan bölgenin sağ ve sol sahil koordinatları yüksek hassasiyete sahip coğrafi konumlama cihazı ile belirlenmiştir. Ardından bu iki sahil noktası arasına ip gerilerek ıslak akış kesiti akustik doppler akım profili (ADCP) çıkarıcı cihaz ile belirlenmiştir. ADCP ile ayrıca akış kesiti alt hücrelere bölünerek her bir hücrede eş zamanlı olarak hız ölçümü yapılabilmektedir. Bu ölçümlerin sonucunda enkesit alanı ve kesitsel ortalama hız belirlenmiş ve böylece akım debisi hassas bir şekilde hesaplanabilmektedir. Örnek olarak, ADCP ile 3 numaralı enkesit noktasında yapılan

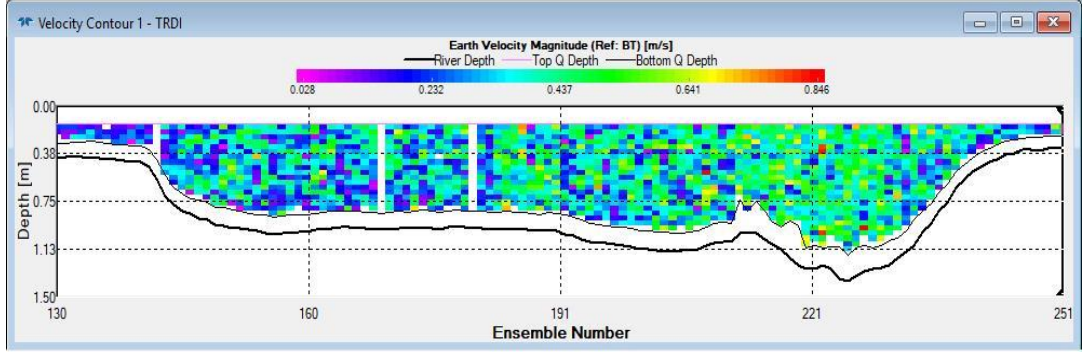
ölçüm işlemine ait fotoğraf Şekil 4.13'te, ölçüm işlemi sonucunda belirlenen akış, en kesiti ve hız profili Şekil 4.14'te verilmiştir. Diğer noktalar için belirlenen akış en kesitleri ve hız profilleri ise hem Kasım 2017 hem de Şubat 2018 dönemi için EK D'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.12:** Akım – en kesit ölçümlerinin yapıldığı 30 noktanın havza üzerindeki dağılımı

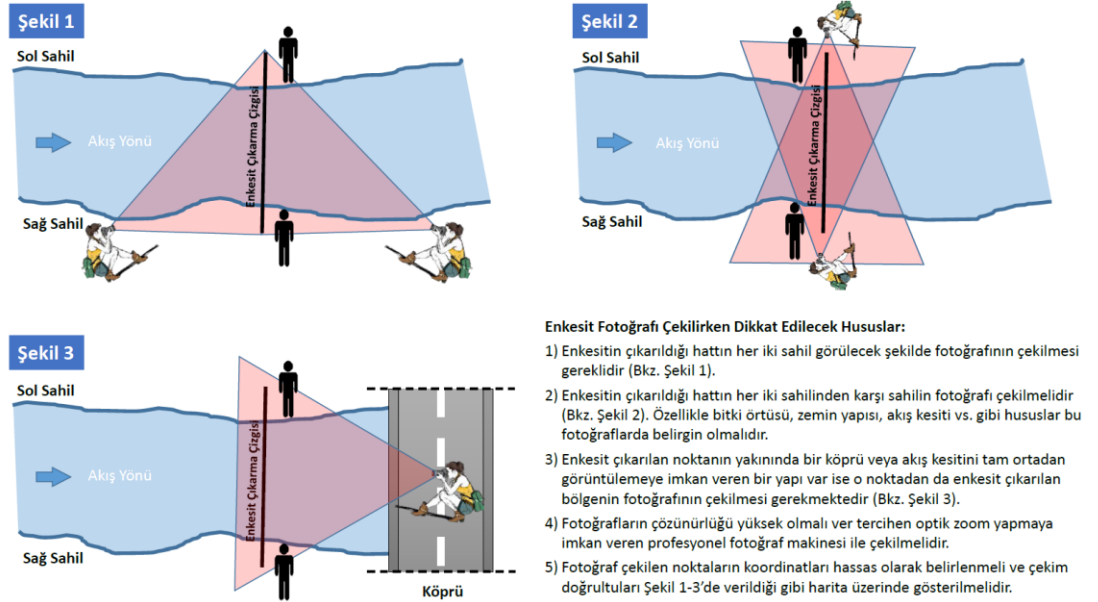


**Şekil 4.13:** 3 nolu ölçüm noktasında ADCP ile hız ve enkesit çıkarılması

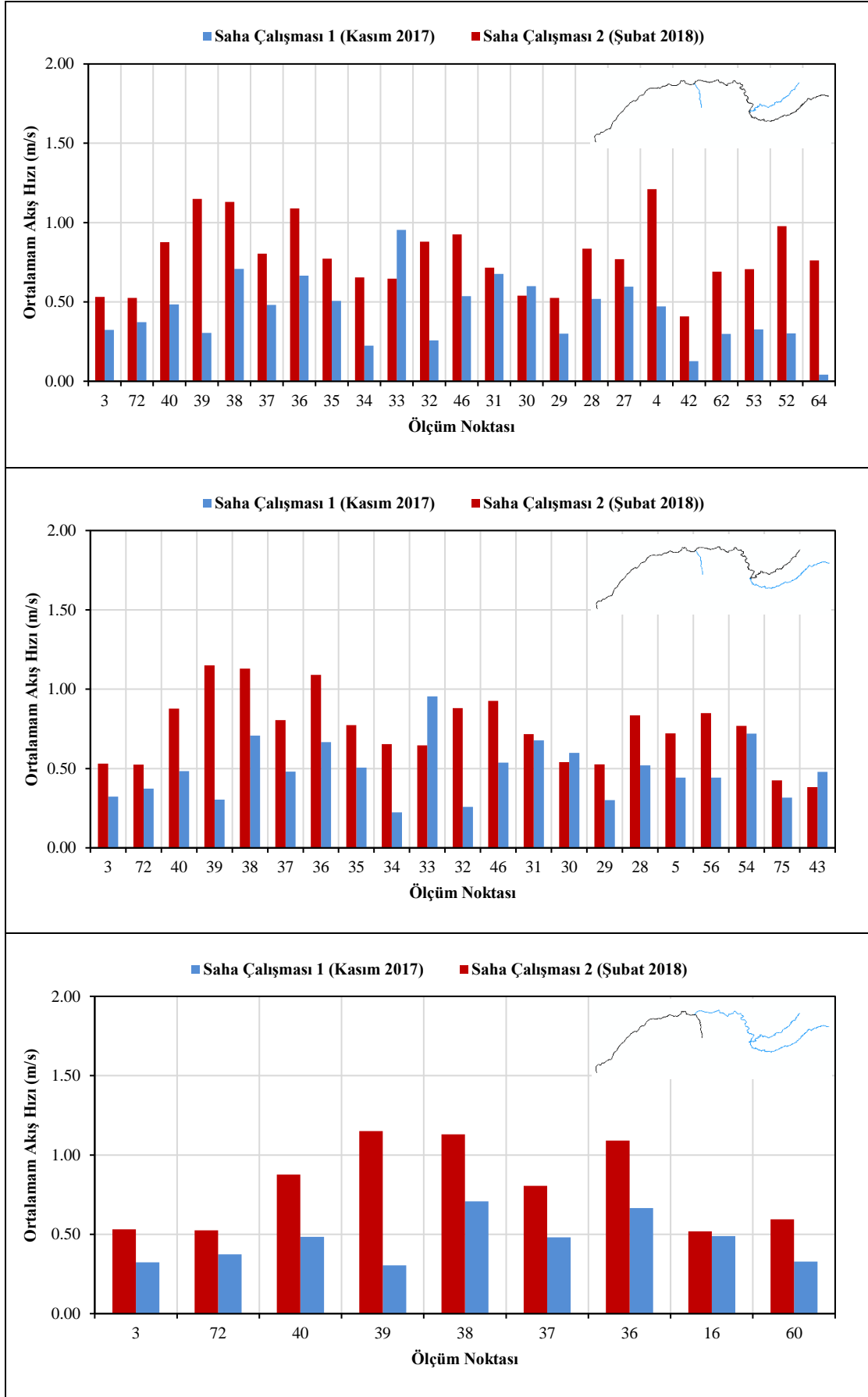


**Şekil 4.14:** 3 nolu nokta için ADCP ile belirlenen akış en kesiti ve hız dağılımı (Kasım 2017)

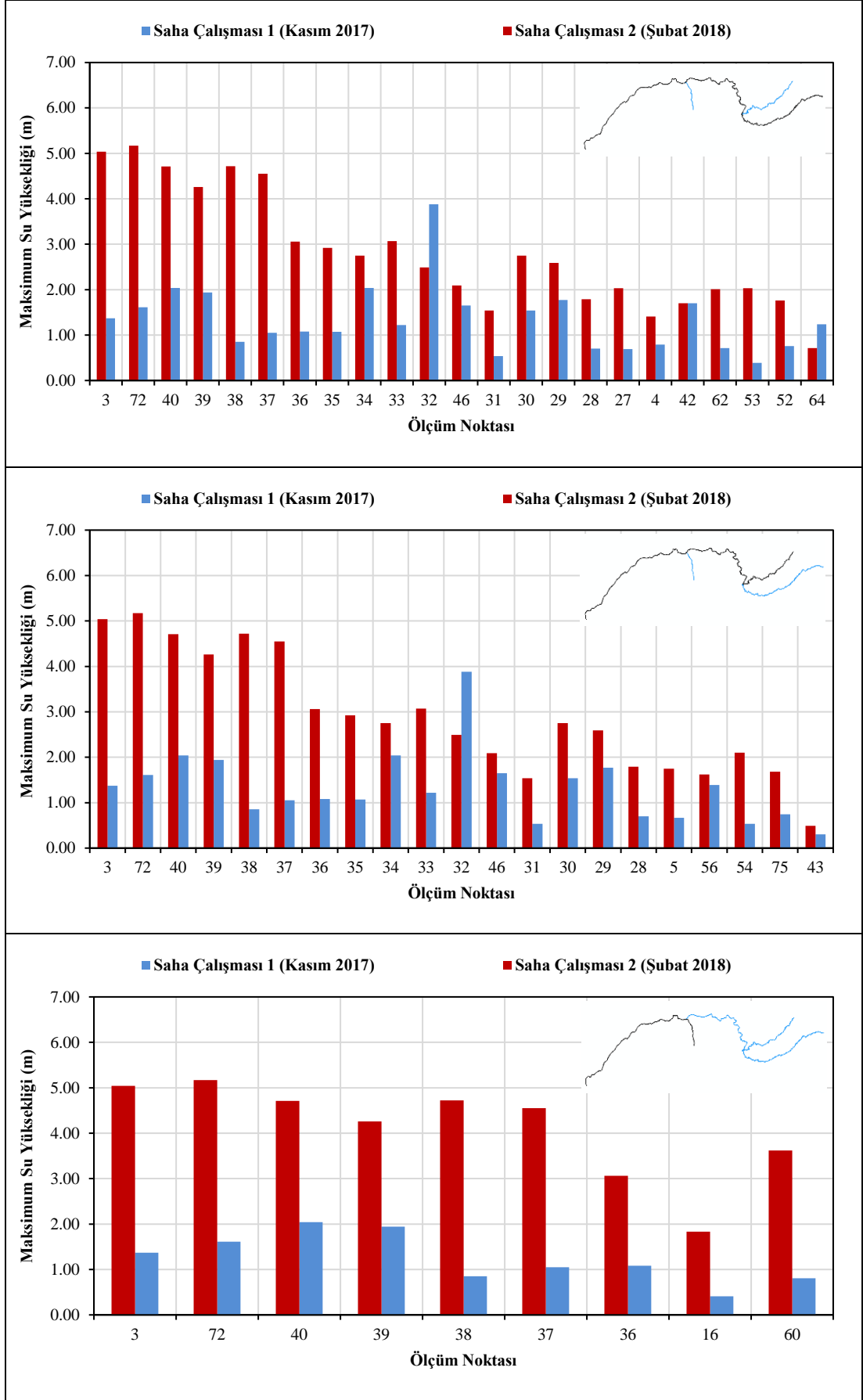
Ölçüm yapılırken belli bir standarda göre işlem yapılması ve ölçüm noktalarının hidrolojik ve morfolojik karakterizasyonunu tam olarak tespit edilmesi amacıyla Şekil 4.15'te verilen talimname hazırlanmış ve tüm noktalarda belirtilen hususlar dikkate alınacak şekilde ölçüm yapılması sağlanmıştır. Bu kapsamda Şekil 4.12'de verilen tüm noktalar için Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemlerinde saha ölçümü yapılmış ve ortalama akış hızı, maksimum akış hızı, maksimum derinlik ve debi gibi büyüklükler elde edilmiştir. Membedan mansaba doğru farklı akış kolları için elde edilen bu büyüklükler Şekil 4.16 ve Şekil 4.18 arasında verilmiştir



**Şekil 4.15:** Saha ölçüm talimnamesi

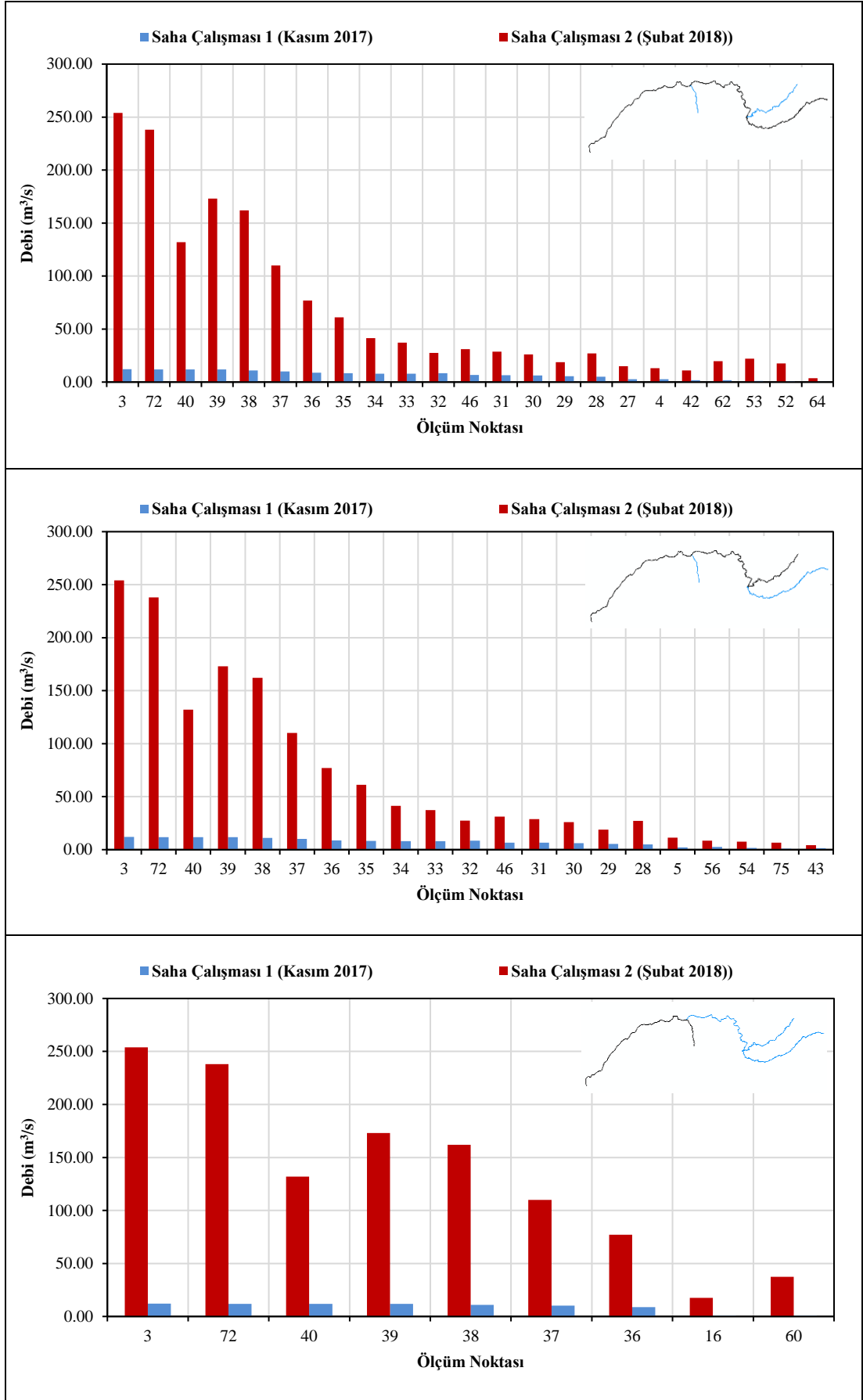


Şekil 4.16: Saha çalışması sonucu her kesit için ölçülmüş ortalama akış hızları



**Şekil 4.17:** Saha çalışması sonucu her kesit için ölçülmüş maksimum su derinlikleri





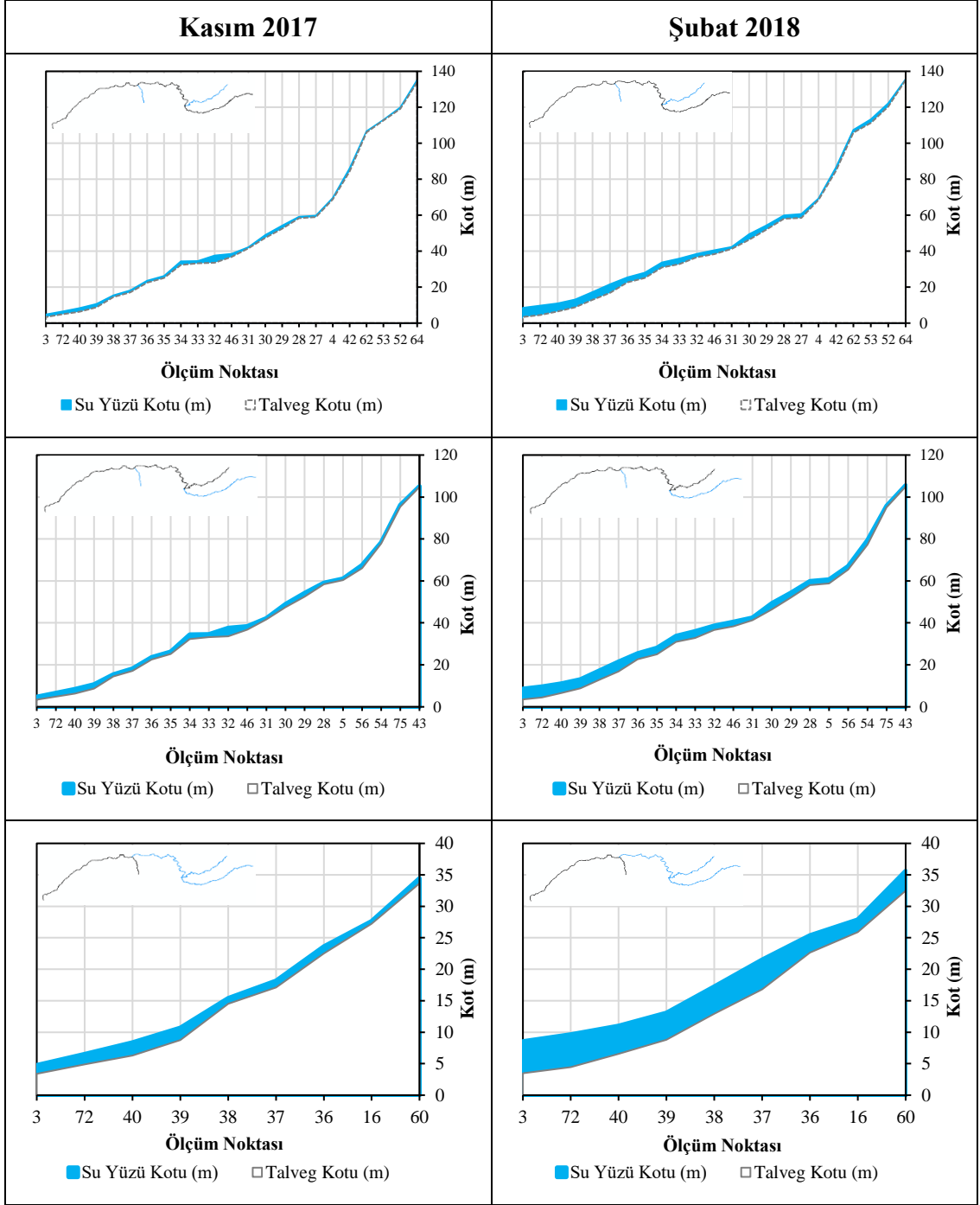
Şekil 4.18: Saha çalışması sonucu her kesit için ölçülmüş debiler

Elde edilen sonuçlardan görüleceği üzere Şubat 2018’de ölçülen büyüklükler genel olarak Kasım 2017’de ölçülenlere göre daha yüksek çıkmıştır. Bu fark özellikle havza çıkışına yakın olan ölçüm noktaları için belirlenen maksimum derinlik ve debi değerlerine bakıldığında açıkça görülmektedir. Örnek olarak, Demirtaş mevkiinde bulunan 39 numaralı ölçüm noktasının Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemlerindeki durumu Şekil 4.19’da verilmiştir. Şubat 2018 döneminde yağış ve kar erimesi gibi nedenlerden dolayı çok daha büyük akış en kesitleri gözlenmiştir.



**Şekil 4.19:** 39 nolu ölçüm noktasındaki akım durumunun Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için karşılaştırılması

Saha çalışmalarının tamamlanmasının ardından ölçüm yapılan tüm en kesitler için talveg kotları ve maksimum su derinlikleri kullanılarak su yüzü profilleri elde edilmiştir. Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemlerinde mambadan mansaba doğru farklı akış kolları için elde edilen su yüzü profilleri Şekil 4.20’de verilmiştir. Farklı akış kollarının tümünde üniform olmayan bir akış profili gözlenmiştir.



**Şekil 4.20:** Farklı akış kolları için elde edilen su yüzü profilleri

Saha çalışmasının ardından Ergene havzasının hidrolik modele esas modellenecek akış kollarının HEC-RAS'a uygun olarak sayısallaştırılması gerekmektedir. Bu kapsamda CBS ortamında akış kollarının sayısallaştırılabildiği HEC-GeoRAS eklentisi kullanılmıştır.

#### 4.2.2 HEC GeoRAS ile Model Oluşturulması

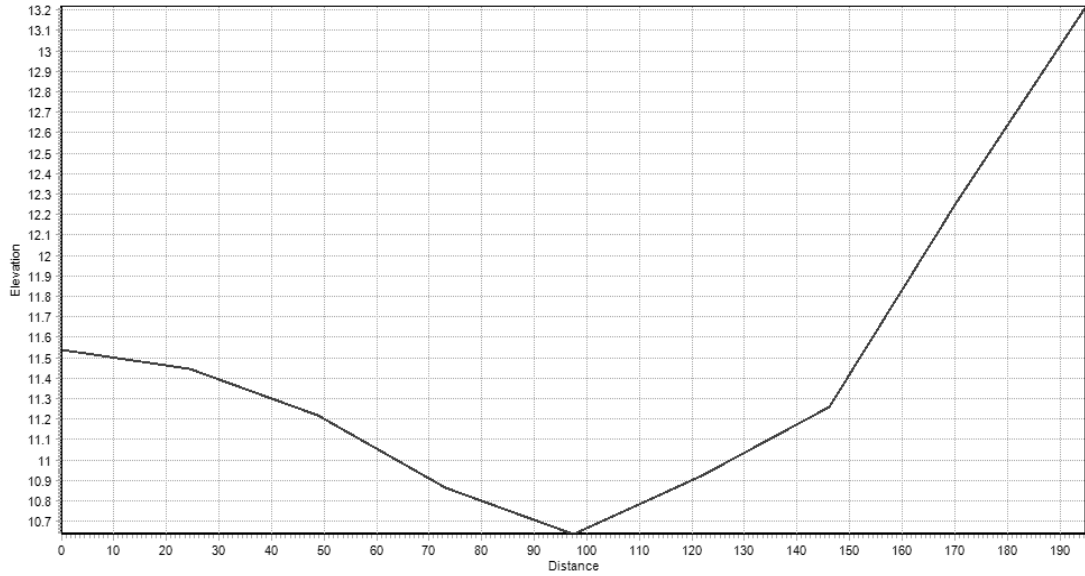
HEC-GeoRAS ile modelin oluşturulması aşamasında ilk olarak Bölüm 4.1.1’de bahsedilen 25 m çözünürlüklü SYM ve Google Earth uydu görüntüsü kullanılmıştır. Ardından modellemeye esas akış kolları ve sağ ve sol sahiller sayısallaştırılmıştır. Saha çalışması sırasında ölçüm yapılan her bir noktada, akış kolunun temsil edildiği çizgiyle 90° açı oluşturacak şekilde en kesitler çizilmiştir. Örnek olarak 40 numaralı ölçüm noktasındaki akış kolunun, sağ ve sol sahilin ve en kesitin HEC-GeoRAS üzerindeki görüntüsü Şekil 4.21’de verilmiştir. Akış kollarının sayısallaştırılmasının ardından her bir çizgi akış kolu, sağ sahil veya sol sahil olma durumuna göre programa tanıtılmıştır.



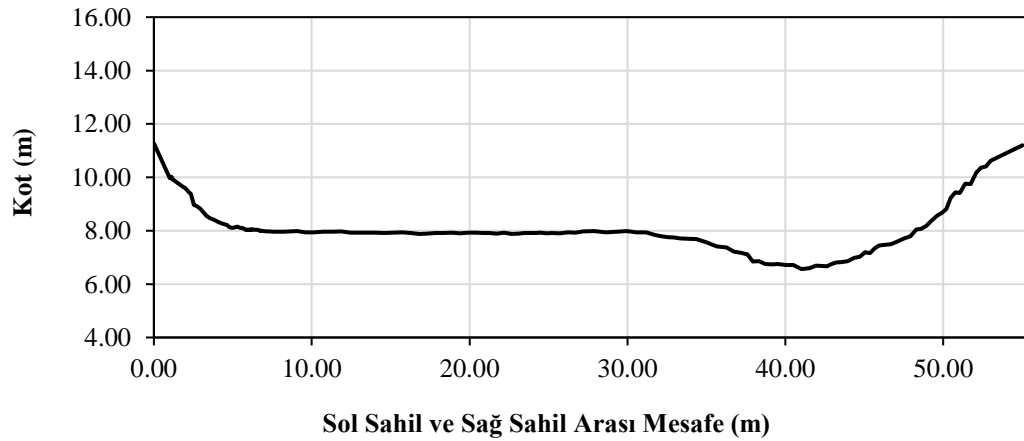
**Şekil 4.21:** 40 nolu ölçüm noktası için sayısallaştırılan akış kolunun, sağ ve sol sahillerin ve en kesitin HEC-GeoRAS üzerindeki görüntüsü

HEC-GeoRAS eklentisi ile tüm en kesitlerin topografik bilgilerine, kullanılan SYM aracılığı ile ulaşılabilmektedir. Örnek olarak 40 numaralı ölçüm noktası için HEC-GeoRAS ile elde edilen en kesit görüntüsü Şekil 4.22’de verilmiştir. Ancak HEC-GeoRAS ile en kesitler 25 m çözünürlüklü SYM kullanılarak elde edildiğinden gerçeğe çok uygun olmayan bir en kesit bilgisine ulaşılmaktadır. Bu nedenle HEC-GeoRAS ile elde edilen en kesit bilgilerinin, HEC-RAS’a aktarımının ardından saha

ölçümleri kullanılarak güncellenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda 40 numaralı ölçüm noktası için Şubat 2018 saha çalışması sonucu elde edilen ve HEC-RAS'a girilen en kesit bilgisi Şekil 4.23'te verilmiştir. Oluşturulan modelin HEC-RAS'a aktarılmasının ardından kararlı ve karasız akım simülasyonların yapılabilmesi için gerekli olan sınır koşulları elde edilmiştir.



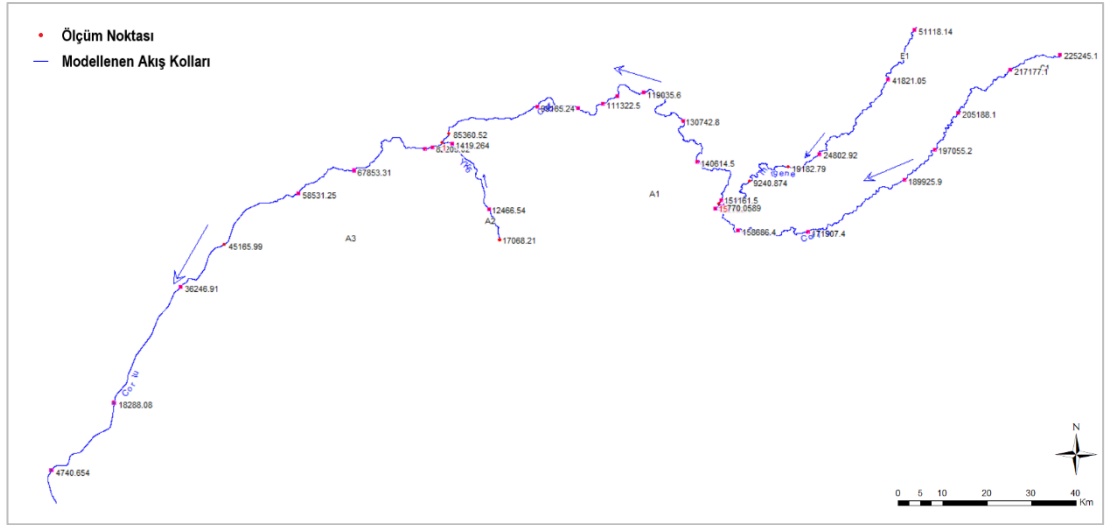
**Şekil 4.22:** 40 nolu ölçüm noktası için HEC-GeoRAS ile elde edilen en kesit bilgisi



**Şekil 4.23:** 40 nolu ölçüm noktası için Şubat 2018 saha çalışması sonucu elde edilen en kesit bilgisi

### 4.2.3 Modelleme İçin Gerekli Sınır Koşullarının Elde Edilmesi

HEC-GeoRAS eklentisi kullanılarak modelin HEC-RAS'a aktarılmasının ardından hidrolik modelleme süreci HEC-RAS ortamında hem Kasım 2017 hem de Şubat 2018 saha ölçüm verileri kullanılarak yapılmıştır. Saha ölçümleri sonucunda elde edilmiş olan kot ve en kesit bilgileri tüm akış kolları için HEC-RAS'ın geometri modülüne girilmiştir. Modellenecek akış kollarının HEC-RAS'ın geometri modülü üzerindeki görünümü Şekil 4.24'te verilmiştir.



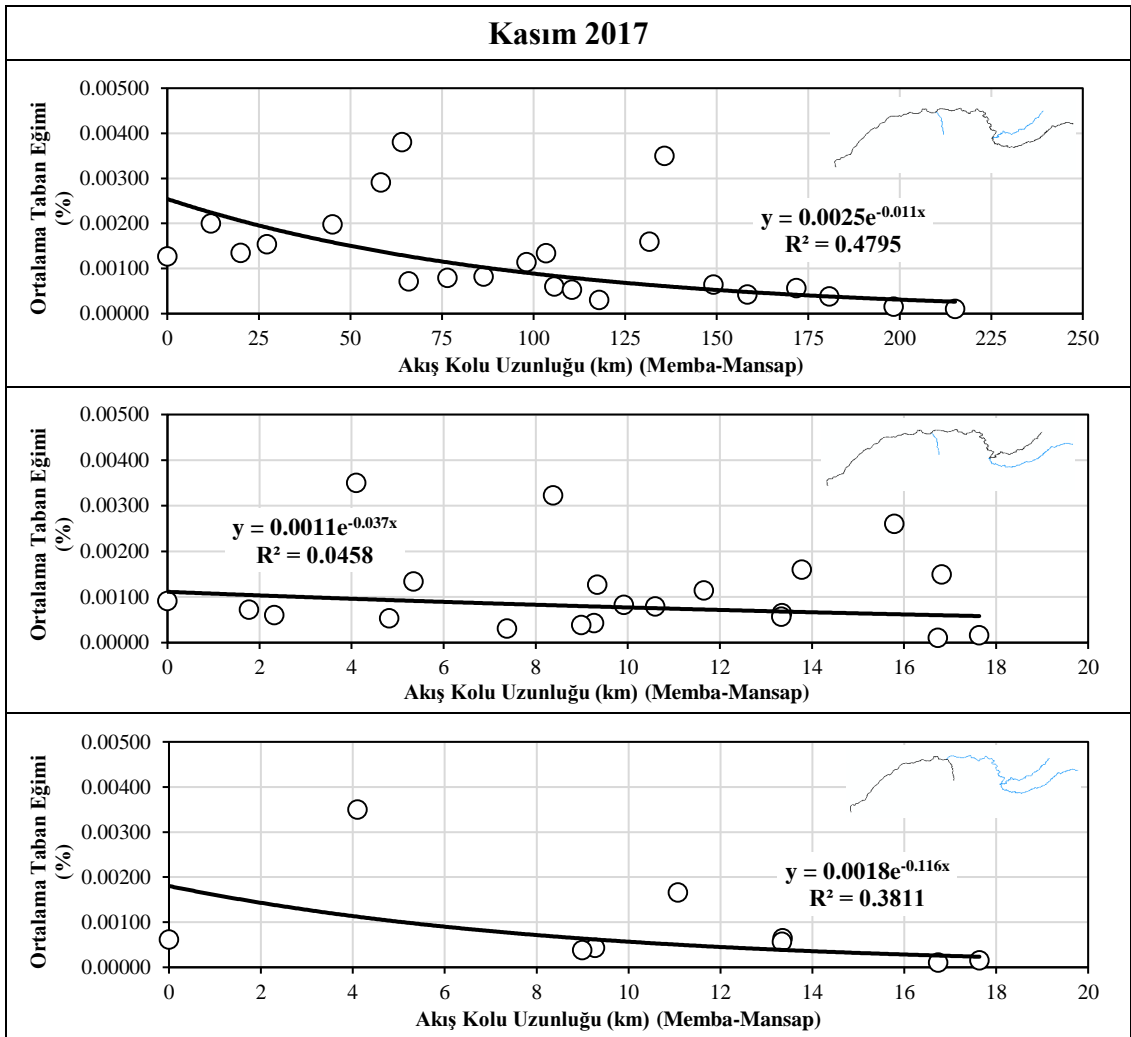
Şekil 4.24: Modellenecek akış kollarının HEC-RAS üzerindeki görünümü

Bölüm 4.2.1'de belirtildiği gibi akımın üniform olmayan karakterde olması sebebiyle modellenecek akış kollarında hem nehir hem de sel akım rejimlerinin gözlenebilme potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle HEC-RAS ortamında akış sürecinin hem memba hem de mansap kontrollü olarak modellenmesi gerekmektedir. Bu şekilde bir modelleme işleminin yapılabilmesi için Şekil 4.24'te verilen akış kollarının başlangıç ve bitiş noktalarının tümü için sınır koşullarının girilmesi gerekmektedir.

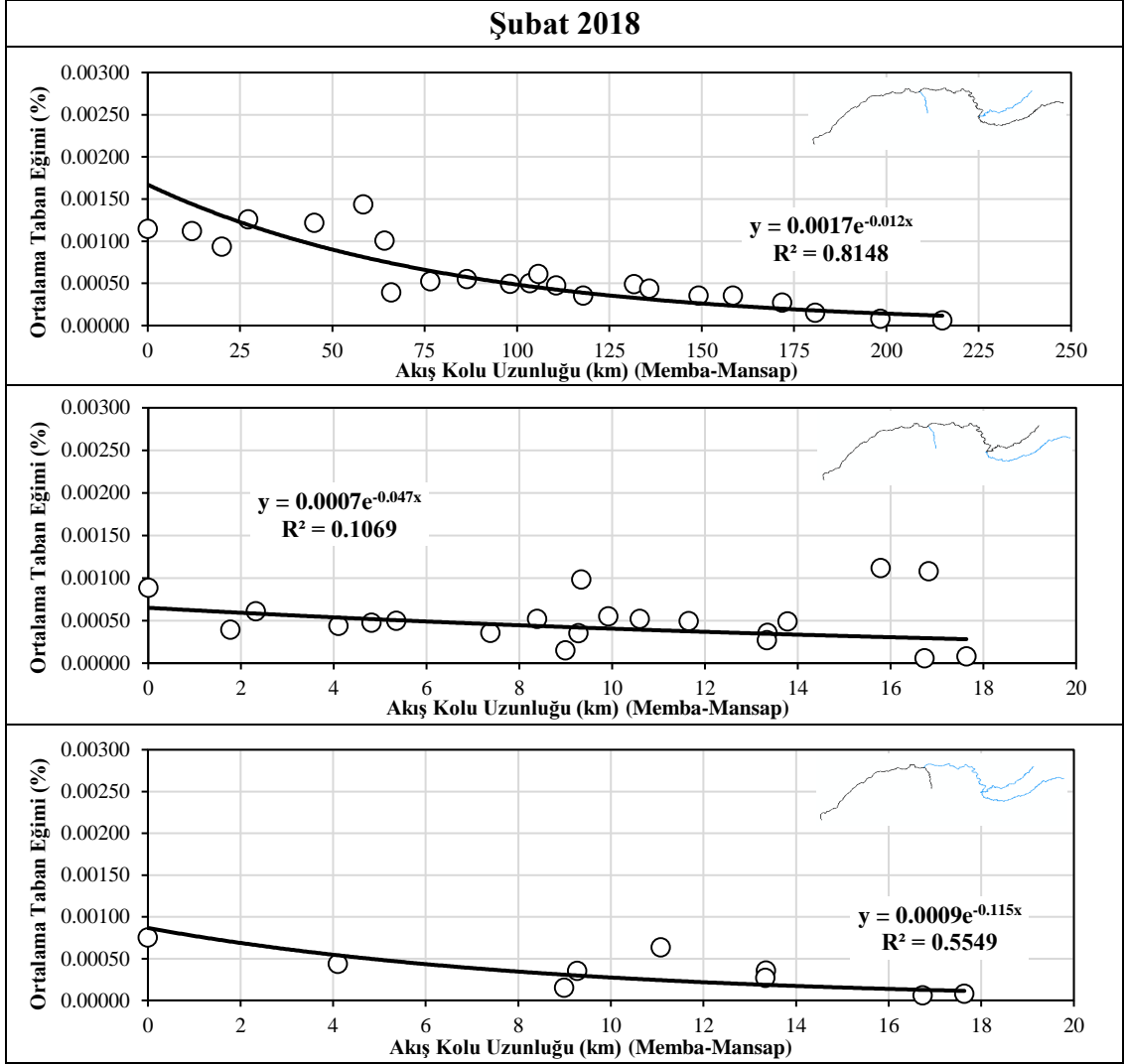
HEC-RAS modelinde kararlı akım durumu için uç noktalarda sınır koşulu olarak bilinen su seviyesi, kritik derinlik, normal derinlik ve anahtar eğrisi gibi büyüklükler girilebilmektedir. Bu çalışmada ise normal derinlik değerlerinin sınır koşulu olarak kullanılmıştır.

HEC-RAS'ın normal derinlik hesabını yapabilmesi için sınır koşulunun tanımlanacağı her bir noktaya eğim değerinin girilmesi gerekmektedir. Ancak,

modellenecek akış kollarının başlangıç bölümleri için bu eğim değerleri mevcut değildir. Bu nedenle, uç noktalar dışındaki ölçüm noktaları için memba ve mansap eğimleri kullanılarak ortalama taban eğimleri hesaplanmış ve bu eğim değerlerine doğrusal olmayan regresyon analizi ile üstel yapıdaki bir eğilim çizgisi uydurulmuştur. Akımın Ergene, Çorlu ve Hayrabolu derelerinden başlama durumları için elde edilmiş eğilim çizgileri Kasım 2017 için Şekil 4.25'te, Şubat 2018 için Şekil 4.26'da verilmiştir. Bu eğilim çizgilerinin ilgili sınır noktalarında vermiş olduğu değerler (Tablo 4.7) normal derinlik oluşturacak eğim değerleri olarak kabul edilmiştir. Tablo 4.7'de verilen eğim değerleri, hidrolik modele hem memba hem de mansap kontrollü analizler için gerekli sınır koşulu olarak seçilen normal derinlik değerini veren eğim olarak girilmiştir. Böylece hidrolik simülasyonların başlaması için gerekli tüm bilgiler sağlanmış ve hidrolik modelin kurulumu tamamlanmıştır.



**Şekil 4.25:** Kasım 2017 - normal derinlik hesabı için ortalama taban eğimlerine uydurulan eğilim çizgileri



**Şekil 4.26:** Şubat 2018 - normal derinlik hesabı için ortalama taban eğimlerine uydurulan eğilim çizgileri

**Tablo 4.7:** Akış kolları uç noktaları hesaplanan eğim değerleri

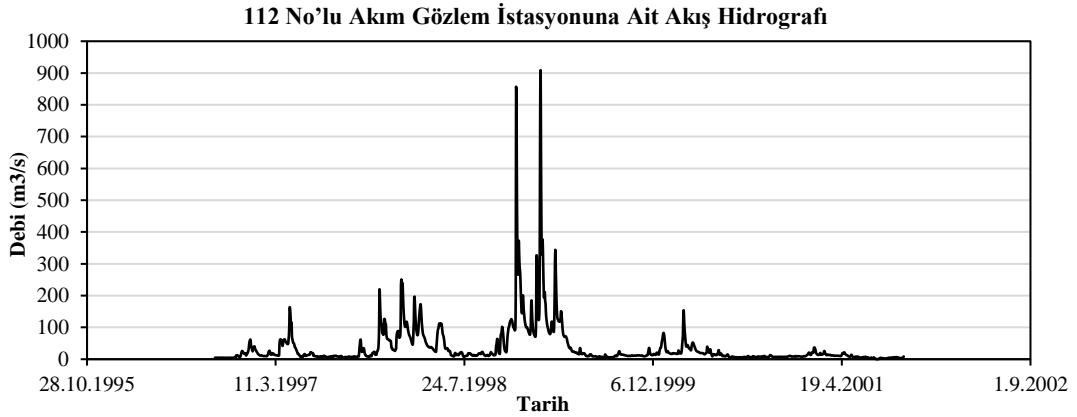
| Saha Ölçümü<br>Dönemi | Havza No |          |          |          |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
|                       | 64       | 43       | 60       | 3        |
| Kasım 2017            | 2.90E-03 | 2.50E-03 | 2.90E-03 | 1.04E-04 |
| Şubat 2018            | 1.80E-03 | 1.40E-03 | 8.00E-04 | 5.95E-05 |



## 5. MODEL SONUÇLARI

### 5.1 Hidrolojik Model Sonuçları

Hidrolojik modelin, Ergene Havzası'nda gerçekleşen yağış-akış sürecini temsil edebilmesi için HEC-HMS kapsamında kullanılan alt modellere ait parametrelerin saha ölçümleri kullanılarak kalibre edilmesi gerekmektedir. Saha ölçümleri olarak Ergene Havzası'nın çıkış noktasında bulunan 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde 1996-2001 yılları için ölçülmüş akış hidrografları kullanılmış ve model tarafından da ilgili noktada benzer nitelikte bir akış hidrografı elde edilecek şekilde model parametreleri belirlenmiştir. 1996-2001 su yılları için 112 nolu AGİ'de gözlenen akış hidrografı Şekil 5.1'de verilmiştir.

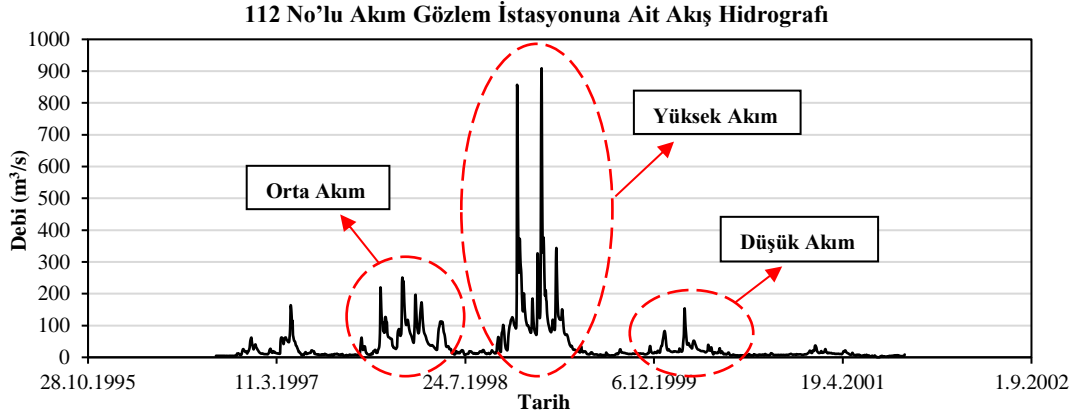


**Şekil 5.1:** 112 nolu AGİ 1996-2001 su yılları akış hidrografı

Model kalibrasyonu, 112 nolu AGİ'ye ait 1996-2001 su yılları akış hidrografı üzerinde düşük akım, orta akım ve yüksek akım dönemleri belirlenerek 3 senaryo şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her bir senaryo için kalibrasyon dönemi Tablo 5.1'de ve Şekil 5.2'de verilmiştir. Tüm senaryoların kalibrasyon periyodu eşit olup 243 günden (8 Ay) oluşmaktadır.

**Tablo 5.1:** Düşük, orta ve yüksek akım kalibrasyon dönemleri

|                                | Başlangıç Tarihi | Bitiş Tarihi   |
|--------------------------------|------------------|----------------|
| <b>Senaryo 1 (Düşük Akım)</b>  | 1 Ekim 1999      | 30 Mayıs 2000  |
| <b>Senaryo 2 (Orta Akım)</b>   | 15 Kasım 1997    | 15 Temmuz 1998 |
| <b>Senaryo 3 (Yüksek Akım)</b> | 10 Kasım 1998    | 10 Temmuz 1999 |



**Şekil 5.2:** Düşük, orta ve yüksek akım kalibrasyon dönemleri

Kalibrasyon işlemi mambadan mansaba doğru 43, 64, 120, 108, 106 ve 3 havzaları için sırasıyla yapılmıştır. Amaç fonksiyonu olarak Nash-Sutcliffe Model Etkinlik Katsayısı (NSE) seçilmiş ve bu fonksiyon değeri HEC-HMS bünyesinde bulunan Univariate Gradient optimizasyon tekniği ile maksimize edilmiştir (Amaç fonksiyonu ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 2.1.1.7’de verilmiştir). Üç farklı dönem için gerçekleştirilen kalibrasyon senaryoları, kalibre edilen parametreler ve elde edilen akış hidrografları aşağıda verilmiştir.

### 5.1.1 Senaryo 1: Düşük Akım İçin Model Kalibrasyonu

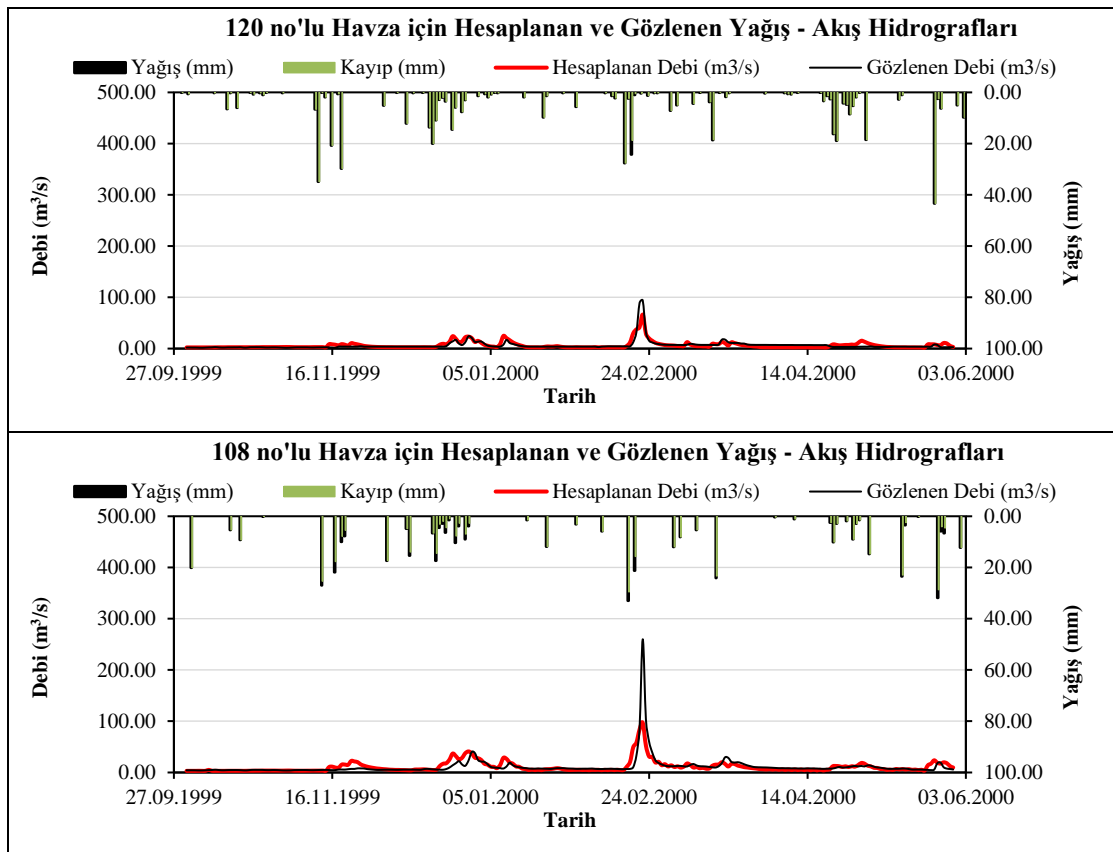
Senaryo 1 kapsamında 1 Ekim 1999 - 30 Mayıs 2000 dönemi için hidrolojik model çalıştırılmış ve mambadan mansaba doğru sırasıyla 120, 108, 60 ve 3 havzalarının çıkış noktasında bulunan akım gözlem istasyonları için NSE değeri maksimize edilerek kalibrasyon parametreleri tahmin edilmiştir.

Kalibrasyon işlemi sonucunda 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ’ler için HEC-HMS modeli tarafından hesaplanan akım değerleri ile aynı noktalarda gözlenen akım değerleri farklı hata değerlendirme ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu

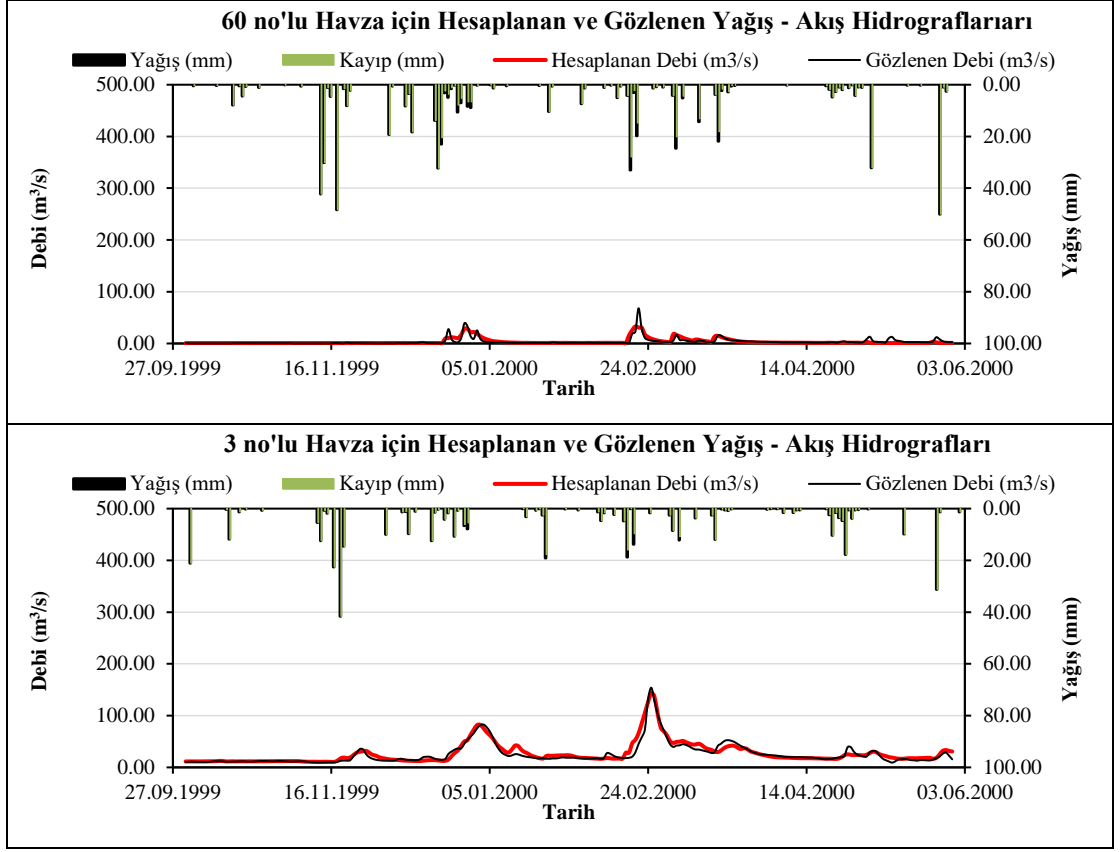
kapsamda amaç fonksiyonu olarak kullanılan NSE değerin yanında korelasyon katsayısı (r), yüzde yanlışlık (percent bias - PBIAS) ve hataların karelerinin ortalamasının karekökü (root mean square error - RMSE) kullanılmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 5.2’de özetlenmiştir. Kalibrasyon sonucu 120, 108, 60 ve 3 nolu havzalarda ölçülen ve HEC-HMS tarafından hesaplanan akış hidrografları Şekil 5.3’te verilmiştir. Hidrolik modelde kullanılacak olan 43 ve 64 havzaları için hesaplanan akış hidrografları ise Şekil 5.4’te verilmiştir.

**Tablo 5.2:** Senaryo 1 – hata değerlendirme ölçütleri

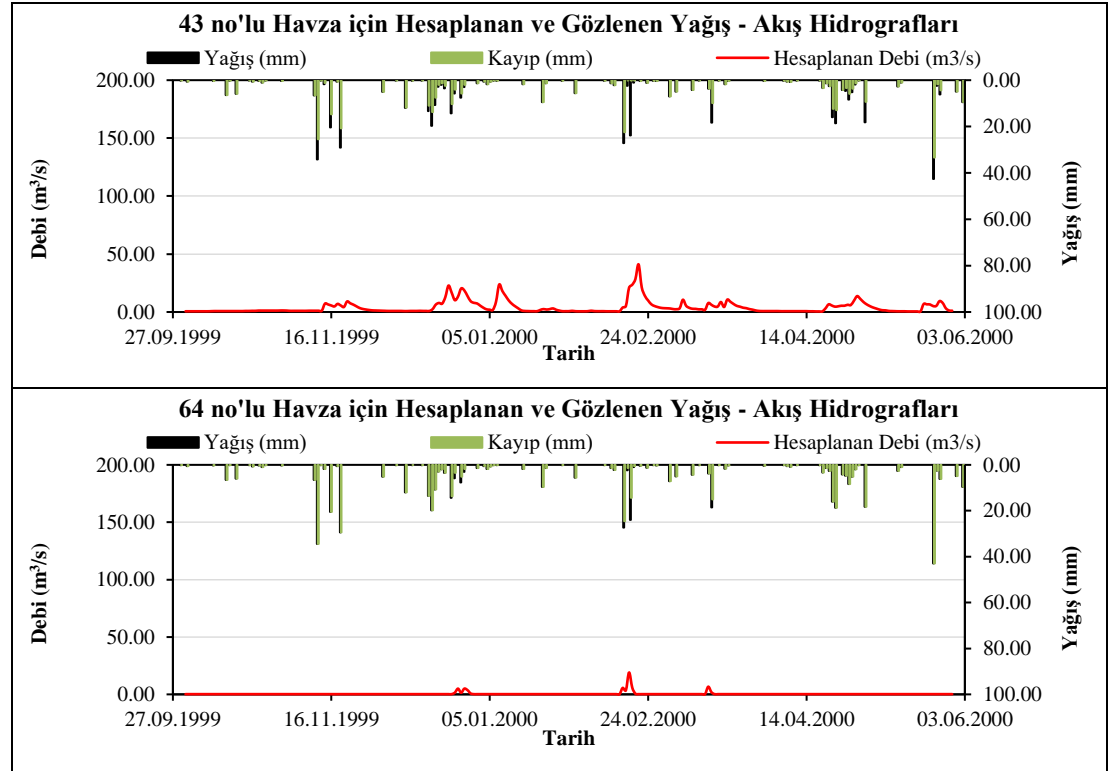
|              | Akım Gözlem İstasyonu |        |       |        |
|--------------|-----------------------|--------|-------|--------|
|              | 120                   | 108    | 106   | 112    |
| <b>r</b>     | 0.837                 | 0.761  | 0.799 | 0.950  |
| <b>NSE</b>   | 0.673                 | 0.540  | 0.633 | 0.900  |
| <b>RMSE</b>  | 5.071                 | 12.887 | 4.057 | 6.426  |
| <b>PBIAS</b> | -11.814               | -6.202 | 0.514 | -0.210 |



**Şekil 5.3:** Senaryo 1 - kalibrasyon sonucu elde edilen 120, 108, 60 ve 3 nolu havzaların akış hidrografları



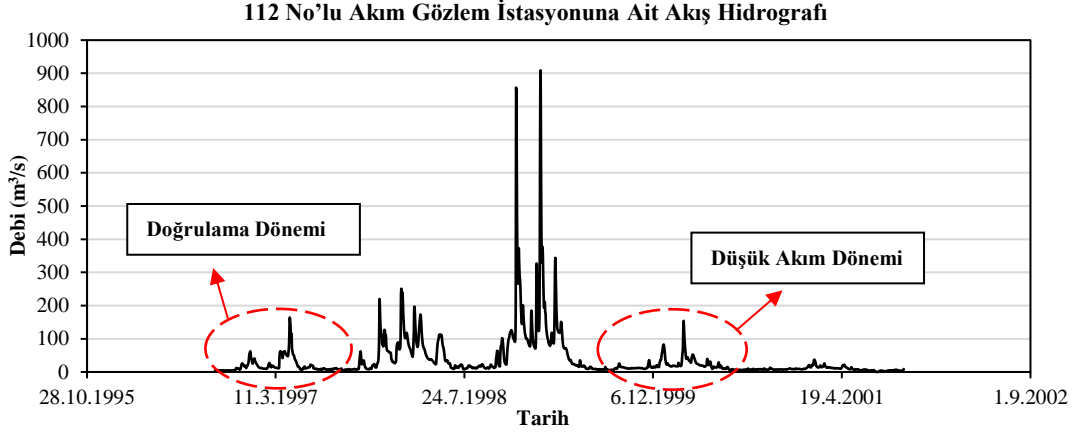
**Şekil 5.3 (devam):** Senaryo 1 - kalibrasyon sonucu elde edilen 120, 108, 60 ve 3 nolu havzaların akış hidrografları



**Şekil 5.4:** Senaryo 1 - 43 ve 64 nolu havzalar için hesaplanan akış hidrografları

### 5.1.1.1 Doğrulama

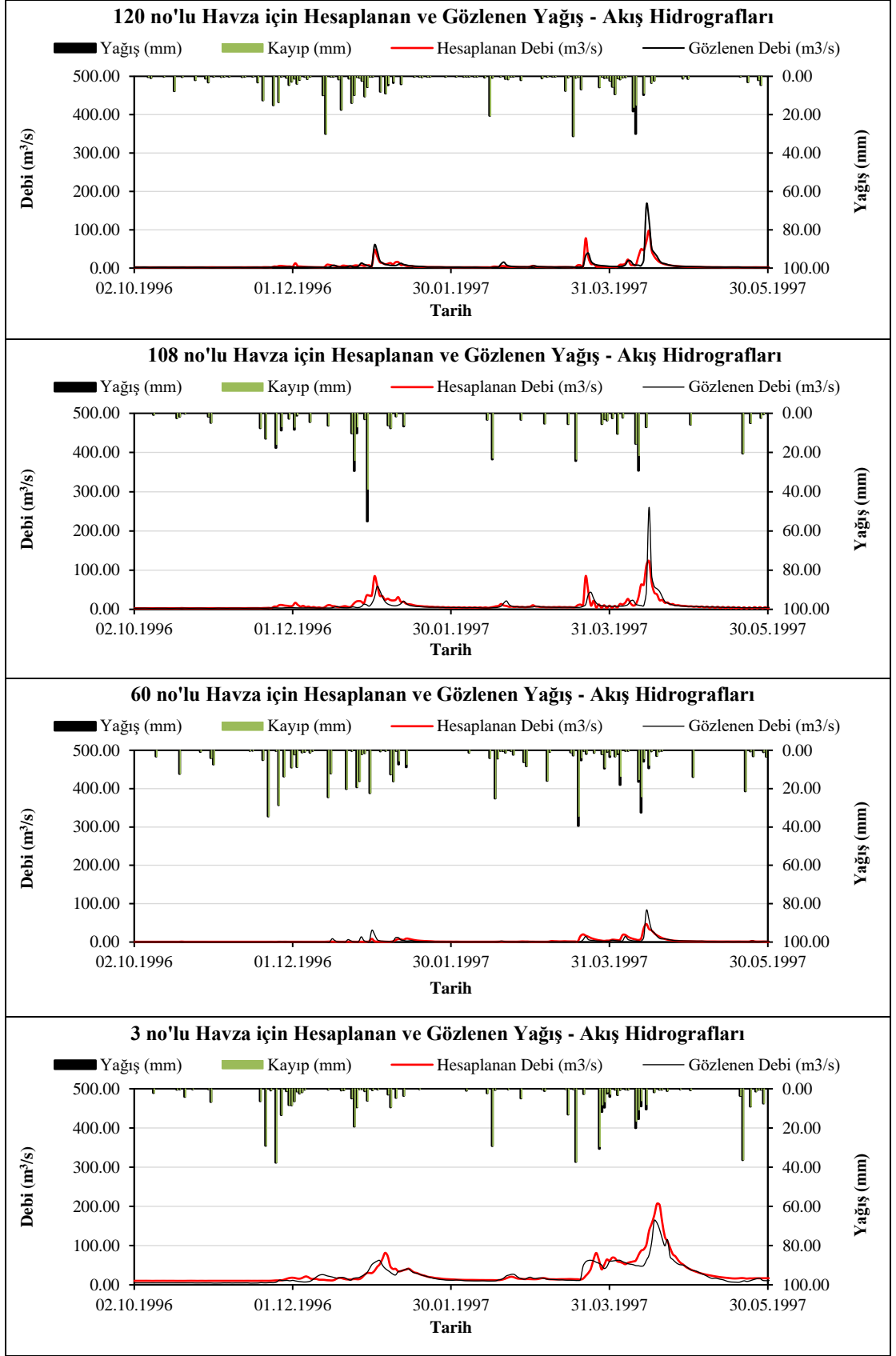
Kalibrasyon işleminin yapılmasının ardından elde edilen parametrelerin doğrulamasının yapılması gerekmektedir. Bu sebeple Senaryo 1 için akışın benzerlik gösterdiği 1 Ekim 1996-31 Mayıs 1997 dönemi doğrulama için kullanılmış, Şekil 5.5'te hem Senaryo 1'in hem de doğrulama döneminin gösterimi verilmiştir.



Kalibrasyon sonucu elde edilen parametreler kullanılarak yapılan doğrulama dönemi simülasyonu sonucu 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen debiler hata değerlendirme ölçütleri ile karşılaştırılmış elde edilen değerler Tablo 5.3'te verilmiştir. 120, 108, 60 ve 3 nolu havzalarda ölçülen ve HEC-HMS tarafından hesaplanan akış hidrografları ise Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

**Tablo 5.3: Doğrulama dönemi - hata değerlendirme ölçütleri**

|              | Akım Gözlem İstasyonu |        |       |        |
|--------------|-----------------------|--------|-------|--------|
|              | 120                   | 108    | 106   | 112    |
| <b>r</b>     | 0.815                 | 0.701  | 0.807 | 0.923  |
| <b>NSE</b>   | 0.648                 | 0.477  | 0.649 | 0.852  |
| <b>RMSE</b>  | 8.815                 | 13.888 | 4.429 | 9.868  |
| <b>PBIAS</b> | -10.112               | 14.518 | 6.624 | -0.372 |



Şekil 5.6: Doğrulama sonucu elde edilen 120, 108, 60 ve 3 nolu havzaların akış hidrografları

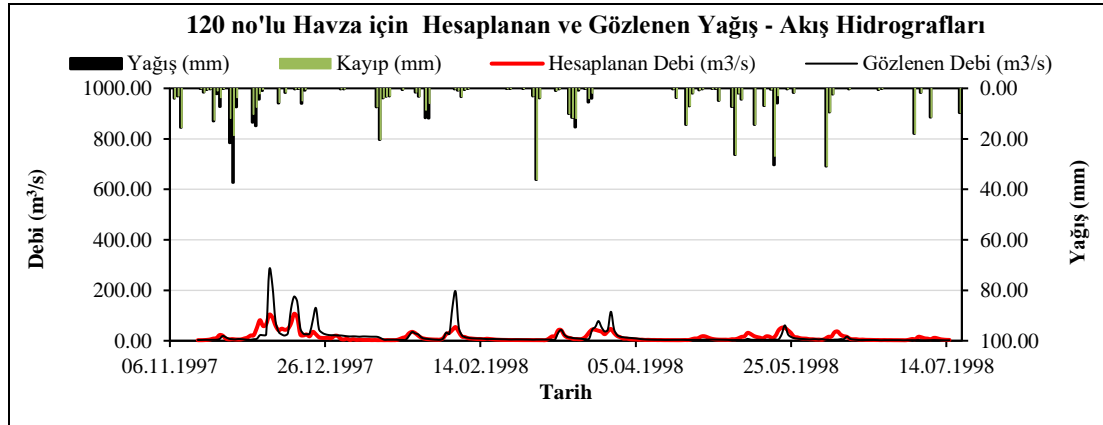
### 5.1.2 Senaryo 2: Orta Akım İçin Model Kalibrasyonu

Senaryo 2 kapsamında 15 Kasım 1997 - 15 Temmuz 1998 dönemi için hidrolojik model çalıştırılmış ve membadan mansaba doğru sırasıyla 120, 108, 60 ve 3 havzalarının çıkış noktasında bulunan akım gözlem istasyonları için NSE değerleri maksimize edilerek kalibrasyon parametreleri tahmin edilmiştir.

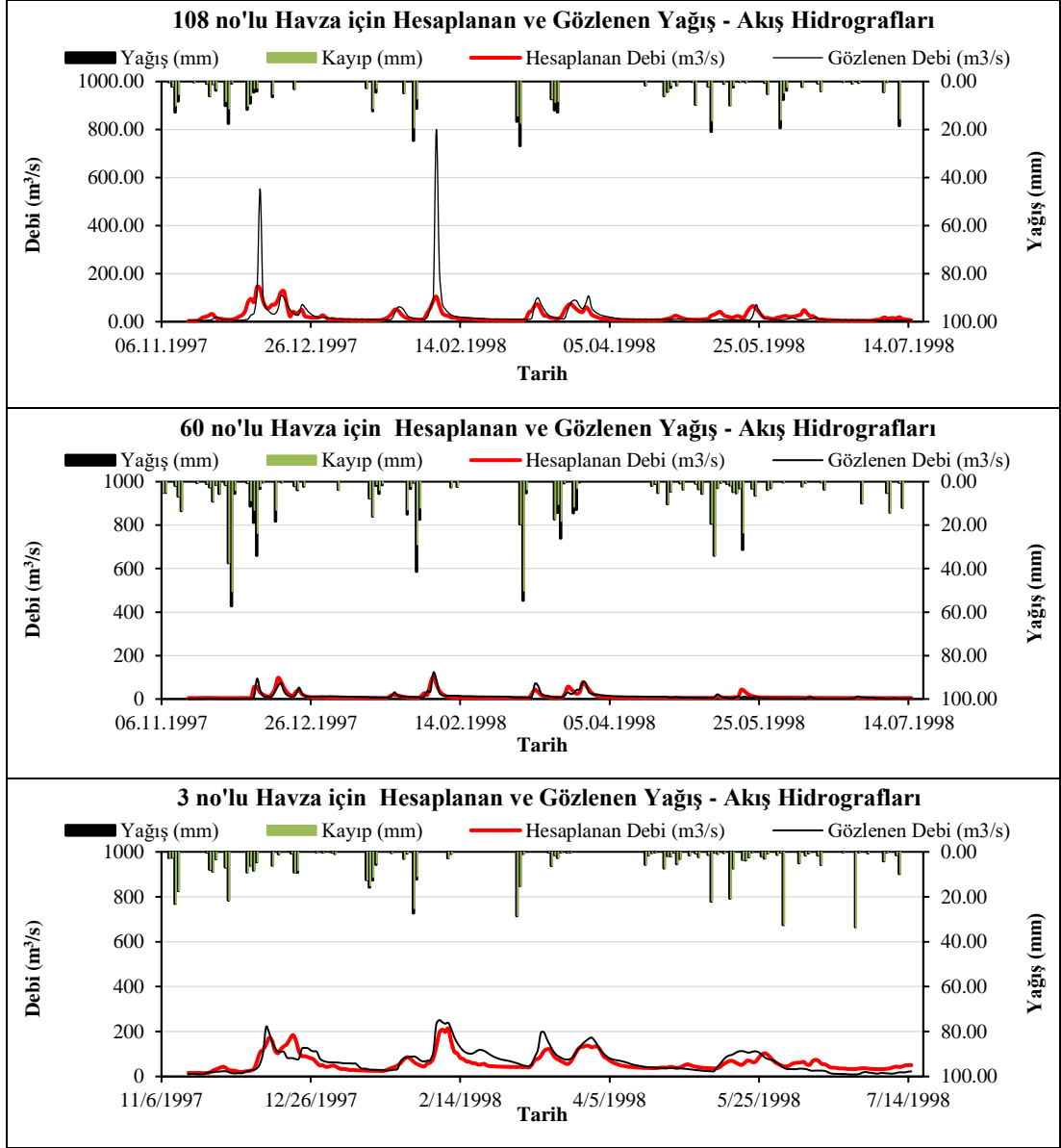
Kalibrasyon işlemi sonucunda 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için HEC-HMS modeli tarafından hesaplanan akım değerleri ile aynı noktalarda gözlenen akım değerleri Senaryo 1'de olduğu gibi farklı hata değerlendirme ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmış olup Tablo 5.4'te özetlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar için 120, 108, 60 ve 3 nolu havzalarda ölçülen ve HEC-HMS tarafından hesaplanan akış hidrografları Şekil 5.7'de, hidrolik modelde kullanılacak olan 43 ve 64 havzaları için hesaplanan akış hidrografları ise Şekil 5.8'de verilmiştir.

**Tablo 5.4:** Senaryo 2 – hata değerlendirme ölçütleri

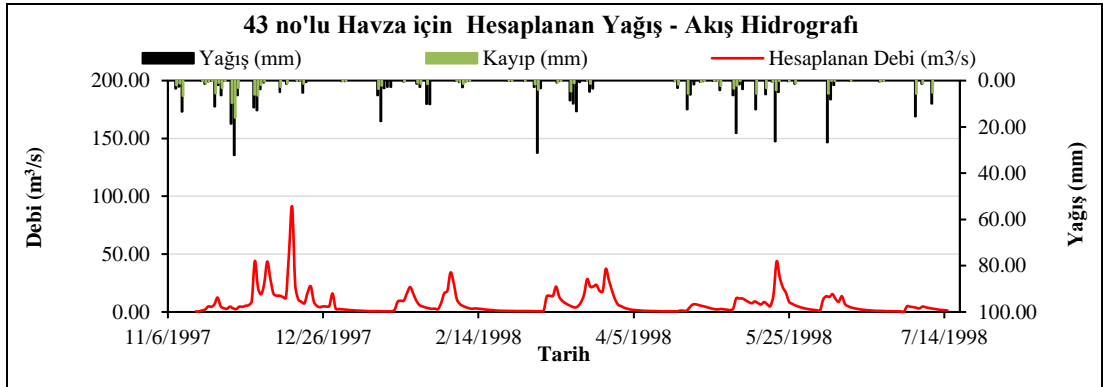
|              | Akım Gözlem İstasyonu |         |        |        |
|--------------|-----------------------|---------|--------|--------|
|              | 120                   | 108     | 106    | 112    |
| <b>r</b>     | 0.768                 | 0.584   | 0.845  | 0.828  |
| <b>NSE</b>   | 0.528                 | 0.295   | 0.695  | 0.666  |
| <b>RMSE</b>  | 23.545                | 55.255  | 8.877  | 29.605 |
| <b>PBIAS</b> | -13.247               | -12.927 | -1.722 | -8.845 |



**Şekil 5.7:** Senaryo 2 - kalibrasyon sonucu elde edilen 120, 108, 60 ve 3 nolu havzaların akış hidrografları

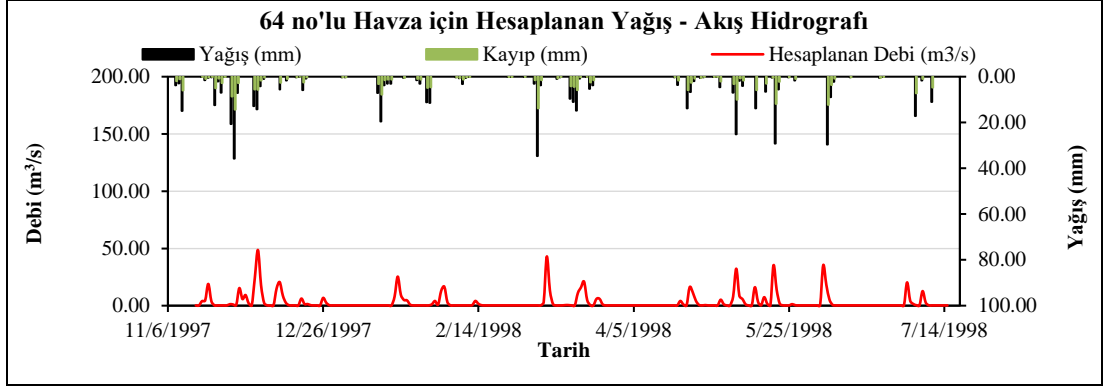


**Şekil 5.7 (devam):** Senaryo 2 - kalibrasyon sonucu elde edilen 120, 108, 60 ve 3 nolu havzaların akış hidrografları



**Şekil 5.8:** Senaryo 2 - 43 ve 64 nolu havzalar için hesaplanan akış hidrografları





**Şekil 5.8 (devam):** Senaryo 2 - 43 ve 64 nolu havzalar için hesaplanan akış hidrografları

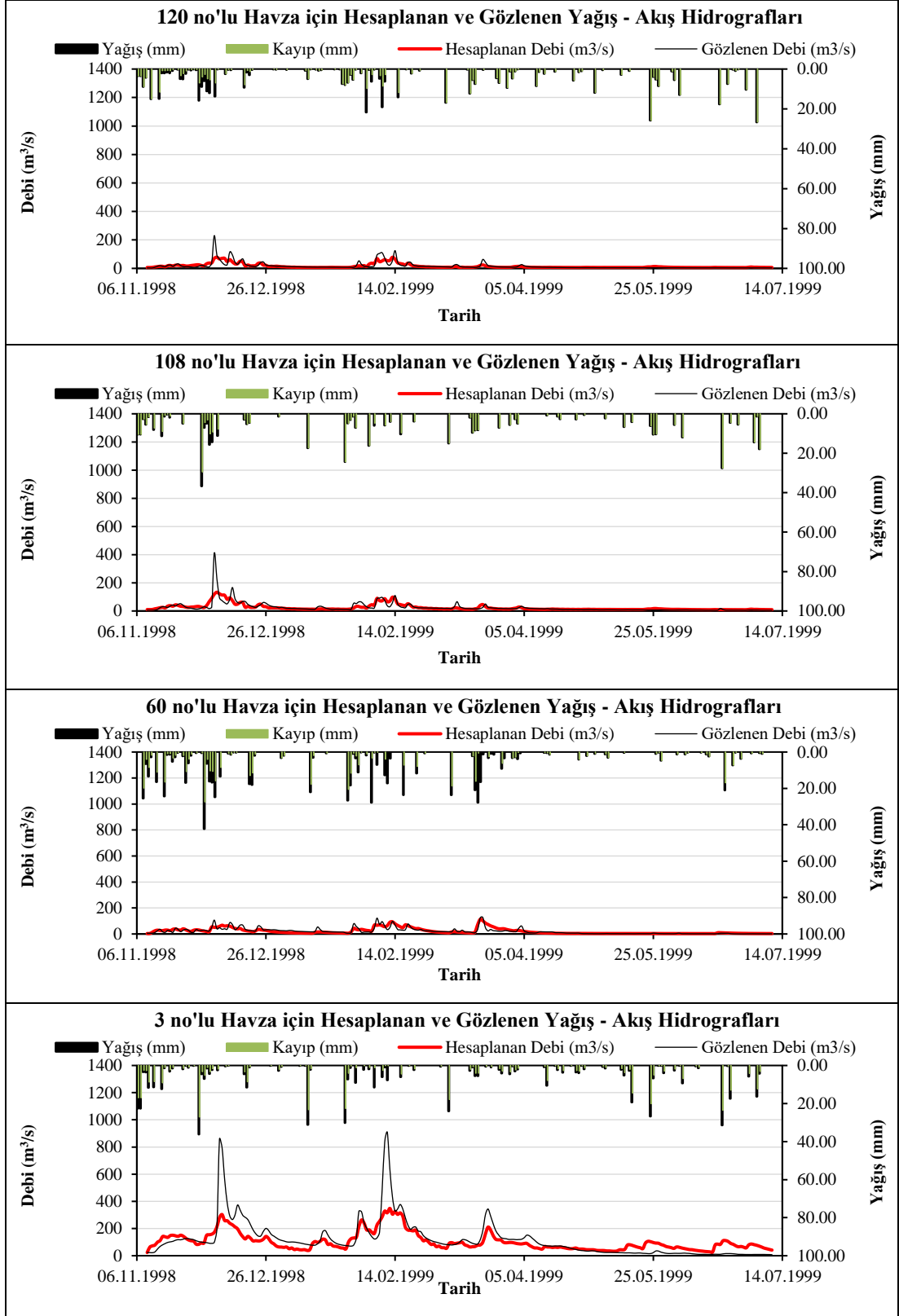
### 5.1.3 Senaryo 3: Yüksek Akım İçin Model Kalibrasyonu

10 Kasım 1998 - 10 Temmuz 1999 dönemi için gerçekleştirilen Senaryo 3 kapsamında hidrolojik model çalıştırılmış ve membadan mansaba doğru sırasıyla 120, 108, 60 ve 3 havzalarının çıkış noktasında bulunan akım gözlem istasyonları için NSE değerleri maksimize edilerek kalibrasyon parametreleri tahmin edilmiştir.

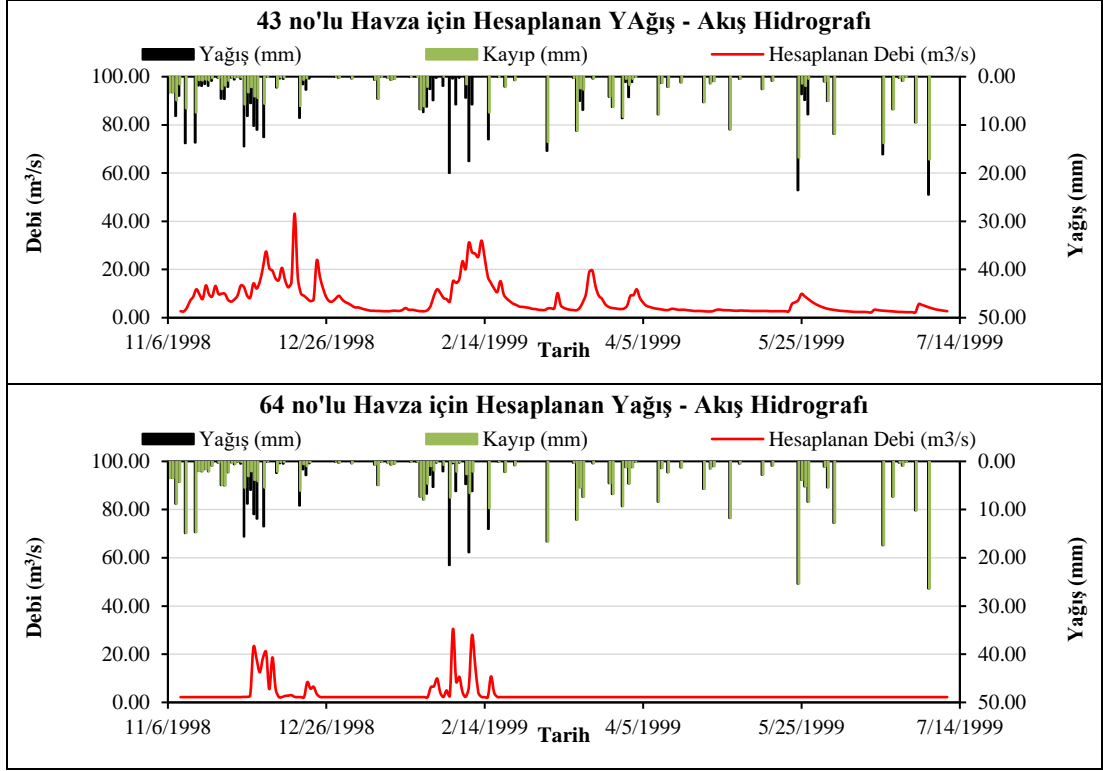
Kalibrasyon işlemi sonucu 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için gözlenen akım değerleri ve aynı noktalarda HEC-HMS modeli ile hesaplanan akım değerleri hata değerlendirme ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.5'te verilmiştir. 120, 108, 60 ve 3 nolu havzalarda ölçülen ve HEC-HMS tarafından hesaplanan akış hidrografları Şekil 5.9'da, hidrolik modelde kullanılacak olan 43 ve 64 havzaları için hesaplanan akış hidrografları ise Şekil 5.10'da verilmiştir.

**Tablo 5.5:** Senaryo 3 – hata değerlendirme ölçütleri

|              | Akım Gözlem İstasyonu |        |        |         |
|--------------|-----------------------|--------|--------|---------|
|              | 120                   | 108    | 106    | 112     |
| <b>r</b>     | 0.779                 | 0.742  | 0.812  | 0.832   |
| <b>NSE</b>   | 0.582                 | 0.537  | 0.639  | 0.559   |
| <b>RMSE</b>  | 15.572                | 24.192 | 13.713 | 92.200  |
| <b>PBIAS</b> | -6.678                | -4.243 | -2.525 | -13.017 |



**Şekil 5.9:** Senaryo 3 - kalibrasyon sonucu elde edilen 120, 108, 60 ve 3 nolu havzaların akış hidrografları



**Şekil 5.10:** Senaryo 3 - 43 ve 64 nolu havzalar için hesaplanan akış hidrografları

#### 5.1.4 Hidrolojik Model Senaryolarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde Senaryo 1-3 kapsamında elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirilmiştir. Senaryo 1 için yapılan kalibrasyon işlemi sonucu amaç fonksiyonu değeri 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için sırasıyla 0.673, 0.540, 0.633 ve 0.900 olarak elde edilmiştir. Hesaplanan ve gözlenen debiler için korelasyon katsayıları ise sırasıyla 0.837, 0.761, 0.799 ve 0.950 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar değerlendirildiğinde kalibrasyon başarısının özellikle havza çıkışında bulunan 112 nolu AGİ için yüksek, 120 ve 106 nolu AGİ'ler için iyi, 108 nolu AGİ için ise nispeten daha düşük düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Senaryo 1 için yapılan doğrulama işlemi sonucunda ise 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde NSE değeri sırasıyla 0.648, 0.477, 0.649 ve 0.852, korelasyon katsayıları sırasıyla 0.815, 0.701, 0.807 ve 0.923 olarak elde edilmiştir. Doğrulama işlemi değerlendirildiğinde 112 nolu AGİ için oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. 120, 106 ve 108 nolu AGİ'ler için hesaplanan değerler ise kalibrasyon döneminde elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. Sonuç olarak

yapılan doğrulama işlemi ile Senaryo 1 kapsamında kalibre edilen parametrelerin düşük akım dönemlerini temsil edebileceği sonucuna varılmıştır.

Senaryo 2 kapsamında ise amaç fonksiyonu değeri 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için sırasıyla 0.528, 0.295, 0.695 ve 0.666 olarak elde edilmiştir. Aynı AGİ'ler için korelasyon katsayıları ise sırasıyla 0.768, 0.584, 0.845 ve 0.828 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar değerlendirildiğinde hem NSE hem korelasyon değerleri için 108 nolu AGİ'nin kalibrasyon performansının oldukça düşük olduğu dikkat çekmektedir. Diğer AGİ'ler için ise Senaryo 1 kadar olmasa da yine de yeterli bir kalibrasyon performansının elde edilmiş olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Senaryo 3 kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ise kalibrasyon işlemi sonucunda elde edilen NSE değerleri 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için sırasıyla 0.582, 0.537, 0.639 ve 0.559 olduğu görülmektedir. Korelasyon katsayıları ise sırasıyla 0.779, 0.742, 0.812 ve 0.832 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Senaryo 3 kapsamında da en düşük NSE değeri 108 nolu, en yüksek NSE değeri ise 106 nolu AGİ'de elde edilmiştir.

Her üç senaryo için elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, özellikle orta akımların yer aldığı Senaryo 2 kapsamında kalibrasyon performansının Senaryo 1 ve 3'e göre düşük olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, 120 ve 108 nolu AGİ'lerin bulunduğu havzalarda sanayi faaliyetlerinin diğer bölgelere göre daha yoğun olduğu ve bu faaliyetlerden kaynaklanan yapay su katkısının kalibrasyon sürecini negatif yönde etkilediği düşünülmektedir. Havza genel çıkışında 112 nolu AGİ'nin bulunduğu 3 nolu havzada ise diğer havzalara göre daha az sanayi faaliyeti bulunmakta olup drenaj alanı da 120 ve 108 nolu AGİ'lerin drenaj alanlarına göre daha büyüktür. Bu sebeple daha iyi kalibrasyon performanslarının elde edildiği görülmüştür.

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri için çizdirilen akım hidrografları değerlendirildiğinde Senaryo 1 kapsamında düşük akım dönemi için yapılan kalibrasyon sonucu, 112 nolu AGİ için gözlenen debiler ile hesaplanan debiler arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir. Ancak Senaryo 2 ve Senaryo 3 kapsamında yapılan kalibrasyon sonucunda elde edilen akış hidrografı ile gözlenen

akış hidrografının trendinin benzerlik göstermesine karşın pik debiler arasındaki uyumsuzluk amaç fonksiyonu değerlerinde ciddi düşümlere neden olmaktadır.

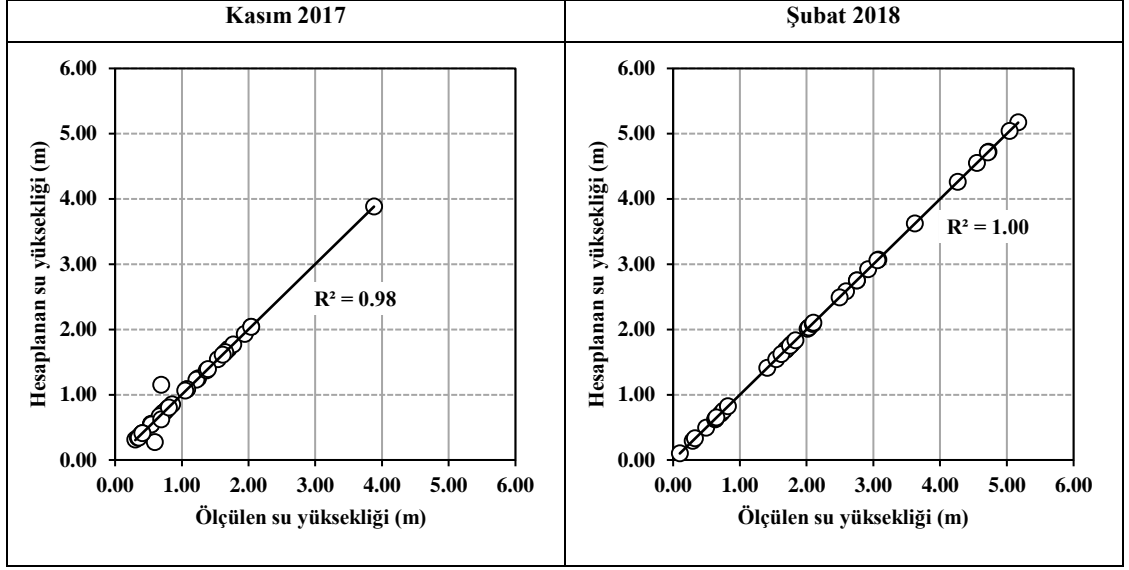
## **5.2 Hidrolik Model Sonuçları**

### **5.2.1 Kararlı Durum İçin Yapılan Analiz Sonuçları**

Hidrolik modelin kurulumunun ardından sahadaki akım durumunun bilgisayar ortamındaki benzeşiminin yapılabilmesi için kalibre edilmesi gerekmektedir. HEC-RAS ile hidrolik modelleme aşamasında dikkate alınan kalibrasyon parametresi her bir akış en kesiti için tanımlanmış olan Manning yüzey pürüzlülük katsayısıdır ( $n$ ). Bu kapsamda kalibrasyon işlemi her bir ölçüm noktasına saha çalışması sonucu elde edilen debi değerleri girilerek saha ölçümleri ile model sonuçları birbiriyle uyumlu olacak şekilde kararlı durum için  $n$  değerleri değiştirilerek yapılmıştır. Bu işlem Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için 3 farklı senaryo dikkate alınarak (Senaryo 4-6) aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir.

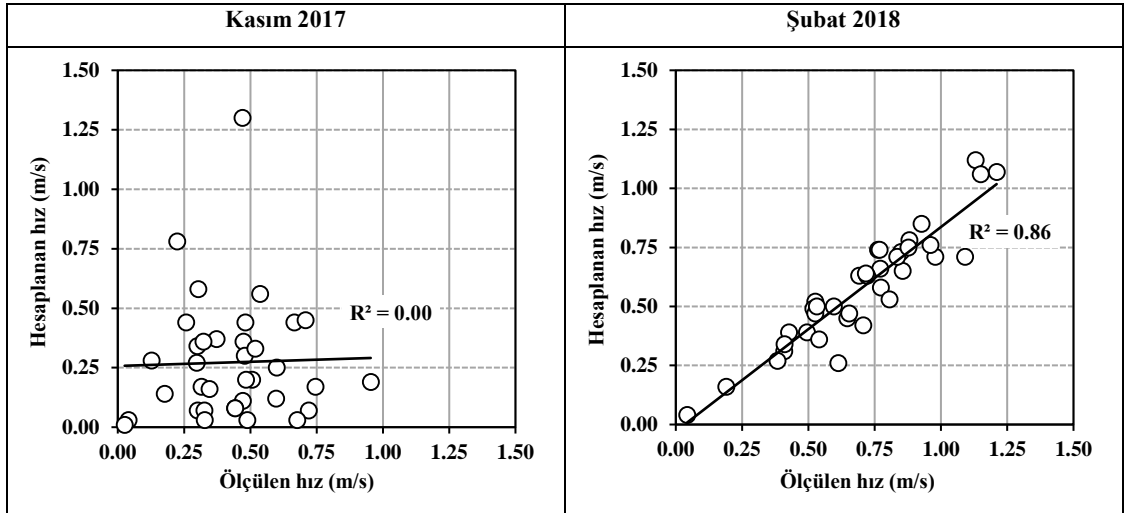
#### **5.2.1.1 Senaryo 4: Seviye Değerleri İçin Model Kalibrasyonu**

Senaryo 4'te her bir ölçüm noktası için sahada ölçülen ve model tarafından hesaplanan su seviyeleri arasındaki hata minimize edilecek şekilde model kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Hem nehir hem de sel rejimlerini kapsayan akış durumu dikkate alınarak HEC-RAS modeli çalıştırıldığı için kalibrasyon işlemi önce mansaptan membaa doğru (mansap kontrollü) yapılmış, ardından elde edilen  $n$  değerleri, membadan mansaba doğru (mempa kontrollü) yapılan kalibrasyon ile doğrulanmıştır. Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için her bir en kesit noktasında ölçülen ve model tarafından hesaplanan su seviyelerinin değişimi Şekil 5.11'de verilmiştir.



**Şekil 5.11:** Senaryo 4 - kalibrasyon sonrası elde edilen su seviyesi değerlerinin saha ölçümleri ile karşılaştırılması

Şekil 5.11'den de görüldüğü üzere kalibrasyon işleminin ardından ölçülen ve hesaplanan su seviyeleri oldukça uyum içindedir. Ancak her iki ölçüm dönemi için kurulan modelin sahadaki durumu yansıtmayı yansıtmadığını araştırmak amacıyla, belirlenen Manning pürüzlülük katsayıları ( $n$ ) kullanılarak en kesitlerde ölçülen ve model tarafından hesaplanan ortalama hız değerleri karşılaştırılmıştır. Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için bu karşılaştırmaya ait sonuçlar Şekil 5.12'de verilmiştir.



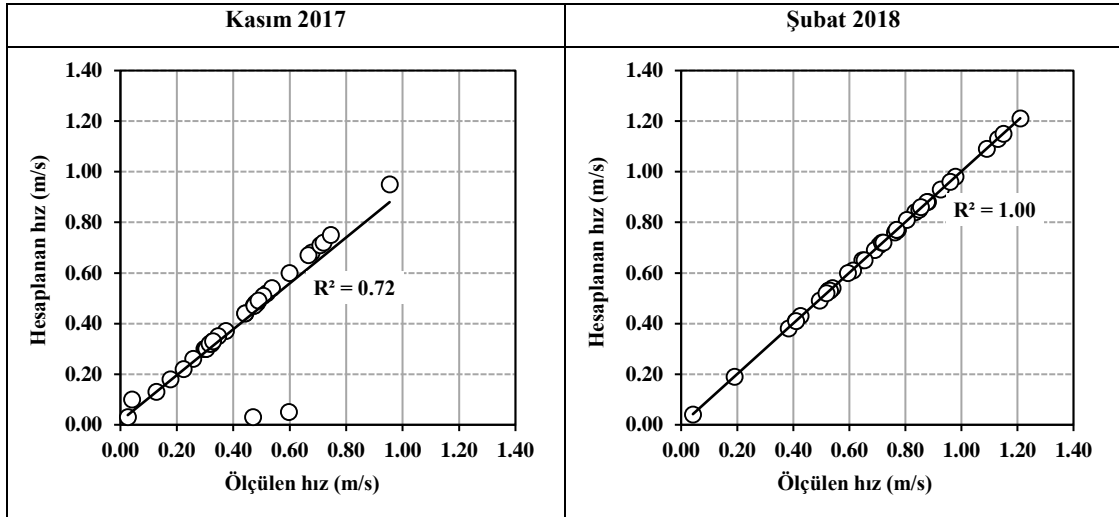
**Şekil 5.12:** Senaryo 4 - sahada ölçülen ve kalibre edilmiş parametreler için model tarafından hesaplanan hız değerlerinin karşılaştırılması

Görüleceği gibi, Kasım 2017 dönemi için ölçülen ve hesaplanan hız değerleri arasında herhangi bir ilişki bulunmamaktadır ( $R^2 = 0.00$ ). Ancak Şubat 2018

dönemi için ölçülen ve hesaplanan hız değerleri iyi bir uyum içindedir ( $R^2 = 0.86$ ). Bu nedenle Senaryo 4 kapsamında yapılan kalibrasyon işleminin Kasım 2017 dönemi için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

### 5.2.1.2 Senaryo 5: Hız Değerleri İçin Model Kalibrasyonu

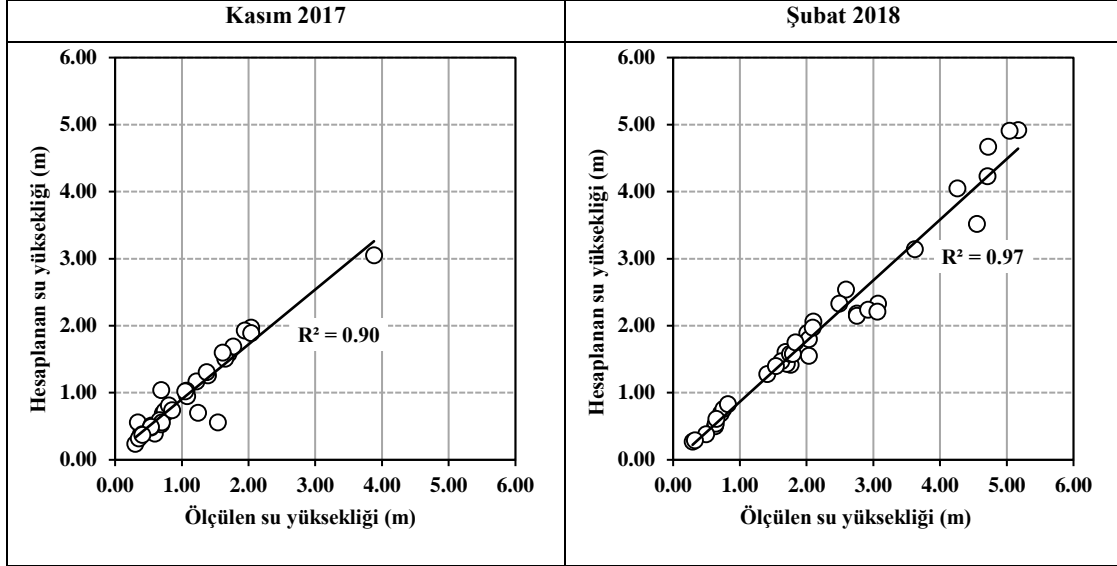
Senaryo 5'te her bir ölçüm noktası için sahada ölçülen ve model tarafından hesaplanan ortalama hız değerleri arasındaki hata minimize edilecek şekilde model kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işlemi, Senaryo 4'de olduğu gibi memba ve mansap kontrollü akım durumları dikkate alınarak yapılmıştır. Bu işlemin ardından Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için her bir en kesit noktasında ölçülen ve model tarafından hesaplanan ortalama hız değerlerinin değişimi Şekil 5.13'te verilmiştir.



**Şekil 5.13:** Senaryo 5 - kalibrasyon sonrası elde edilen ortalama hız değerlerinin saha ölçümleri ile karşılaştırılması

Şekil 5.13'te gösterildiği gibi Kasım 2017 dönemi ölçümleri için iki nokta dışında ölçülen ve hesaplanan hız değerleri birbiri ile uyum içindedir. Bu iki noktanın uyumsuz sonuçlar vermesi sonucunda  $R^2 = 0.72$  olarak elde edilmiştir. Şubat 2018 dönemi için ise ölçülen ve model tarafından hesaplanan ortalama hız değerleri mükemmel uyum içindedir ( $R^2 = 1.00$ ). Ancak Senaryo 4'de olduğu gibi her iki ölçüm dönemi için kalibre edilen modelin sahadaki durumu tam olarak yansıtıp yansıtmadığını araştırmak amacıyla her bir ölçüm noktasında ölçülen ve

model tarafından hesaplanan su yükseklikleri karşılaştırılmıştır (Şekil 5.14). Görüleceği gibi hesaplanan ve gözlenen su yükseklikleri arasındaki uyum Kasım 2017 döneminde  $R^2 = 0.90$ , Şubat 2018 döneminde ise  $R^2 = 0.97$  mertebesindedir. Bu durum Senaryo 4 kapsamında kalibre edilen modelin her iki ölçüm dönemi için de kullanılabilirliğini göstermektedir.



**Şekil 5.14:** Senaryo 5 - sahada ölçülen ve kalibre edilmiş parametreler için model tarafından hesaplanan su yüksekliği değerlerinin karşılaştırılması

### 5.2.1.3 Senaryo 6: Seviye ve Hız Değerleri İçin Model Kalibrasyonu

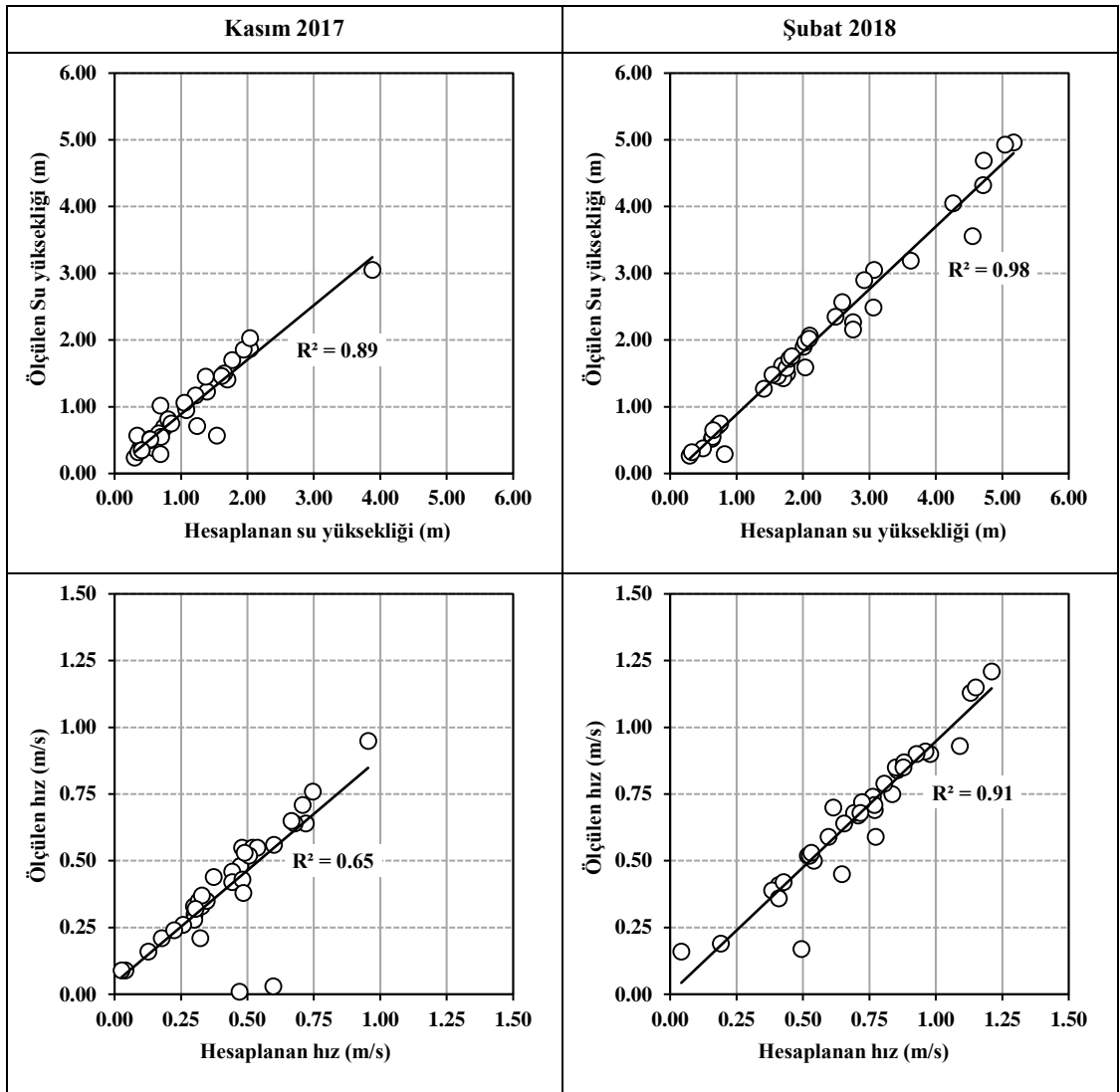
Senaryo 6'da her bir ölçüm noktası için sahada ölçülen ve model tarafından hesaplanan seviye ve ortalama hız değerleri arasındaki hata eş zamanlı minimize edilecek şekilde model kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda kalibrasyon işlemi yapılırken her bir ölçüm noktasında yapılan farklı denemeler için Denklem (5.1)'de verilen amaç fonksiyonunun minimum değere yaklaştırılması amaçlanmıştır.

$$z_i = \min \left\{ \left| \frac{\tilde{h}_i - h_i}{\tilde{h}_i} \right| + \left| \frac{\tilde{v}_i - v_i}{\tilde{v}_i} \right| \right\} \times 100 \quad ; \quad i = 1, 2, 3, \dots, 30 \quad (5.1)$$

Burada  $\tilde{h}_i$  ve  $\tilde{v}_i$  saha çalışması sonucunda  $i$  numaralı enkesitte ölçülen su yüksekliği ve hız değerini,  $h_i$  ve  $v_i$  ise model tarafından hesaplanan su yüksekliği ve hız değerini göstermektedir. Denklem (5.1) yardımıyla tüm en kesit noktalarında ölçülen ve hesaplanan hız değerleri arasındaki yüzde bağıl mutlak hata değerlerinin



toplamı minimize edilecek şekilde kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Akım durumunun yine memba ve mansap kontrollü olduğu dikkate alınarak çift yönlü kalibrasyon işlemi yapılmış ve Manning pürüzlülük katsayısı ( $n$ ) değerleri akım kolları boyunca belirlenmiştir. Her bir ölçüm noktası için sahada ölçülen ve kalibre edilmiş model tarafından hesaplanan su yüksekliği ve hız değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5.15'te verilmiştir. Şekil 5.15'te görüldüğü üzere Denklem (5.1) dikkate alınarak yapılan kalibrasyon işlemi sonucunda hem ölçülen su seviyesi hem de ortalama hız değerleri için saha ölçümleri ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.



**Şekil 5.15:** Senaryo 6 - kalibrasyon sonrası elde edilen seviye ve ortalama hız değerlerinin saha ölçümleri ile karşılaştırılması

### 5.2.2 Kararlı Akım Senaryolarının Değerlendirilmesi

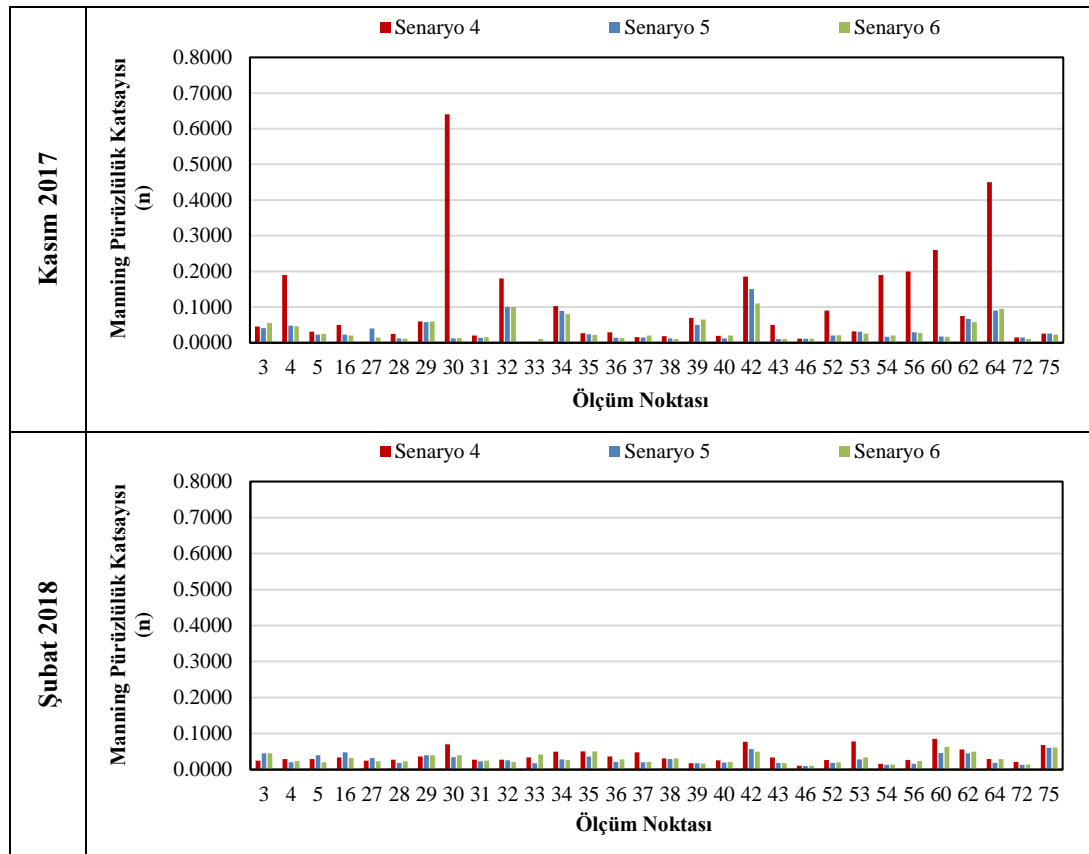
Bu bölümde kararlı durum için Senaryo 4-6 kapsamında elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirilmiş ve hangi kalibrasyon stratejisinin kullanılması gerektiği detaylı olarak tartışılmıştır. Senaryo 4'te her iki ölçüm dönemi için sahada ölçülen su seviyeleri ile HEC-RAS modeli tarafından aynı noktalarda hesaplanan su seviyeleri arasındaki hata minimize edilecek şekilde kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda hem Kasım 2017 hem de Şubat 2018 dönemleri için su yükseklikleri bakımından oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5.11). Ancak ölçüm noktalarında model tarafından hesaplanan hız değerlerinin de sahada ölçülen durumu yansıtması gerekmektedir. Bu amaçla kalibrasyon aşamasının ardından belirlenen parametre değerleri için model tekrar çalıştırılmış ve ölçüm noktalarındaki ortalama akım hızlarının ölçüm verileri ile karşılaştırması yapılmıştır (Şekil 5.12). Bu karşılaştırma işleminin sonucunda Kasım 2017 ölçümleri için kalibre edilen model ile ortalama akım hızları bakımından uygun olmayan sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Şubat 2018 dönemi için ise hesaplanan hız değerleri ile ölçülen hız değerleri  $R^2 = 0.86$  mertebesinde birbiri ile uyumludur.

Senaryo 5 kapsamında ise hız değerlerinin uyumlu olması gerekliliğinden yola çıkarak ölçüm noktalarında model tarafından hesaplanan ve sahada ölçülen ortalama akım hızları arasındaki hata minimize edilecek şekilde kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.13). Bu işlemin sonucunda her iki ölçüm dönemi için ölçülen ve hesaplanan hız değerleri arasında genel olarak iyi bir uyum elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra kalibre edilen Manning pürüzlülük değerleri kullanılarak model tekrar çalıştırılmış, hesaplanan su yükseklikleri sahada ölçülen değerlerle karşılaştırılmış (Şekil 5.14) ve akış kolları için su yüzü profillerinde herhangi bir değişiklik olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma işlemi sonucunda hesaplanan ve ölçülen su seviyeleri arasında Kasım 2017 dönemi için  $R^2 = 0.90$  ve Şubat 2018 dönemi için ise  $R^2 = 0.97$  mertebesinde bir uyum elde edilmiştir. Sonuç olarak hız ve su yüksekliği değerleri bakımından pratik anlamda kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir.

Son olarak Senaryo 6 kapsamında hem su yüksekliği hem de hız değerlerindeki değişimin aynı anda dikkate alındığı bir kalibrasyon stratejisi

kullanılmış ve ölçüm noktalarındaki parametre değerleri belirlenmiştir. Bu kalibrasyon stratejisine göre hesaplanan ve ölçülen su yükseklikleri ile hız değerleri arasında Kasım 2017 dönemi için sırasıyla  $R^2 = 0.89$  ve  $R^2 = 0.65$ , Şubat 2018 dönemi için ise sırasıyla  $R^2 = 0.98$  ve  $R^2 = 0.91$  mertebesinde uyum elde edilmiştir (Şekil 5.15). Bu uyum sebebiyle Senaryo 6 kapsamında elde edilen sonuçların da pratik anlamda kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Hesaplanan ve ölçülen su yükseklikleri ve hızların karşılaştırılmasının ardından kalibrasyon işlemi sonucunda belirlenen  $n$  değerleri için de bir karşılaştırma yapılmış ve üç senaryo için de Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemlerinde elde edilen  $n$  değerleri Şekil 5.16’da verilmiştir.



**Şekil 5.16:** Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için belirlenen  $n$  değerlerinin Senaryo 4-6 için karşılaştırılması

Şekil 5.16’den görüldüğü üzere Kasım 2017 dönemi için Senaryo 4 ve 5’te birçok ölçüm noktasında (4, 30, 32, 42, 54, 60 ve 64) büyük  $n$  değerlerinin kullanılması gerekmiştir. Buna karşın Senaryo 6 için belirlenmiş olan  $n$  değerleri

normal aralıklarda değişim göstermektedir. Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için belirlenen  $n$  değerlerinin istatistiksel özeti Tablo 5.6’da verilmiştir.

**Tablo 5.6:** Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için belirlenen  $n$  değerlerinin istatistiksel özeti

|                            | Kasım 2017 |           |           | Şubat 2018 |           |           |
|----------------------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
|                            | Senaryo 4  | Senaryo 5 | Senaryo 6 | Senaryo 4  | Senaryo 5 | Senaryo 6 |
| <b>Minimum</b>             | 0.0001     | 0.0017    | 0.0100    | 0.0110     | 0.0097    | 0.0108    |
| <b>Maksimum</b>            | 0.6400     | 0.1500    | 0.1100    | 0.0850     | 0.0600    | 0.0630    |
| <b>Medyan</b>              | 0.0475     | 0.0229    | 0.0205    | 0.0304     | 0.0243    | 0.0260    |
| <b>Ortalama</b>            | 0.1036     | 0.0358    | 0.0343    | 0.0385     | 0.0288    | 0.0306    |
| <b>St. Sapma</b>           | 0.1394     | 0.0331    | 0.0291    | 0.0194     | 0.0133    | 0.0138    |
| <b>Varyasyon Katsayısı</b> | 1.3452     | 0.9254    | 0.8482    | 0.5043     | 0.4623    | 0.4513    |

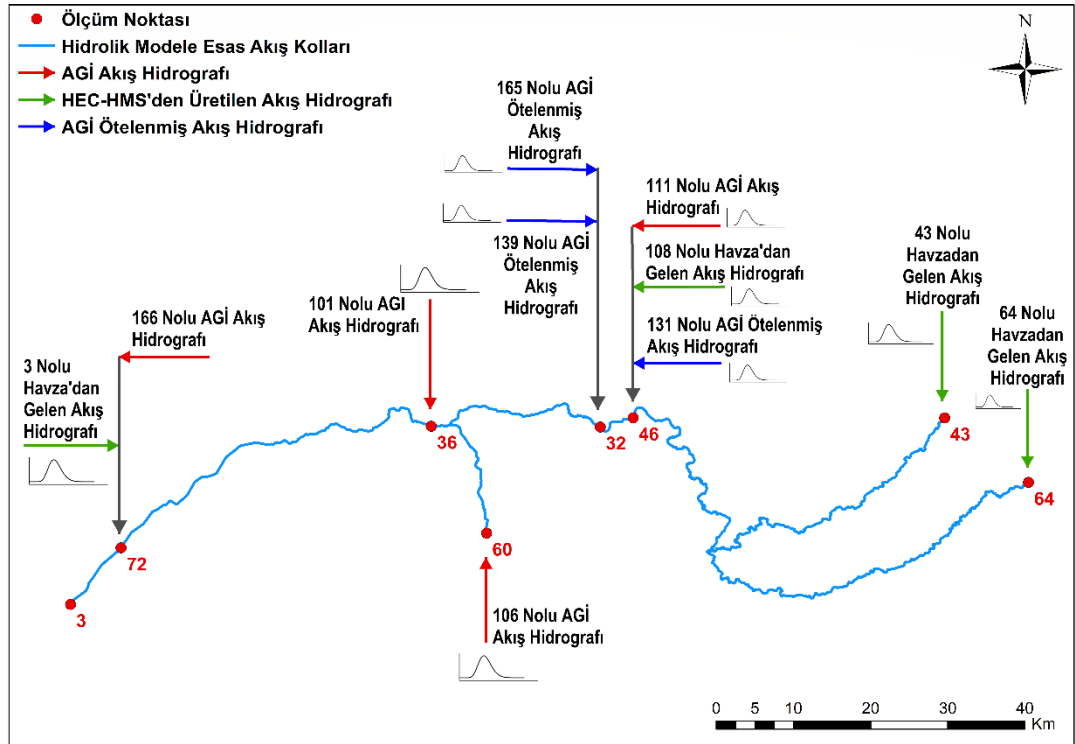
Kasım 2017 döneminde ortalama  $n$  değeri Senaryo 4 için 0.1036, Senaryo 5 için 0.0358, Senaryo 6 için ise 0.0343 olarak elde edilmiştir (Tablo 5.6). Ortalama etrafında en büyük ve en küçük saçılmalar, sırasıyla Senaryo 4 ve 6’da görülmektedir. Maksimum  $n$  değeri (0.6400) ve  $n$  değerleri arasındaki en yüksek varyasyon (% 134.5) Senaryo 4 için yapılan kalibrasyon sonucunda elde edilmiştir.

Şubat 2018 dönemi için ise ortalama  $n$  değerleri Senaryo 4-6 için sırasıyla 0.0385, 0.0288 ve 0.0306 olarak elde edilmiştir. Bu dönem için ortalama etrafındaki saçılma en fazla Senaryo 4’te en az Senaryo 5’te olmakla birlikte üç senaryo için de elde edilen  $n$  değerlerinin standart sapmaları arasında çok fazla fark bulunmamaktadır. Maksimum  $n$  değerleri, Senaryo 4’te 0.0850, Senaryo 5’te 0.0600, Senaryo 6’da 0.0630 olup her üç senaryo için varyasyon katsayıları % 50.4 ile % 45.1 arasında yer almaktadır.

Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda, Senaryo 6 kapsamında gerçekleştirilen kalibrasyon işleminin pratik anlamda kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

### 5.2.3 Kararsız Durum İçin Yapılan Analiz Sonuçları

Bu bölümde kararlı durumda yapılan analizler sonucu elde edilen Manning  $n$  pürüzlülük katsayıları kullanılarak Bölüm 4.1.6'da belirlenen düşük, orta ve yüksek akım dönemleri için kararsız akım simülasyonları yapılmıştır (Senaryo 7-9). Bu simülasyonlar, modellenen akış kollarının memba bölümlerine (43 ve 64 nolu noktaları) HEC-HMS ile kurulan hidrolojik modelden üretilen akış hidrografları, 46 nolu noktaya 111 nolu AGİ'ye ait akış hidrografı, 108 nolu havza için HEC-HMS ile elde edilen yağıştan kaynaklanan akış hidrografı ve 131 nolu AGİ'ye ait HEC-HMS modeli ile ötelenen akış hidrografı, 60 nolu noktaya 106 nolu AGİ'ye ait akış hidrografı, 36 nolu noktaya 101 nolu AGİ'ye ait akış hidrografı ve 72 nolu noktaya 3 nolu havza için HEC-HMS ile elde edilen yağıştan kaynaklanan akış hidrografı girilerek verilerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.17). 43 ve 64 noktalarından düşük, orta ve yüksek akım dönemi olmak üzere üç farklı durum için girilen hidrograflar Bölüm 5.1'de verilmiş olup 32, 36, 46 ve 72 noktalarından girilen yanal akışlara ait hidrograflar ise EK E'de sunulmuştur.



Şekil 5.17: HEC-RAS bir boyutlu kararsız akım modeli için kullanılan akış hidrografları

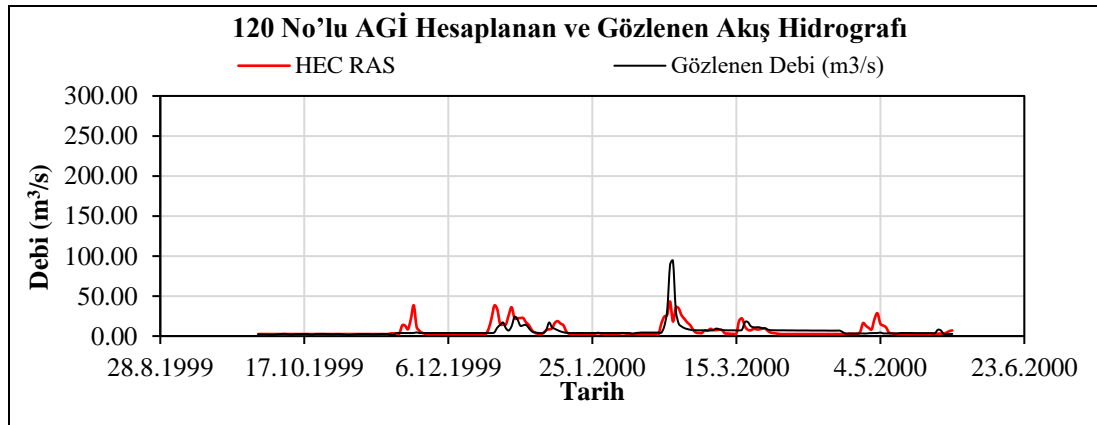
Simülasyonlar için zaman aralığı 1 saat seçilmiş ve simülasyon dönemleri için 1 saatlik su yüzü profilleri hesaplanmıştır. Ayrıca enerji çizgisi kotu ve eğimi, kanal içerisindeki ortalama akış hızı ve akış alanı, su yüzü genişliği ve Froude sayısı olmak üzere akışa ait değerler de elde edilmiştir.

### 5.2.3.1 Senaryo 7: Düşük Akım Dönemi Karasız Akım Simülasyonu

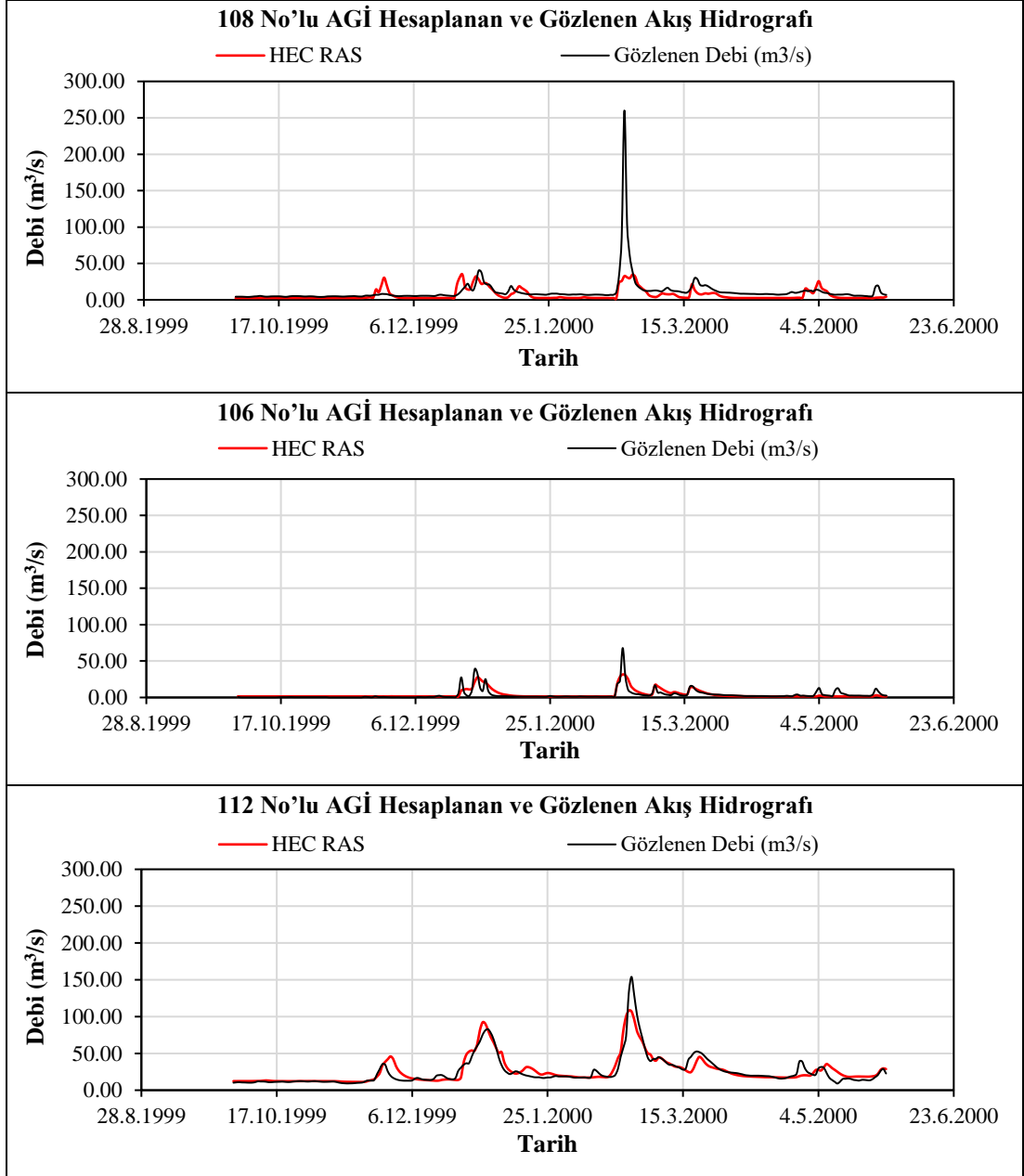
Düşük akım periyodu (1 Ekim 1999 – 30 Mayıs 2000) için yapılan simülasyon sonucunda 120, 108, 100 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen günlük bazda akış hidrografları Şekil 5.18'de verilmiştir. Hesaplanan ve gözlenen debiler arasındaki ilişki ise hem korelasyon katsayısı ( $r$ ) hem de Nash-Sutcliffe (NSE) model etkinlik katsayısı kullanılarak değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.7'de sunulmuştur. Ayrıca Senaryo 7 kapsamında her bir kesit için simülasyon süresi boyunca su yüksekliği hesaplanmıştır. Örnek olarak 1 Kasım 1999 ve 1 Şubat 2000 tarihlerinde hesaplanan su yüzü profillerinin günlük olarak gösterildiği Şekil 5.19'da görüldüğü üzere akış hattı boyunca üniform olmayan bir su yüzü profili elde edilmiştir.

**Tablo 5.7:** Senaryo 7 – Hesaplanan ve Gözlenen Debiler Arasındaki İlişki

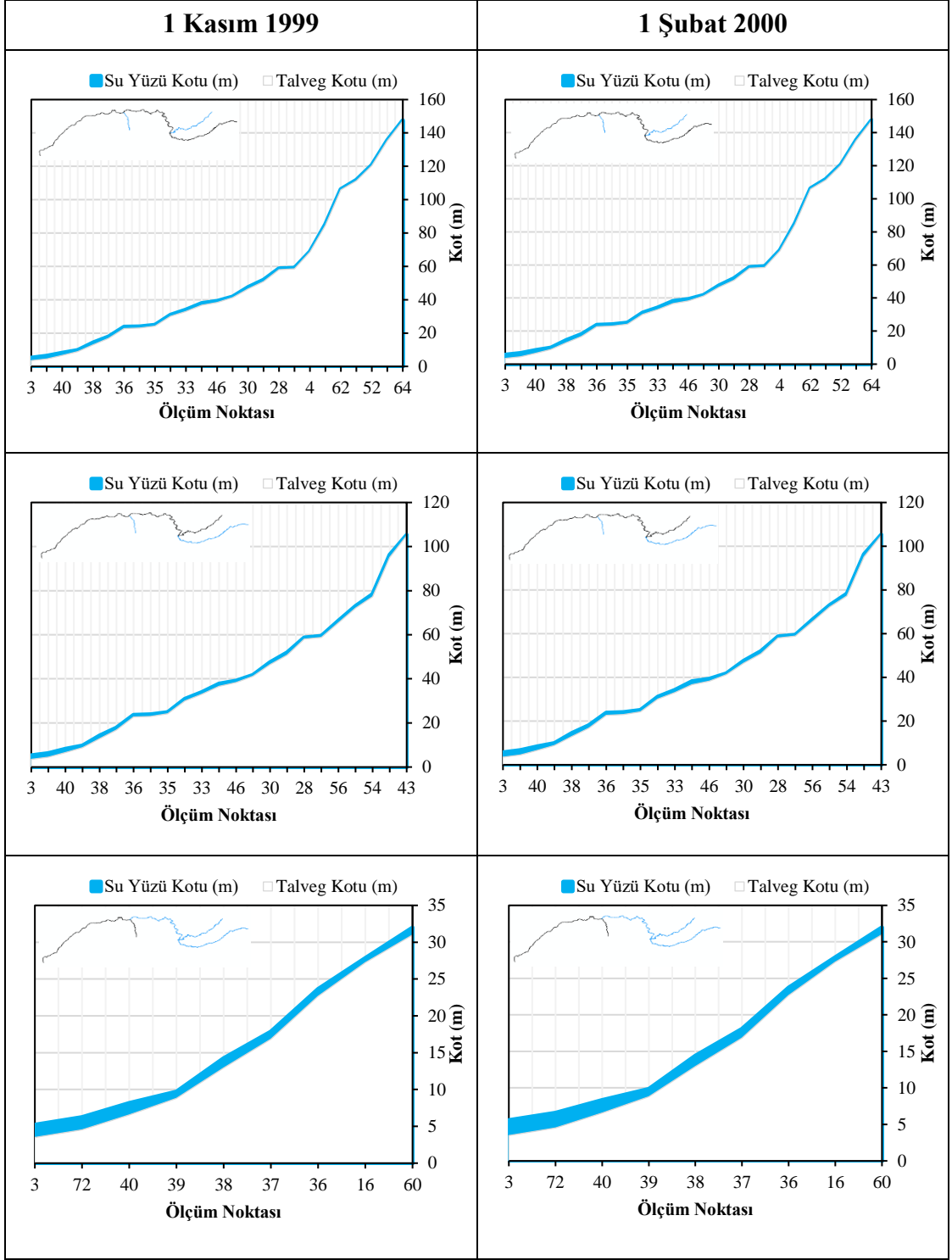
|            | Akım Gözlem İstasyonu |       |       |       |
|------------|-----------------------|-------|-------|-------|
|            | 120                   | 108   | 106   | 112   |
| <b>r</b>   | 0.501                 | 0.524 | 0.794 | 0.917 |
| <b>NSE</b> | 0.100                 | 0.200 | 0.627 | 0.832 |



**Şekil 5.18:** Senaryo 7 - 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen akış hidrografları



**Şekil 5.18 (devam):** Senaryo 7 - 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen akış hidrographları



**Şekil 5.19:** Senaryo 7 – 1 Kasım 1999 ve 1 Şubat 2000 hesaplanan su yüzü profilleri

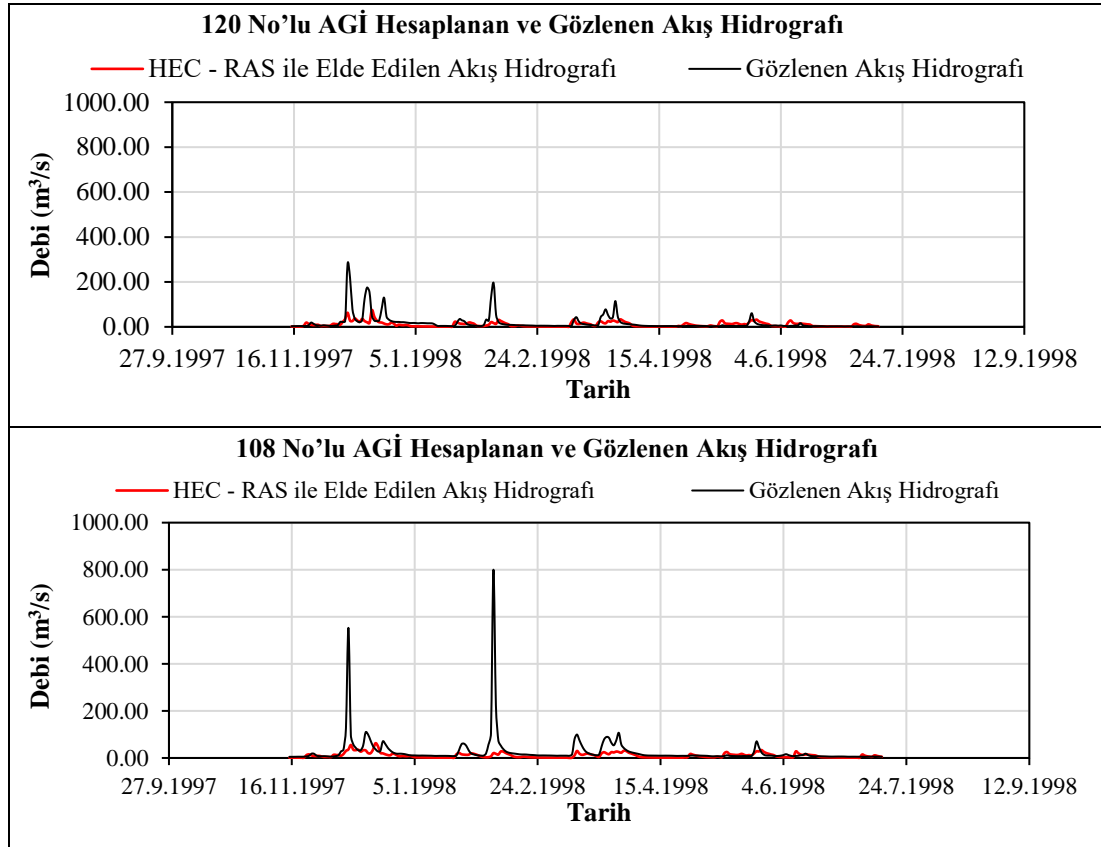


### 5.2.3.2 Senaryo 8: Orta Akım Dönemi Karasız Akım Simülasyonu

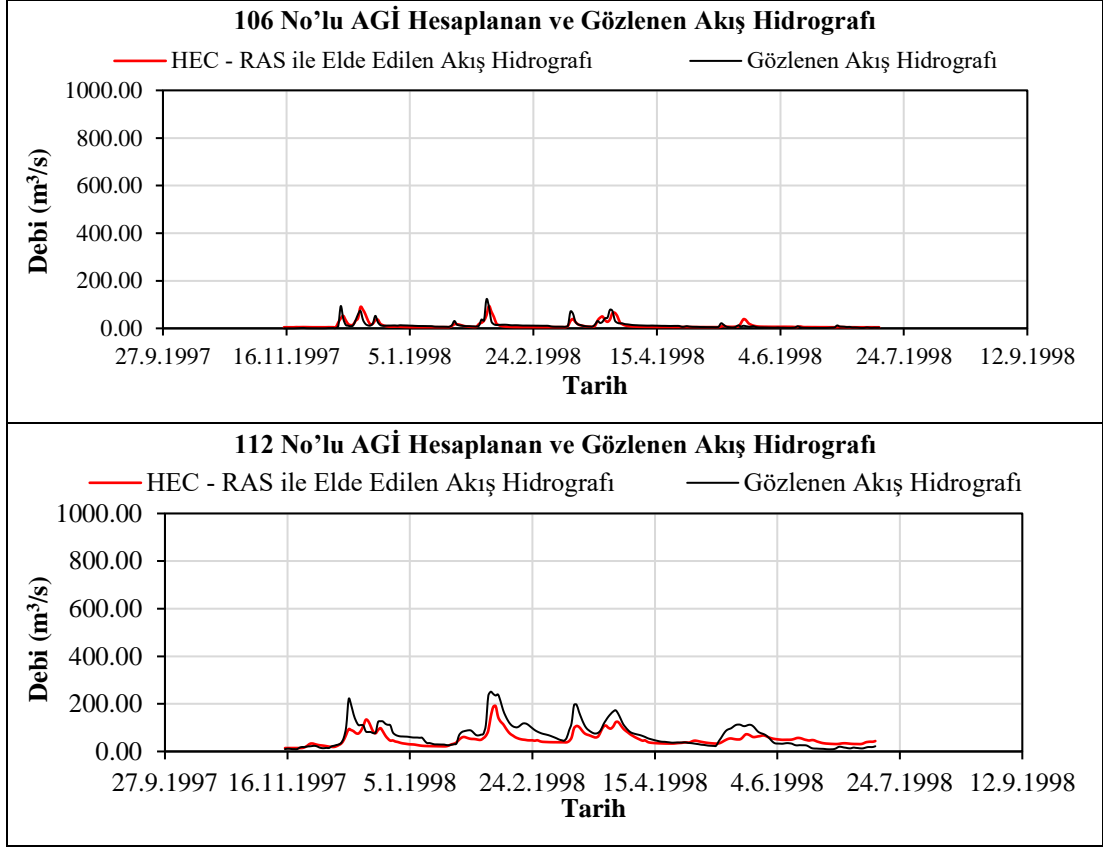
Orta akım periyodu (15 Kasım 1997 – 15 Temmuz 1998) için yapılan simülasyon sonucunda 120, 108, 100 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen akış hidrografları Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Hesaplanan ve gözlenen debilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen r ve NSE değerleri ise Tablo 5.8'de verilmiştir. Hesaplanan su yüzü profillerine örnek olarak 15 Kasım 1997 ve 15 Şubat 1998 tarihlerinde elde edilen sonuçlar da Şekil 5.21'de yer almaktadır.

**Tablo 5.8:** Senaryo 8 – Hesaplanan ve Gözlenen Debiler Arasındaki İlişki

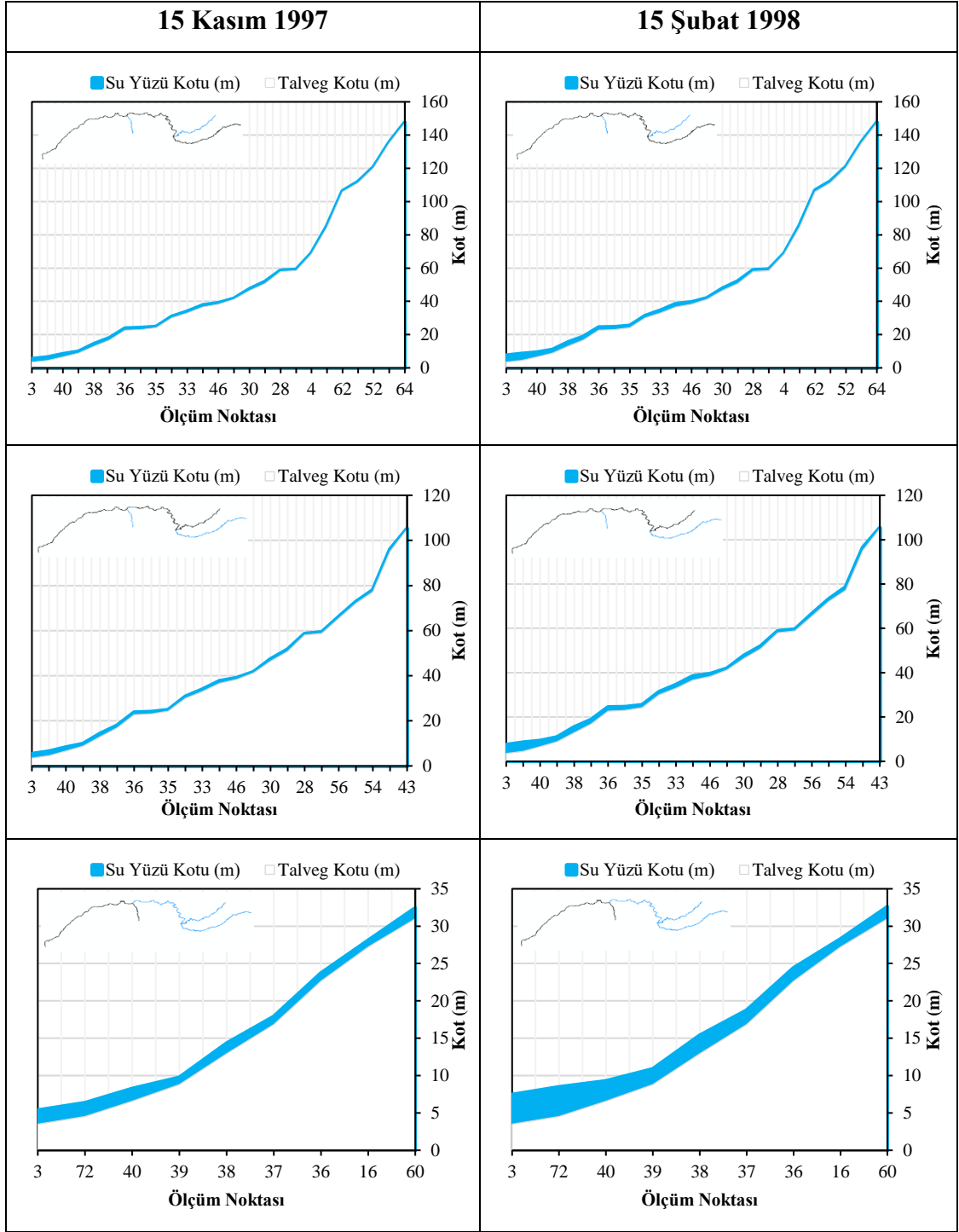
|     | Akım Gözlem İstasyonu |       |       |       |
|-----|-----------------------|-------|-------|-------|
|     | 120                   | 108   | 106   | 112   |
| r   | 0.501                 | 0.346 | 0.762 | 0.845 |
| NSE | 0.175                 | 0.023 | 0.553 | 0.549 |



**Şekil 5.20:** Senaryo 8 - 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen akış hidrografları



**Şekil 5.20 (devam):** Senaryo 8 - 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen akış hidrografları



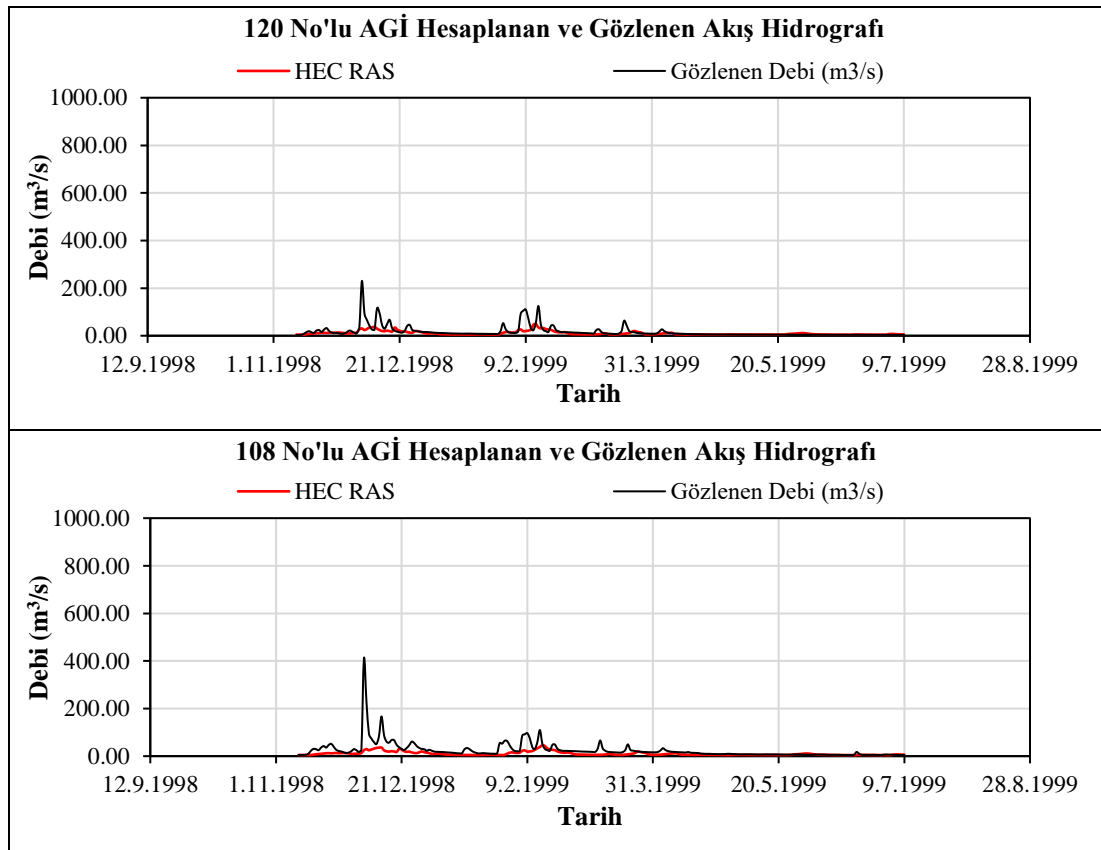
Şekil 5.21: Senaryo 8 – 15 Kasım 1997 ve 15 Şubat 1998 hesaplanan su yüzü profilleri

### 5.2.3.3 Senaryo 9: Yüksek Akım Dönemi Karasız Akım Simülasyonu

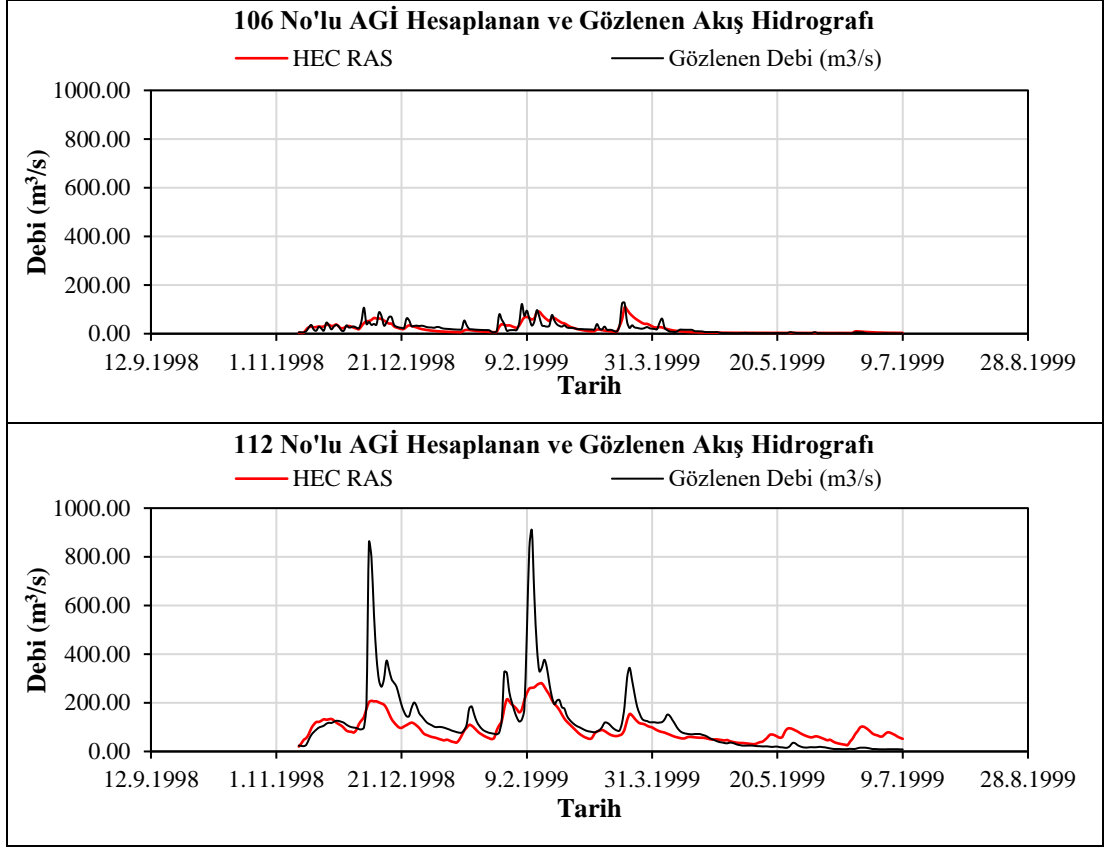
Yüksek akım periyodu (10 Kasım 1998 – 10 Temmuz 1999) için yapılan simülasyon sonucunda 120, 108, 100 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen günlük akış hidrografları Şekil 5.22'de verilmiştir. Gözlenen ve model tarafından hesaplanan debiler için r ve NSE değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 5.9'da sunulmuştur. Elde edilen su yüzü profilleri ise 10 Kasım 1998 ve 10 Şubat 1999 tarihleri için Şekil 5.23'de verilmiştir.

**Tablo 5.9:** Senaryo 9 – Hesaplanan ve Gözlenen Debiler Arasındaki İlişki

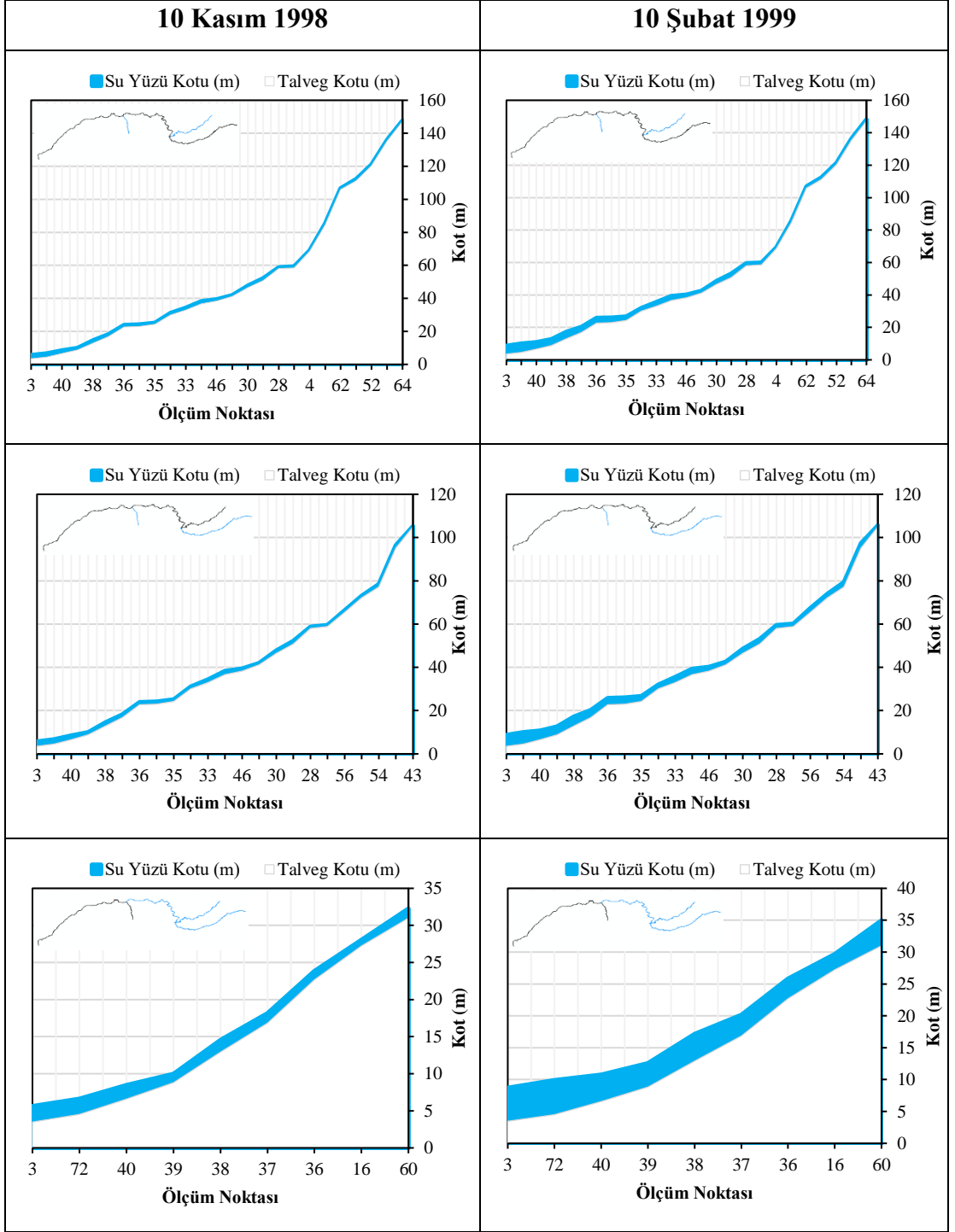
|     | Akım Gözlem İstasyonu |       |       |       |
|-----|-----------------------|-------|-------|-------|
|     | 120                   | 108   | 106   | 112   |
| r   | 0.616                 | 0.559 | 0.769 | 0.794 |
| NSE | 0.233                 | 0.028 | 0.563 | 0.443 |



**Şekil 5.22:** Senaryo 9 - 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen akış hidrografları



**Şekil 5.22 (devam):** Senaryo 9 - 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde hesaplanan ve gözlenen akış hidrografları



Şekil 5.23: Senaryo 9 – 10 Kasım 1998 ve 10 Şubat 1999 hesaplanan su yüzü profilleri

#### 5.2.4 Kararsız Akım Senaryolarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde Senaryo 7-9 kapsamında kararsız akım durumu için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Senaryo 7 kapsamında gözlenen ve hesaplanan debiler ile elde edilen NSE değeri 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için sırasıyla 0.100, 0.200, 0.627 ve 0.832'dir. Korelasyon katsayıları ise 0.501, 0.524, 0.794 ve 0.917 olarak elde edilmiştir. Senaryo 7 değerlendirildiğinde 112 nolu AGİ'de hesaplanan ve gözlenen debiler arasında bir uyum söz konusu iken 120, 108 ve 106 nolu AGİ'lerin bulunduğu kontrol noktalarında gözlenen ve hesaplanan debiler için uyum nispeten daha düşüktür.

Senaryo 8 için ise gözlenen ve hesaplanan debiler ile elde edilen NSE değeri 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için sırasıyla 0.175, 0.023, 0.553 ve 0.549'dur. Korelasyon katsayıları ise sırasıyla 0.501, 0.346, 0.762 ve 0.845 olarak hesaplanmıştır. Senaryo 5 için elde edilen sonuçlara göre hem korelasyon katsayısı hem de NSE değeri dikkate alındığında en düşük performans 108 nolu AGİ'de gözlenmiştir. Ancak 112 ve 106 nolu AGİ'lerde elde edilen sonuçlar, 120 ve 108 nolu AGİ'lerde elde edilen sonuçlara göre daha uyumludur.

Senaryo 9 kapsamında gözlenen ve hesaplanan debiler için elde edilen NSE değeri 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için sırasıyla 0.233, 0.028, 0.563 ve 0.443 iken korelasyon katsayıları sırasıyla 0.616, 0.559, 0.769 ve 0.794'tür. Özellikle 106 ve 112 nolu AGİ'ler için elde edilen korelasyon katsayıları yüksek olsa da NSE değerlerine bakıldığında Senaryo 7'de olduğu gibi bir uyum gözlenmemiştir.

Senaryo 7-9 kapsamında yapılan kararsız akım simülasyonlarında en iyi performans Senaryo 7'de, en düşük performans ise Senaryo 8'de gözlenmiştir. Elde edilen akış hidrograflarından da görüleceği üzere genellikle hesaplanan ve gözlenen akış hidrograflarının trendi benzerlik gösterse de NSE değerlerinde pik debiler arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanan ciddi düşüşler yaşanmıştır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

TÜBİTAK 115Y064 nolu proje kapsamında gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, Ergene Havzası'nın hidrolojik durumunu temsil etmek ve hidrolik modele veri sağlamak amacıyla HEC-HMS yazılımı kullanılarak bir hidrolojik model kurulmuştur. Hidrolojik model çıktıları ve saha çalışması sonucu elde edilen veriler kullanılarak HEC-RAS tabanlı bir hidrolik model kurulmuştur.

Hidrolik modellemeye esas akış kolları üzerinde 30 nokta belirlenmiş ve EKOTON Mühendislik firması ile yapılan hizmet alımı sözleşmesi çerçevesinde, belirlenen noktalarda Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemlerinde yapılan saha çalışması ile akım değerleri ve en kesitler elde edilmiştir.

Saha çalışması sonucu elde edilen veriler kullanılarak bir boyutlu kararlı akım simülasyonu ile her bir en kesit için Manning pürüzlülük katsayıları kalibre edilmiştir. Hidrolojik model çıktıları ve kalibre edilen Manning pürüzlülük katsayıları ile bir boyutlu kararsız akım simülasyonları yapılmış, akış kollarının tümü için su yüzü profilleri elde edilmiştir. Ayrıca havza çıkışında bulunan 112 nolu AGİ, Çorlu ve Ergene Derelerinin birleştiği İnanlı mevkiinde bulunan 120 nolu AGİ, Lüleburgaz mevkiinde bulunan 108 nolu AGİ ve Hayrabolu Deresi üzerinde bulunan 106 nolu AGİ'de gözlenen akış hidrografları ile hem hidrolojik hem de hidrolik model ile hesaplanan akış hidrografları arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

### 6.1 Bulgular

Hidrolojik modelde 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'lerde gözlenen akış hidrografları ile havza parametreleri kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemi 112 nolu AGİ'ye ait akış hidrografı üzerinde seçilen düşük, orta ve yüksek akım dönemi olmak üzere üç senaryo şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Düşük akım dönemi (Senaryo 1) için yapılan kalibrasyon işlemi sonucunda hesaplanan ve gözlenen debiler arasındaki ilişki Nash-Sutcliffe (NSE) model etkinlik katsayısı ve korelasyon katsayısı ile ölçülmüş, 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler



için NSE değerleri sırasıyla 0.673, 0.540, 0.633 ve 0.900, korelasyon katsayıları sırasıyla 0.837, 0.761, 0.799 ve 0.950 olarak elde edilmiştir. Orta akım dönemi (Senaryo 2) için elde edilen NSE değerleri ve korelasyon katsayıları 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için sırasıyla 0.528, 0.295, 0.695, 0.666 ve 0.768, 0.584, 0.845, 0.828 olarak hesaplanmıştır. Yüksek akım döneminde (Senaryo 3) ise 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için NSE değerleri ve korelasyon katsayıları sırasıyla 0.582, 0.537, 0.639, 0.559 ve 0.779, 0.742, 0.812, 0.832 olarak elde edilmiştir. Ayrıca Senaryo 1 için 112 nolu AGİ'nin akış hidrografi üzerinde bir doğrulama dönemi seçilmiş ve Senaryo 1 kapsamında kalibre edilen parametreler ile doğrulama işlemi yapılmıştır. Doğrulama dönemi için yapılan simülasyon sonucu NSE değerleri ve korelasyon katsayıları 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için sırasıyla 0.648, 0.477, 0.649, 0.852 ve 0.815, 0.701, 0.807, 0.923 olarak hesaplanmıştır.

Hidrolik modelleme için gerekli olan Manning pürüzlülük katsayılarının kalibrasyonu saha çalışması sonucu elde edilen veriler kullanılarak üç senaryo (Senaryo 4-6) şeklinde gerçekleştirilmiştir. Seviye değerleri (Senaryo 4) için yapılan kalibrasyon sonucunda ölçülen ve hesaplanan seviye değerleri arasındaki ilişki determinasyon katsayısı ile ifade edilmiş, Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için sırasıyla 0.98 ve 1.00 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ve ölçülen ortalama hız değerleri için determinasyon katsayıları ise Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için sırasıyla 0.00 ve 0.86'dır. Ortalama hız (Senaryo 5) değerleri için yapılan kalibrasyon sonucunda ise determinasyon katsayıları Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için sırasıyla 0.72 ve 1.00, seviye değerleri için hesaplanan determinasyon katsayıları sırasıyla 0.90 ve 0.97 olarak elde edilmiştir. Hem seviye hem de hız değerlerinin aynı anda dikkate alındığı (Senaryo 6) durum için yapılan kalibrasyon sonucu Kasım 2017 ve Şubat 2018 dönemleri için seviye değerleri arasındaki determinasyon katsayıları sırasıyla 0.89 ve 0.98, hız değerleri arasındaki determinasyon katsayıları ise sırasıyla 0.65 ve 0.91 olarak elde edilmiştir.

Senaryo 4-6 kapsamında elde edilen Manning değerleri ve hidrolojik model ile belirlenen Ergene ve Çorlu Derelerinin uç noktalarında hesaplanan akış hidrografları kullanılarak kararsız akım simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Kararsız akım simülasyonu düşük akım (Senaryo7), orta akım (Senaryo 8) ve yüksek akım (Senaryo 9) olmak üzere üç senaryo şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kararsız akım

simülasyonlarında gözlenen ve HEC-RAS tarafından hesaplanan akış hidrografları arasındaki ilişki NSE model etkinlik katsayısı ve korelasyon katsayısı ile değerlendirilmiştir. Senaryo 7 kapsamında yapılan simülasyon sonucu, 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için NSE değerleri ve korelasyon katsayıları sırasıyla 0.100, 0.200, 0.627, 0.832 ve 0.501, 0.524, 0.794, 0.917 olarak elde edilmiştir. Senaryo 8 kapsamında NSE değerleri ve korelasyon katsayıları 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için sırasıyla 0.175, 0.023, 0.553, 0.549 ve 0.501, 0.346, 0.762, 0.845 olarak elde edilmiştir. Senaryo 9 için ise 120, 108, 106 ve 112 nolu AGİ'ler için hesaplanan NSE değerleri ve korelasyon katsayıları sırasıyla 0.233, 0.028, 0.563, 0.443 ve 0.616, 0.559, 0.769, 0.794'tür. Ayrıca her bir en kesit için su yükseklikleri hesaplanmış ve su yüzü profilleri elde edilmiştir.

## 6.2 Sonuçlar

Senaryo 1-3 kapsamında, özellikle yüksek akımların yer aldığı, Senaryo 2'nin kalibrasyon performansının Senaryo 1 ve 3'e göre düşük olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, 120 ve 108 nolu AGİ'lerin bulunduğu havzalarda sanayi faaliyetlerinin diğer bölgelere göre daha yoğun olduğu ve bu faaliyetlerden kaynaklanan yapay su katkısının kalibrasyon sürecini negatif yönde etkilediği düşünülmektedir. Havza genel çıkışında 112 nolu AGİ'nin bulunduğu 3 nolu havzada ise diğer havzalara göre daha az sanayi faaliyeti bulunmakta olup drenaj alanı da 120 ve 108 nolu AGİ'lerin drenaj alanlarına göre daha büyüktür. Bu sebeple daha iyi kalibrasyon performanslarının elde edildiği görülmüştür.

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri için çizdirilen akım hidrografları değerlendirildiğinde Senaryo 1 kapsamında düşük akım dönemi için yapılan kalibrasyon sonucu 112 nolu AGİ için gözlenen debiler ile hesaplanan debiler arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir. Ancak Senaryo 2 ve Senaryo 3 kapsamında yapılan kalibrasyon sonucunda elde edilen akış hidrografı ile gözlenen akış hidrografının trendinin benzerlik göstermesine karşın pik debiler arasındaki uyumsuzluk NSE değerlerinde ciddi düşüslere neden olmaktadır.

Senaryo 4-6 için yapılan değerlendirmeler sonucunda Senaryo 4'te hem Kasım 2017 hem de Şubat 2018 dönemleri için su yükseklikleri bakımından oldukça

iyi sonuçların elde edilmesine karşın ölçülen hız değerleri ile hesaplanan hız değerleri arasında Kasım 2017 ölçümleri için uygun olmayan sonuçlar elde edilmiştir. Şubat 2018 dönemi için ise hesaplanan hız değerleri ile ölçülen hız değerleri birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Senaryo 5 ve 6 kapsamında yapılan kalibrasyon sonucunda ölçülmüş ve hesaplanan hem hız değerlerinin hem de seviye değerlerinin her iki dönem için de birbiri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Ancak Senaryo 4-6 kapsamında elde edilen Manning pürüzlülük katsayıları değerlendirildiğinde Senaryo 6'nın uygulanabilirliği sonucuna varılmıştır.

Senaryo 7-9 kapsamında yapılan kararsız akım simülasyonlarında en iyi performans Senaryo 7'de, en düşük performans ise Senaryo 8'de gözlenmiştir. Elde edilen akış hidrograflarından da görüleceği üzere genellikle hesaplanan ve gözlenen akış hidrograflarının trendi benzerlik gösterse de NSE değerlerinde, pik debiler arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanan ciddi düşüşler yaşanmıştır.

### 6.3 Öneriler

Ergene Havzası içerisinde özellikle Çorlu Deresi etrafında yoğunlaşmış olan endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atık su deşarj miktarlarının tespit edilmesine yönelik bir uygulama olmadığı gibi Çorlu Deresi üzerinde herhangi bir akım gözlem istasyonunun da bulunmaması, atık su deşarjı konusunda belirsizliklere neden olmaktadır. Dolayısıyla yapılan müdahaleler ile ilgili verilerin temin edilememesi ve modelleme aşamasında kullanılamaması model performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Endüstriyel faaliyetlerin bulunduğu bölgelerde atık su deşarjına ilişkin düzenlemelerin yeniden gözden geçirilmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, özellikle Çorlu Deresi üzerinde müdahalelerin tespit edilebileceği noktalarda akım gözlem istasyonlarının kurulması da modelleme çalışmalarının sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesine katkıda bulunacaktır.

Havza içerisinde mevcut olan akım gözlem istasyonlarının ölçüm periyotlarının düzensizliği yine modelleme sonuçlarını olumsuz etkileyen diğer bir önemli husus olarak tespit edilmiştir. Söz konusu istasyonların farklı periyotlarda ölçüm yapmış olması, modelleme aşamasında birtakım zorlukları da beraberinde getirmiştir. Bu nedenle havza genelinde yer alan akım gözlem istasyonlarında

ölçülen verilerin sürekliliğinin sağlanması ve bu istasyonların standardize edilmesi, etkin modelleme çalışmaları açısından büyük önem arz etmektedir.

Gelişmiş ülkelerde akışın gözlenmesi sürecinde kullanılan teknolojiler, verilerin anlık ve sürekli bir şekilde elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla havza genelinde bu teknolojilerin adaptasyonun, modellemenin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesine önemli katkılar sağlayacağı tartışmasızdır.

## 7. KAYNAKLAR

Akkaya, C., Efeoğlu, A. ve Yeşil, N., "Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve Direktifin Türkiye’de Uygulanması" *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, 195–204, (2011).

Arnold, J. G. ve Williams, J. R., "Validation of SWRRB—Simulator for Water Resources in Rural Basins", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 113 (2), 243-256, (1987).

Arnold, J. G., Williams, J. R. ve Maidment, D. R., "Continuous-Time Water and Sediment-Routing Model for Large Basins", *Journal of Hydraulic Engineering*, 121 (2), 171-183, (1995).

Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. ve Williams, J. R., "Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development", *Journal of the American Water Resources Association*, 34 (1), 73-89, (1998). doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x

Aydın, O. ve Raja, N. B., "Yağışın Mekânsal Dağılışında Deterministik ve Stokastik Yöntemler: Mauritius Örneği, Doğu Afrika", *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 14 (1), 1-14, (2016). doi:10.1501/cogbil\_0000000170

Aquaveo, WMS User Manual (v10.1) The Watershed Modeling System, 738, (2017).

Bağdatlı, M. C. ve Albut, S., "Taşkın Kontrolü Çalışmalarında CBS’nin Kullanım Etkinliğinin Değerlendirilmesi: Tekirdağ Maymun Dere Havzası Pilot Uygulaması", *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, Zonguldak, (2012).

Bayat, M. M., "Hidrolojik Model Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Manisa, (2011).

Bayazıt, M., *Hidrolojik Modeller*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, (1998).

Benjankar, R., Tonina, D., McKean, J. A., Sohrabi, M. M., Chen, Q. ve Vidergar, D., "Dam Operations May Improve Aquatic Habitat and Offset Negative Effects of Climate Change", *Journal of Environmental Management*, 213, 126-134, (2018). doi:10.1016/j.jenvman.2018.02.066

Bennett, T.H., "Development and Application Of A Continuous Soil Moisture Accounting Algorithm for The Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)", *University of California Department of Civil and Environmental Engineering*, Davis. (1998).

Bredesen, A. ve Brown, C. J., "Comparison of Hydrologic Model Performance Statistics Using Rain Gauge and NEXRAD Precipitation Input at Different Watershed Spatial Scales and Rainfall Return Frequencies for The Upper St. Johns River, Florida USA", *Proceedings*, 7 (1), 2-14, (2018). doi:10.3390/ecws-3-05806

Brown, L. C. ve Barnwell, T. O., *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual* (p. 189). Athens, Georgia: US Environmental Protection Agency. Office of Research and Development, Environmental Research Laboratory, (1987).

Brunner, G. W., "HEC-RAS (River Analysis System)", North American Water and Environment Congress & Destructive Water, ASCE, 3782-3787 (1996).

Cengiz, T. M., "Meriç Havzasının Hidrolojik Yöneden İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (1996).

Chen, J. ve Adams, B. J., "Integration of Artificial Neural Networks with Conceptual Models in Rainfall-Runoff Modeling", *Journal of Hydrology*, 318 (1-4), 232-249, (2006). doi:10.1016/j.jhydrol.2005.06.017

Cheng, Q., Ko, C., Yuan, Y., Ge, Y. ve Zhang, S., "GIS Modeling for Predicting River Runoff Volume in Ungauged Drainages in the Greater Toronto Area, Canada", *Computers and Geosciences*, 32 (8), 1108-1119, (2006). doi:10.1016/j.cageo.2006.02.005

Chou, Y. J., Nelson, K. S., Holleman, R. C., Fringer, O. B., Stacey, M. T., Lacy, J. R., Monismith, S. G. ve Koseff, J. R., "Three-Dimensional Modeling of Fine Sediment Transport by Waves and Currents in a Shallow Estuary", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123 (6), 4177-4199, (2018). doi:10.1029/2017JC013064

Chow, V. Te, Maidment, D. R. ve Mays, L. W., *Applied Hydrology*, (B. J. Clark ve J. Morriss, Ed.). Singapore: McGraw-Hill Book Company, (1988).

Coleman, S.E., Lauchlan, C.S. ve Melville, B.W., "Clear Water Scour Development at Bridge Abutments", *Journal of Hydrology*, 41 (5), 521-531, (2003).

Croke, B. F. W. ve Jakeman, A. J., "A Catchment Moisture Deficit Module for the IHACRES Rainfall-Runoff Model", *Environmental Modelling & Software*, 19 (1), 1-5, (2004). doi:10.1016/J.ENVSOF.2003.09.001

Cronshey, R., "Urban Hydrology for Small Watersheds Technical Release 55 (TR-55)", US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division, (1986).

Cüceloğlu, G., "Darlık Havzasının Model Destekli Hidrolojik Analizi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2013).

Dawdy, D. R., ve Lichty, R. W., "Methodology of Hydrologic Model Building" *IAHS Publ*, 81, 347-355, (1968).

De Silva, M. M. G. T., Weerakoon, S. B. ve Herath, S., "Modeling of Event and Continuous Flow Hydrographs with HEC-HMS: Case Study in the

Kelani River Basin, Sri Lanka", *Journal of Hydrologic Engineering*, 19 (4), 800-806, (2014). doi:10.1061/(asce)he.1943-5584.0000846

Dey, S. ve Barbhuiya, A. K., "Time Variation of Scour at Abutments" *Journal of Hydraulic Engineering*, 131 (1), 11-23, (2005).  
doi:10.1061/(asce)0733-9429(2005)131:1(11)

Doğan, E., Sönmez, O., Yapan, E., Othan, K., Özdemir, S. ve Çitgez, T., "Aşağı Sakarya Nehrinde Taşkın Yayılım Haritalarının Elde Edilmesi". *Sakarya University Journal of Science*, 17 (3), 363–369, (2013).  
doi:10.16984/SAUFBED.44256

Emerson, C. H., Welty, C. ve Traver, R. G., "Application of HEC-HMS to Model the Additive Effects of Multiple Detention Basins over a Range of Measured Storm Volumes", *World Water & Environmental Resources Congress*, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 1-8, (2003).  
doi:10.1061/40685(2003)319

Engelund, F. ve Fredsøe, J., "A Sediment Transport Model for Straight Alluvial Channels", *Hydrology Research*, 7 (5), 293-306, (1976).  
doi:10.2166/nh.1976.0019

Gee, D. M. ve Brunner, G. W., "Dam Break Flood Routing Using HEC-RAS and NWS-FLDWAV", *Impacts of Global Climate Change*, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 1-9, (2005).  
doi:10.1061/40792(173)401

Gibbs, R. J., "Amazon River Sediment Transport in the Atlantic Ocean", *Geology*, 4 (1), 45-48, (1976).  
doi:10.1130/00917613(1976)4<45:ARSTIT>2.0.CO;2

Goodarzi, M., Salahi, B. ve Hosseini, S. A., "Assessment of IHACRES Model in Simulating River Discharge in Urmia Lake Basin", *Iranian Journal of Watershed Management Science And Engineering*, 12 (43), 1-10, (2019).



Güçlü, Y. S., "Climate Change Effect on Instantaneous High Flows", *Su Kaynakları*, 4 (1), 23-30, (2019).

Hansen, E.M., L.C. Schreiner, and J.F. Miller., Application of Probable Maximum Precipitation Estimates – United States East of the 105th Meridian. Hydrometeorological Report No. 52. National Weather Service, Washington, D.C., (1982).

Hicks, F. E., "Hydraulic Flood Routing with Minimal Channel Data: Peace River, Canada", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 23 (2), 524-535, (1996). doi:10.1139/196-057

Hope, A., Decker, J. ve Jankowski, P., "Utility of Gridded Rainfall for IHACRES Daily River Flow Predictions in Southern California Watersheds", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 44 (2), 428-435, (2008). doi:10.1111/j.1752-1688.2008.00172.x

Horton, R. E., "The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle", *Transactions American Geophysical Union*, 14 (1), 446-460, (1933).

Hunt, J., Brunner, G. W. ve Larock, B. E., "Flow Transitions in Bridge Backwater Analysis", *Journal of Hydraulic Engineering*, 125 (9), 981-983, (1999). doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:9(981)

Izaurrealde, R. C., Williams, J. R., McGill, W. B., Rosenberg, N. J. ve Jakas, M. Q., "Simulating Soil C Dynamics with EPIC: Model Description and Testing Against Long-Term Data", *Ecological Modelling*, 192 (3-4), 362-384, (2006).

Jakeman, A. J. ve Hornberger, G. M., "How Much Complexity is Warranted in a Rainfall-Runoff Model?" *Water Resources Research*, 29 (8), 2637-2649, (1993).

Jakeman, A. J., Littlewood, I. G. ve Whitehead, P. G., "Computation of the Instantaneous Unit Hydrograph and Identifiable Component Flows with Application to Two Small Upland Catchments", *Journal of Hydrology*, 117 (1-4), 275-300, (1990). doi:10.1016/0022-1694(90)90097-H

Karataş, A., "Identifying Surface Runoff Distribution and Amount in Stream Basins: Ergene River Basin", *Turkish Journal of Water Science and Management*, 2 (2), 40-83, (2019). doi:10.31807/tjwsm.364011

Karayusufoğlu, S., "Solaklı Havzasının Uzaktan Algılama (ua) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (cbs) Kullanılarak Hidrolojik Modelininin Oluşturulması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalı*, İstanbul, (2010).

Kikine, B. D., "Hydrological Modeling And Forecasting Using Hec-Hms Soil Moisture Accounting For A Snow Dominated Basin in Turkey", Ms Thesis, *Anadolu University graduate School of Sciences Department od Civil Engineering*, Eskişehir, (2017).

Knebl, M. R., Yang, Z. L., Hutchison, K. ve Maidment, D. R., "Regional Scale Flood Modeling Using NEXRAD Rainfall, GIS, and HEC-HMS/ RAS: A Case Study for the San Antonio River Basin Summer 2002 Storm Event", *Journal of Environmental Management*, 75(4), 325-336, (2005). doi:10.1016/j.jenvman.2004.11.024

Knisel, W. G., CREAMS: a Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems, United States Department of Agriculture, Conservation Research Report (USA), (1980).

Kocaman, I., Konukcu, F. ve Istanbuluoglu, A., "Research on the Sedimentation and Erosion Problem of the Ergene River Basin in Western Turkey and Precautions to Control it", *Eurasian Soil Science*, 40 (10), 1110-1116, (2007). doi:10.1134/s1064229307100092

Köse, Ö. ve Yanmaz, A. M., "Köprü Kenar Ayaklanndaki Oyulma Güvenilirliği", *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, 21 (1), 4919-4934, (2010).

Kull, D., Feldman, A., "Evolution of Clark's Unit Graph Method to Spatially Distributed Runoff." *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, 3 (1), 9-19, (1998).

Lamb, R., "Calibration of a Conceptual Rainfall-Runoff Model for Flood Frequency Estimation by Continuous Simulation", *Water Resources Research*, 35 (10), 3103-3114, (1999).

Lévite, H., Sally, H. ve Cour, J., "Water Demand Management Scenarios in a Water-Stressed Basin in South Africa", *3rd WARSFA/ Waternet Symposium*, Arusha, (2002). doi:10.1016/j.pce.2003.08.025

Leavesley, G. H., Lichty, R.W., Troutman, B.M., and Saindon, L.G., Precipitation-runoff modeling system user's manual, Water-Resources Investigations report, 83, 4238. (1983).

Leonard, R. A., Knisel, W. G. ve Still, D. A., "GLEAMS: Groundwater loading effects of agricultural management systems", *Transactions of the ASAE*, 30 (5), 1403-1418, (1987).

Littlewood, I.G., Down, K., Parker, J.R. ve Post, D.A., IHACRES v. 1.0 User Guide. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK & Integrated Catchment Assessment and Management Centre, Australian National University, Canberra, Australia, 94pp, (1997).

Manabe, S., Smagorinsky, J., Holloway, J. L. ve Stone, H. M., "Simulated Climatology of a General Circulation Model With a Hydrologic Cycle", *Monthly Weather Review*, 93 (12), 769-498, (1965). doi:10.1175/1520-0493(1970)098<0175:scoagc>2.3.co;2

Makhlouf, Z., ve Michel, C., "A Two-Parameter Monthly Water Balance Model for French Watersheds", *Journal of Hydrology*, 162 (3-4), 299-318, (1994).

Meriç, B. T., "Su Kaynakları Yönetimi ve Türkiye", *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 28 (1), 27-38, (2004).

Mouelhi, S. Michel, C. Perrin ve C. Andreassian, V., "Stepwise Development of a Two Parameter Monthly Water Balance Model", *Journal of Hydrology*, 318 (1-4), 200-214, (2006).

Oliveto, G. ve Hager, W. H., "Temporal Evolution of Clear-Water Pier and Abutment Scour", *Journal of Hydraulic Engineering*, 128 (9), 811-820, (2002). doi:10.1061/(asce)0733-9429(2002)128:9(811)

Onuşuel, G., "Analysis of Floods Using The HEC-1 Program Package", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (1999).

Ordu-Sağlam, Ş., "Ergene Havzası'nda Yüzeysel Su Kirlenmesinin Çevre Bilgi Sistemi Yardımıyla İzlenmesi ve Kontrol Yöntemlerinin Geliştirilmesi", Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2005).

Ökten, Ş., "Investigation of the Safe and Sustainable Yields for The Sandy Complex Aquifer System in Ergene River Basin", MSc. Thesis, *The Graduate School Of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University Department Of Geological Engineering*, Ankara, (2004).

Özdemir, H., "SCS CN Yağış-Akış Modelinin CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Uygulanması: Havran Çayı Havzası Örneği (Balıkesir)" *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5 (2), 1-12, (2007).

Özdemir, H., Akbulak, C. ve Özcan, H., "Çokal Barajı (Çanakkale) çökme Modeli ve Taşkın Risk Analizi", *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 659-698, (2011).

Paçal, M., "Hydrological and Water Quality Modeling of Ergene River Basin", MSc. Thesis, *Yıldız Technical University Graduate School Of Natural And Applied Sciences Department Of Civil Engineering*, İstanbul, (2017).

Peters, J. and Easton, D., "Runoff Simulation Using Radar Rainfall Data." *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 32 (4), 753-760, (1996).

Popescu, I., *Computational Hydraulics*, London, UK: IWA Publishing, (2014).

Ponce, V.M., "Diffusion Wave Modeling of Catchment Dynamics." *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, 112 (8), 716-727, (1986).

Prata, D., Marins, M., Sobral, ; B, Conceição, ; A ve Vissirini, F., "Flooding Analisis, Using HEC-RAS Modeling for Taquaraçu River, in the Ibiracu City, Espírito Santo, Brazil", *12nd International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre/Brazil, 11-16, (2011).

Priestley, C. H. B., R. J. Taylor., "On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters." *Monthly Weather Review*, 100, 81-92, 1972.

Raskin, P., Hansen, E., Zhu, Z. ve Stavisky, D., "Simulation of Water Supply and Demand in the Aral Sea Region", *Water International*, 17 (2), 55-67, (1992). doi:10.1080/02508069208686127

Roy, D., Begam, S., Ghosh, S. ve Jana, S., "Calibration and Validation of HEC-HMS Model for a River Basin in Eastern India", *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8 (1), 40-56, (2013).

Rycroft, D. W. ve Wegerich, K., "The Three Blind Spots of Afghanistan: Water Flow, Irrigation Development, and the Impact of Climate Change", *China and Eurasia Forum Quarterly*, 7 (4), 115-133, (2009).

Sakkas, J. G. ve Strelkoff, T., "Dam-Break Flood in a Prismatic Dry Channel", *ASCE Journal of Hydrological Engineering*, 99 (12), 2195-2216, (1973).

Santos, C. A. S., Rocha, F. A., Ramos, T. B., Alves, L. M., Mateus, M., de Oliveira, R. P. ve Neves, R., "Using a Hydrologic Model to Assess the Performance of Regional Climate Models in a Semi-Arid Watershed in Brazil", *Water (Switzerland)*, 11 (1), 170, (2019). doi:10.3390/w11010170

Sardoi, E. R., Rostami, N., Sigaroudi, S. K. ve Taheri, S., "Calibration of Loss Estimation Methods in HEC-HMS for Simulation of Surface Runoff Case Study: Amirkabir Dam Watershed, Iran", *Advances in Environmental Biology*, 6 (1), 343-348, (2012).

Schreider, S. Y., Smith, D. I. ve Jakeman, A. J., "Climate Change Impacts on Urban Flooding", *Climatic Change*, 47 (1), 91-115, (2000).

doi:10.1023/a:1005621523177

SCS, National Engineering Handbook, Hydrology, Section 4, Soil Conservation Service, US Department of Agriculture, Washington DC, (1956).

Seçkin, G., Seçkin, N. O., Ardiçlioğlu, M. ve Selek, Z., "Bir Köprü Ayağı Etrafındaki Su Yüzü Profiline Modellenmesi", *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (2), 257-264, (2003).

Sherman, L. K., "Streamflow From Rainfall by the Unit-Graph Method", *Eng. News Record*, 108, 501-505, (1932).

Snyder, F. F., "A Conception of Runoff-Phenomena", *Transactions American Geophysical Union*, 20 (4), 725-738, (1939).

Sui, D. Z. ve Maggio, R. C., "Integrating GIS with Hydrological Modeling: Practices, Problems, and Prospects", *Computers, Environment and Urban Systems*, 23 (1), 33-51, (1999). doi:10.1016/S0198-9715(98)00052-0

Sui, J., Karney, B. W. ve Fang, D., "Ice Jams In a Small River and the HEC-RAS Modeling", *Journal of Hydrodynamics*, 17 (2), 127-133, (2005).

Swart, D. H., "Hydraulic Methods and Modeling. Hydraulic Structure", *Equipment and Water Data Acquisition Systems* 1, 136, (2009).

Şişman, E., "Su Talep Seviyesine Göre Kurak ve Sulak Dönem Analizi", *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10 (1), 301-310, (2019).

doi:10.24012/dumf.449592

T.C. Kalkınma Bakanlığı Özel İhtisas Komisyonu, Onuncu Kalkınma Planı: Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Raporu, Ankara, (2014)

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı., 1/100.000 Ölçekli Trakya Alt Bölgesi Ergene Havzası Revizyon Çevre Düzeni Planı Plan Açıklama Raporu, (2009).

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ergene Nehri Havzası Çevre Yönetimi Master Planı Final Raporu, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, (2008a).

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Meriç-Ergene Nehri Havzası Koruma Eylem Planı (Taslak), Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, (2008b).

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, "Hidrolik ve Hidrolojik Modelleme", Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, (2015).

<https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Menu/49/Arastirma-Ve-Degerlendirme-Daire-Baskanligi-Sunumlari>, Erişim: 19.03.2019.

Tahmasbinejad, H., Feyzolahpour, M., Mumipour, M. ve Zakerhoseini, F., "Rainfall-runoff Simulation and Modeling of Karun River Using HEC-RAS and HEC-HMS Models, Izeh District, Iran", *Journal of Applied Sciences*, 12 (18), 1900-1908, (2012). doi:10.3923/jas.2012.1900.1908

Timbadiya, P. V., Patel, P. L. ve Porey, P. D., "Calibration of HEC-RAS Model on Prediction of Flood for Lower Tapi River, India", *Journal of Water Resource and Protection*, 3 (11), 805-811, (2011).

doi:10.4236/jwarp.2011.311090

Tomlinson, R.F., "A Geographic Information System for Regional Planning", *In Symposium on Land Evaluation*, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, ed. G.A. Stewart. Melbourne: MacMillan of Australia, (1968).

TÜİK, İllere Göre Nüfus ve Yıllık Ortalama Nüfus Artış Hızları, [www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=1634](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1634), (2019).

Erişim: 27.06.2019

USACE, Standard Project Flood Determination., Engineering Manual 1110-2-1411., U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, 1965.

USACE, Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, USA, (2000).

USACE, HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, USA, (2016).

Usul, N., *Mühendislik Hidrolojisi*, Ankara: ODTÜ Yayıncılık , (2008).

URL-1: (<https://www.weap21.org/index.asp?action=219> Erişim 21.4.2019)

Vieux, B. E., "Distributed Hydrologic Modeling Using GIS", *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*, Springer, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1-17 (2001). doi:10.1007/978-94-015-9710-4\_1

Wang, J., Zhang, Z., Greimann, B. ve Huang, V., "Application and Evaluation of the HEC-RAS – Riparian Vegetation Simulation Module to the Sacramento River", *Ecological Modelling*, 368, 158-168, (2018). doi:10.1016/J.ECOLMODEL.2017.11.011

Wilcock, P. R. ve Crowe, J. C., "Surface-based Transport Model for Mixed-Size Sediment", *Journal of Hydraulic Engineering*, 129 (2), 120-128, (2003). doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:2(120)



Williams, J. R., "The Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC) Model: a Case History", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 329 (1255), 421-428, (1990).

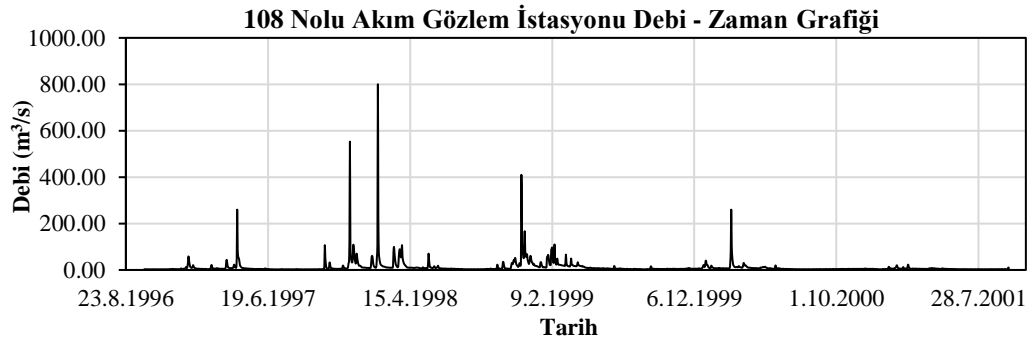
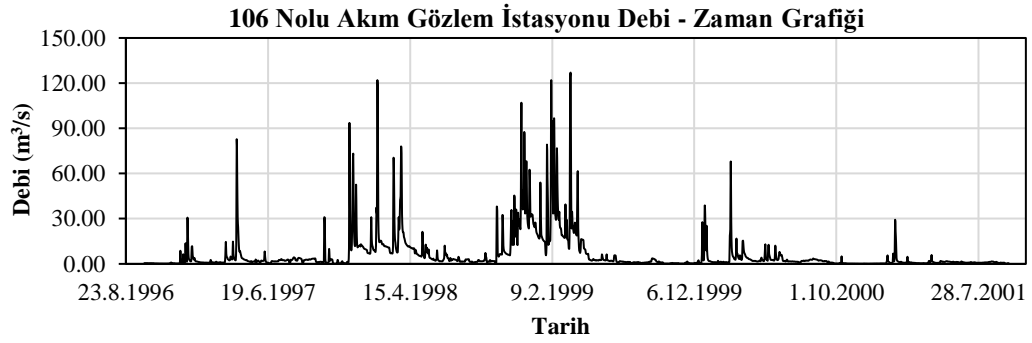
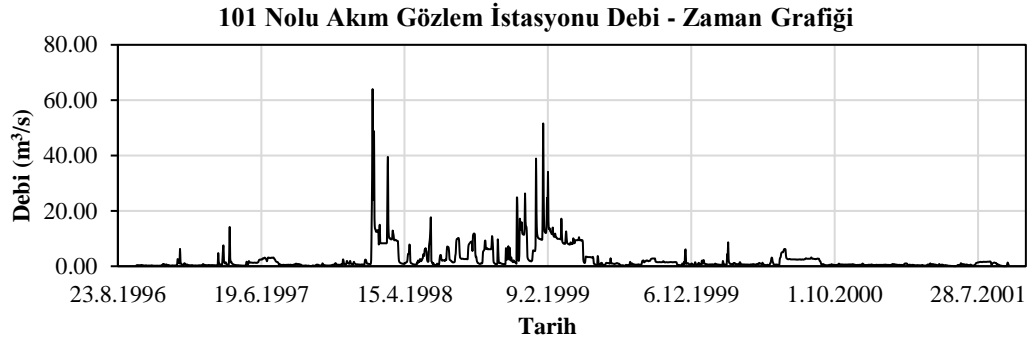
Yalın, M. S., *Theory of Hydraulic Models*, London: The Macmillan Press, (1971). doi:10.1007/978-1-349-00245-0

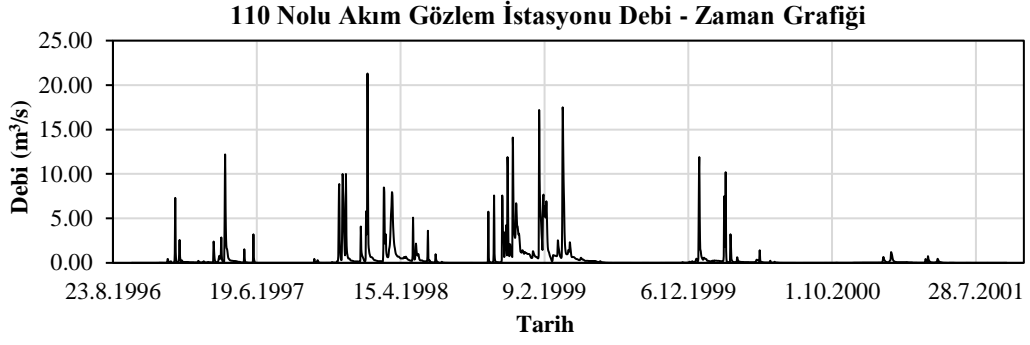
Yılmaz, D., "Edirne İlinde Tarımsal Kaynaklı Çevre Kirliliğine Çeltik Üreticilerinin Yaklaşımları", Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2017.

# **EKLER**

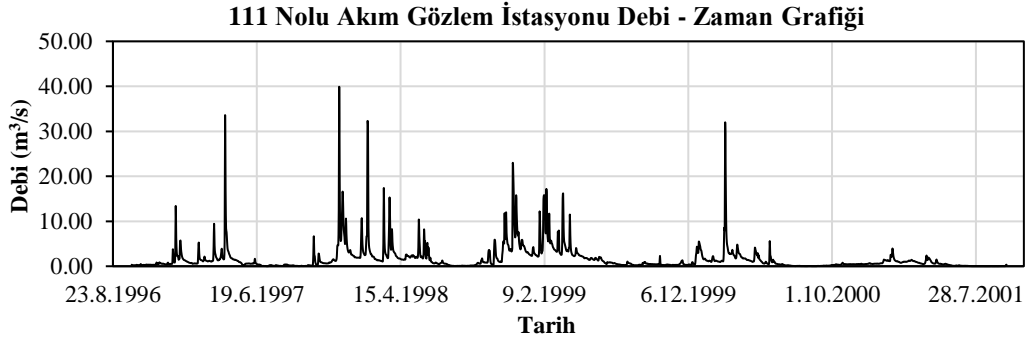
## 8. EKLER

### EK A Ergene Havzası 1996-2001 Su Yıllarında Ölçüm Yapmış Akım Gözlem İstasyonlarına Ait Debi Zaman Grafikleri ve Debi Süreklilik Eğrileri

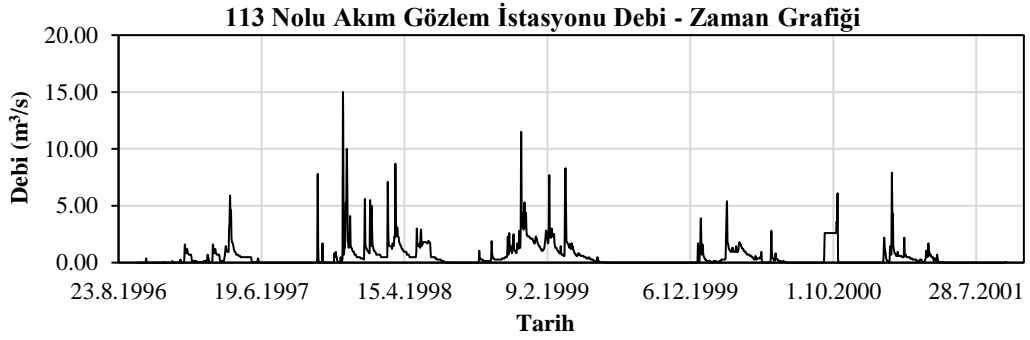




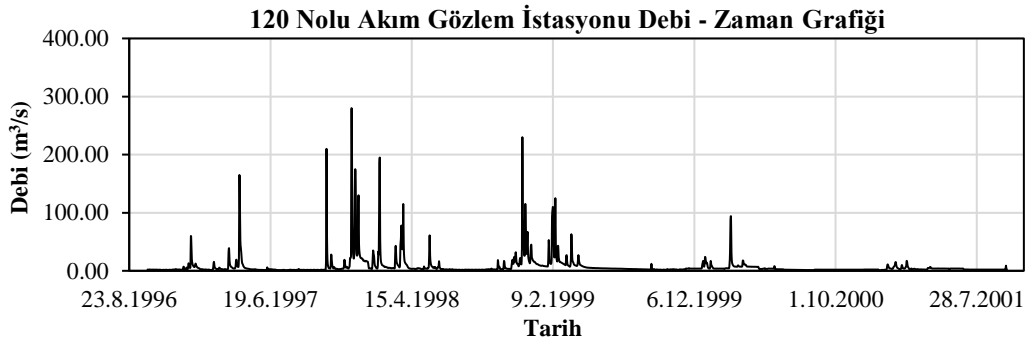
**Şekil A.4:** 110 nolu AGİ debi zaman grafiği



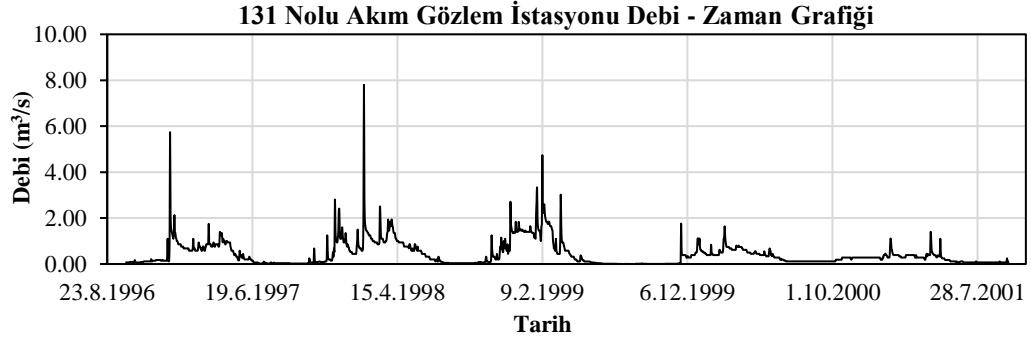
**Şekil A.5:** 111 nolu AGİ debi zaman grafiği



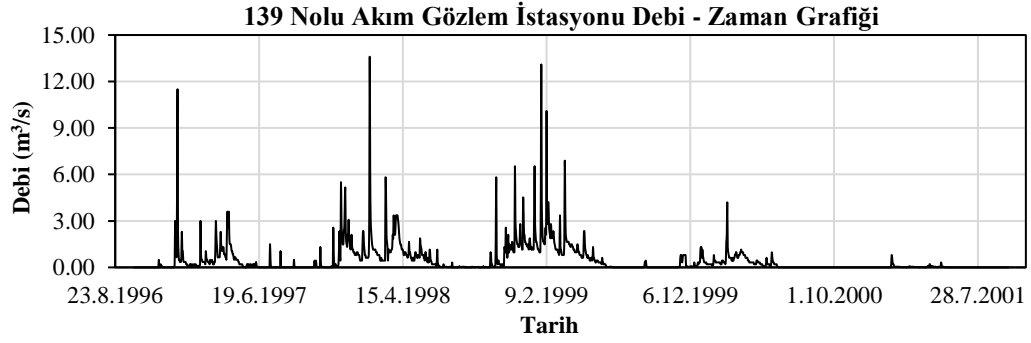
**Şekil A.6:** 113 nolu AGİ debi zaman grafiği



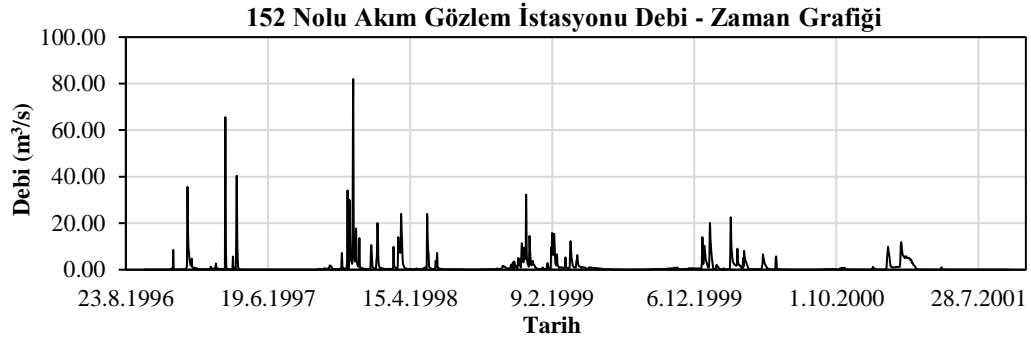
**Şekil A.7:** 120 nolu AGİ debi zaman grafiği



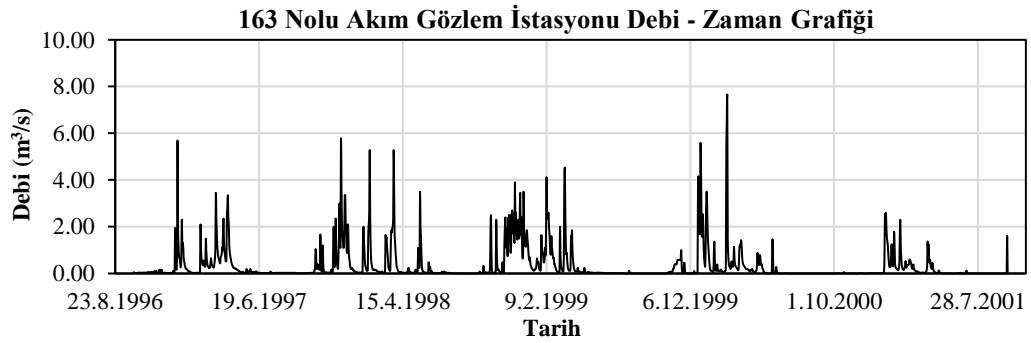
**Şekil A.8:** 131 nolu AGİ debi zaman grafiği



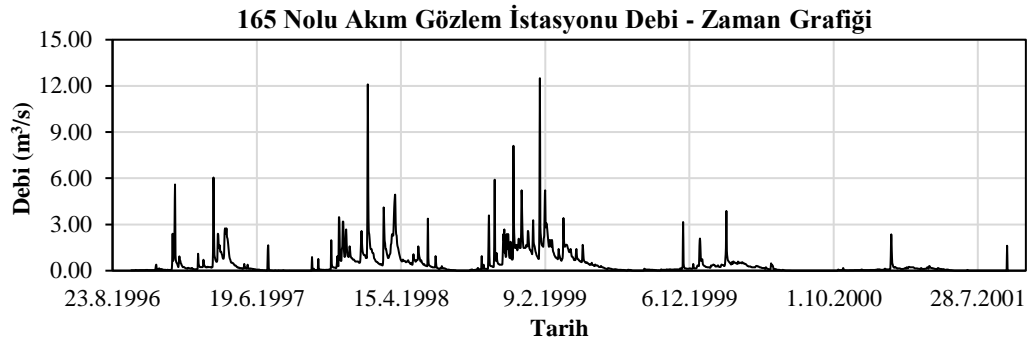
**Şekil A.9:** 139 nolu AGİ debi zaman grafiği



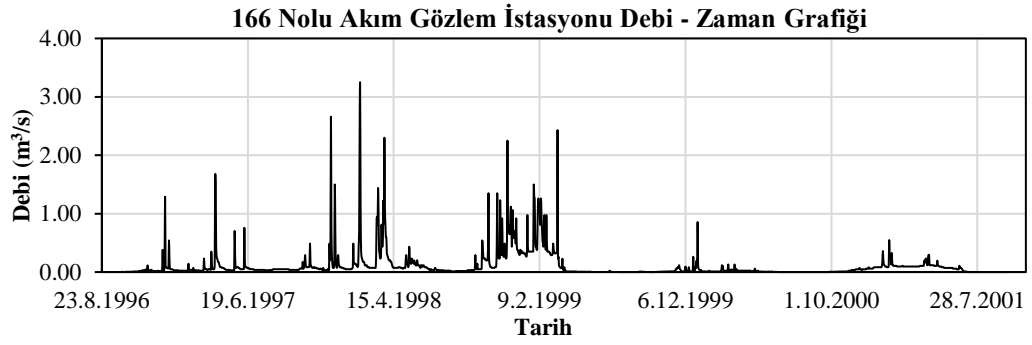
**Şekil A.10:** 152 nolu AGİ debi zaman grafiği



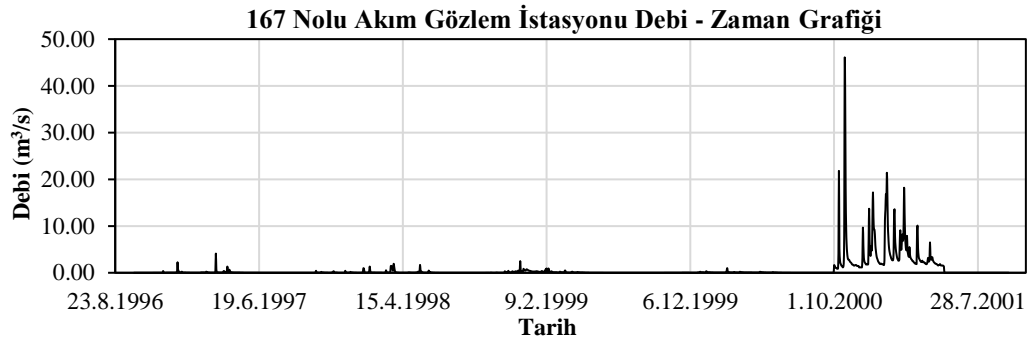
**Şekil A.11:** 163 nolu AGİ debi zaman grafiği



**Şekil A.12:** 165 nolu AGİ debi zaman grafiği

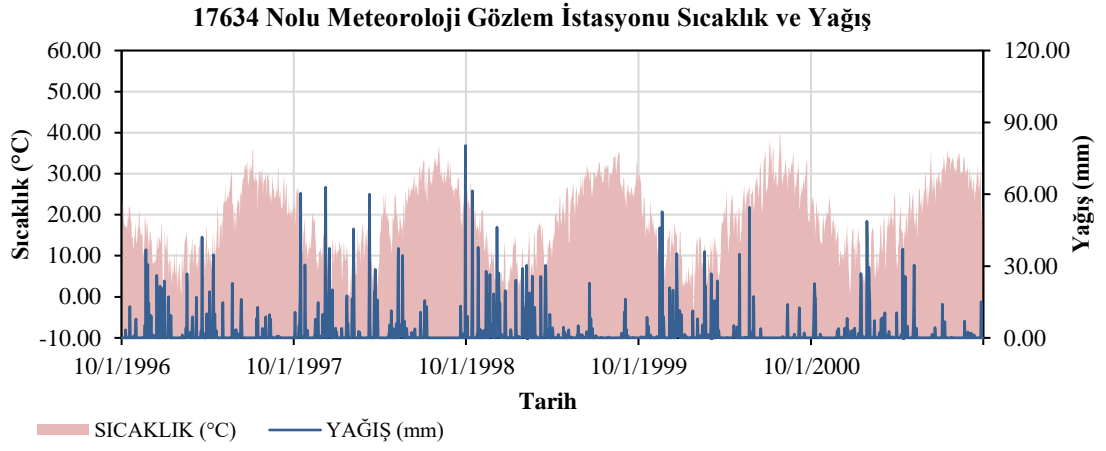


**Şekil A.13:** 166 nolu AGİ debi zaman grafiği

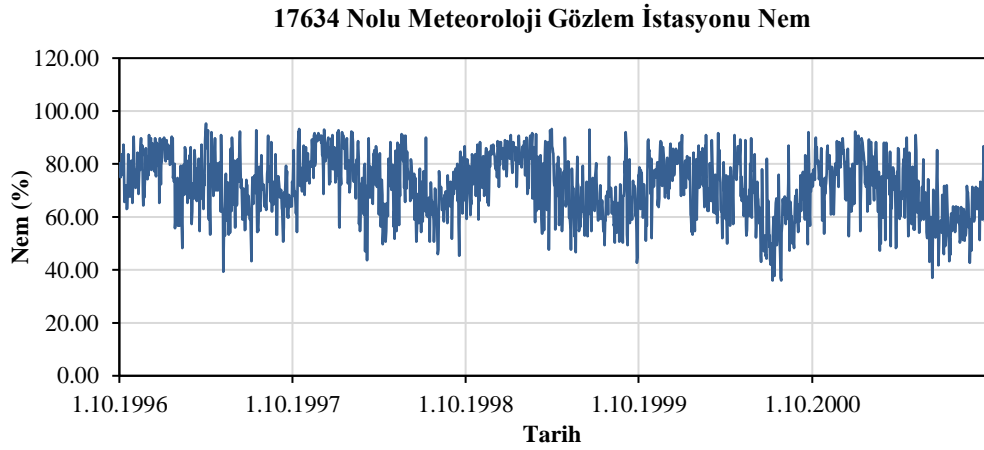


**Şekil A.14:** 166 nolu AGİ debi zaman grafiği

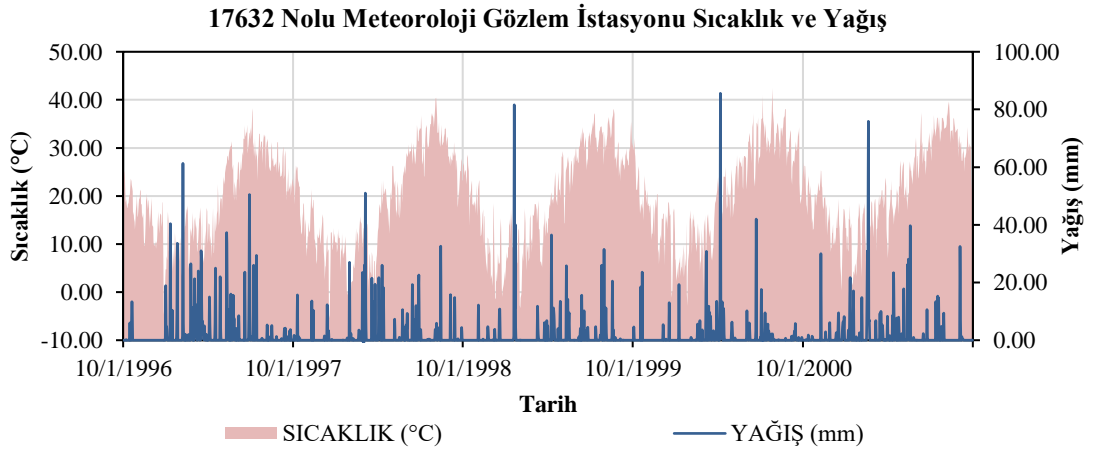
**EK B Ergene Havzası 1996-2001 Su Yıllarında Ölçüm Yapmış Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına Ait Yağış - Sıcaklık ve Nem Grafikleri**



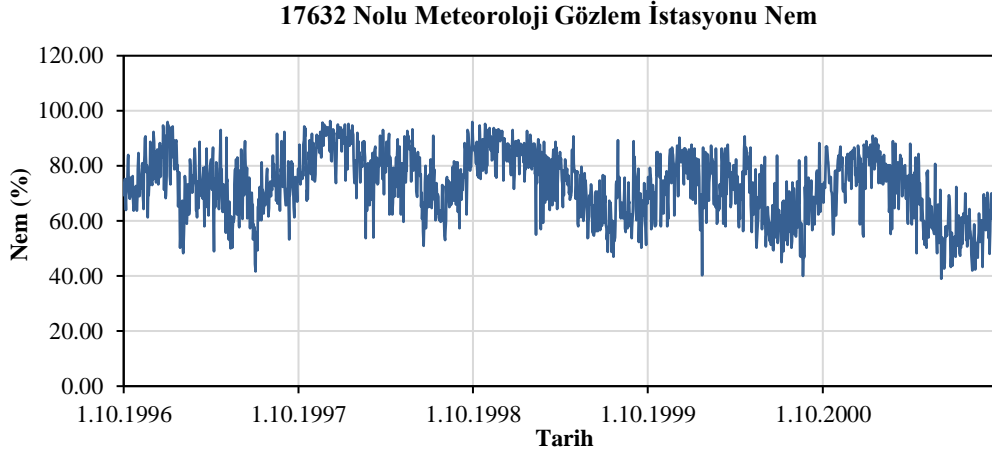
**Şekil B.1:** 17634 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri



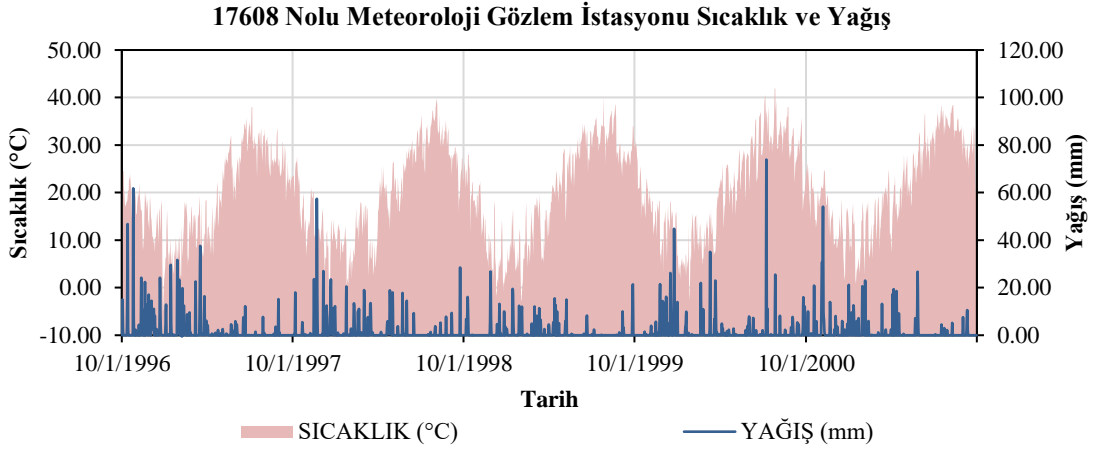
**Şekil B.2:** 17634 nolu MGİ nem değerleri



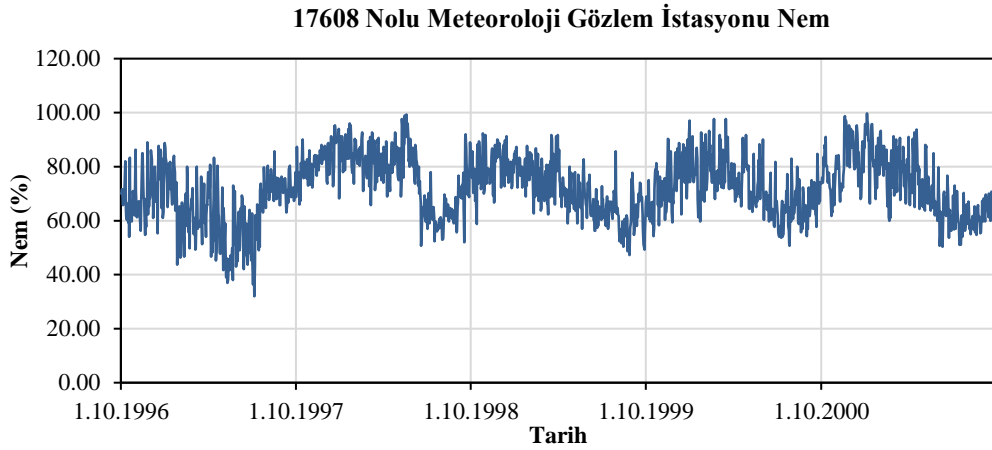
**Şekil B.3:** 17632 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri



**Şekil B.4:** 17632 nolu MGİ nem değerleri

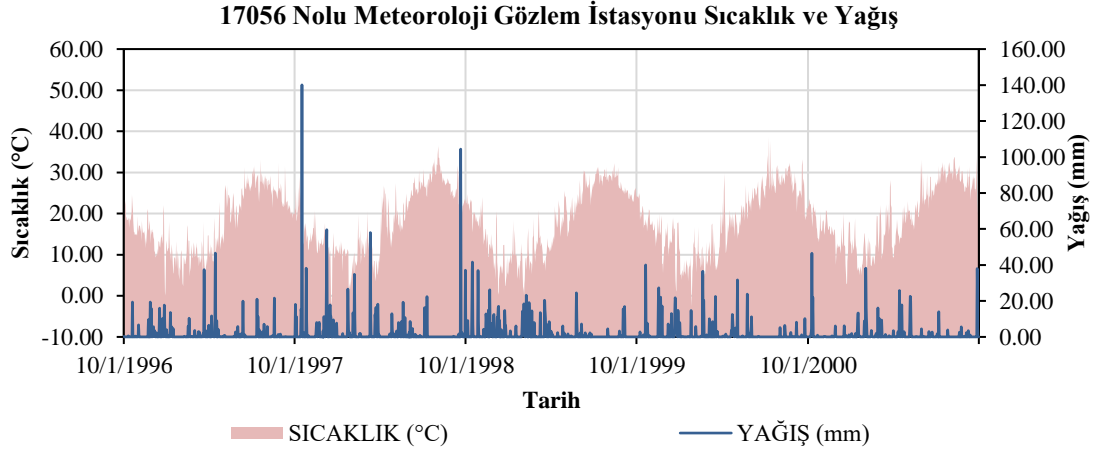


**Şekil B.5:** 17608 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri

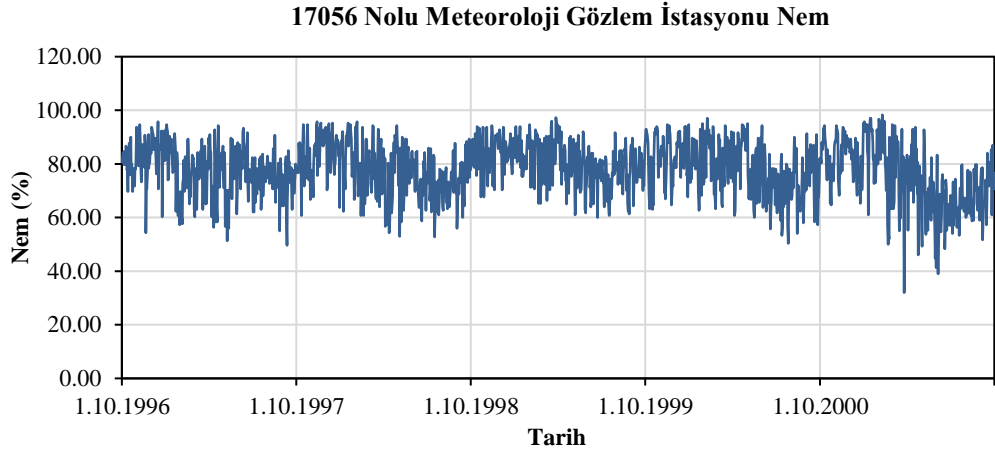


**Şekil B.6:** 17608 nolu MGİ nem değerleri

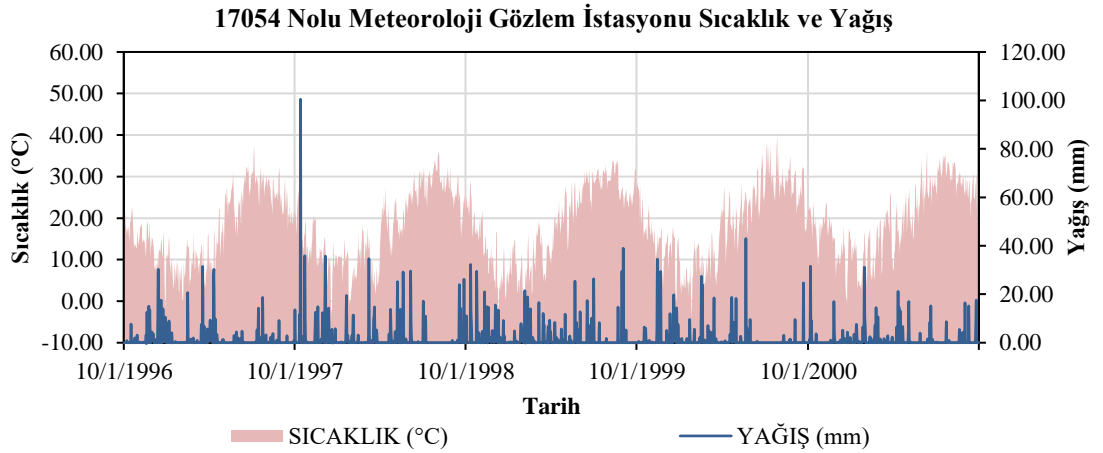




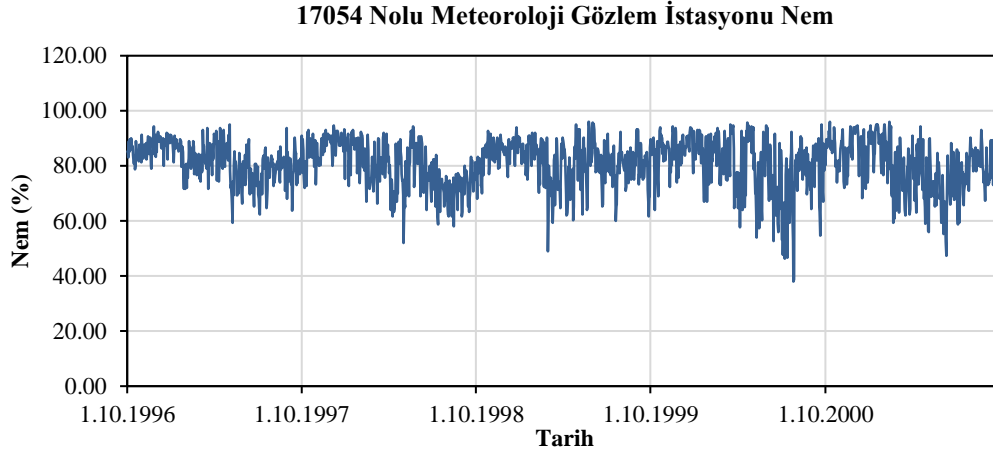
**Şekil B.7:** 17056 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri



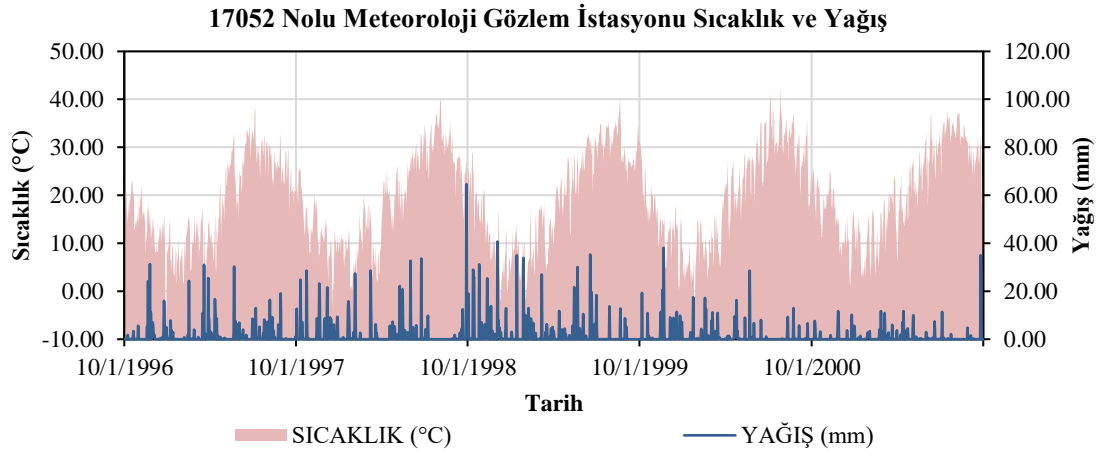
**Şekil B.8:** 17056 nolu MGİ nem değerleri



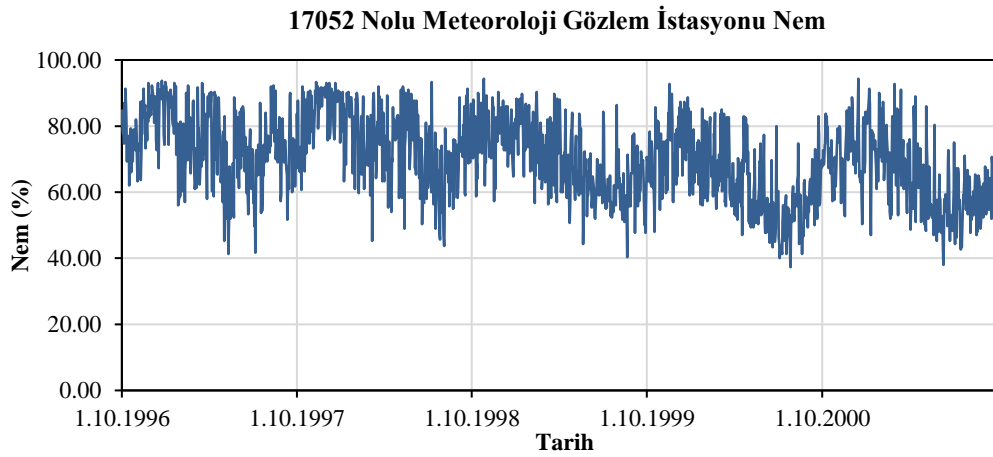
**Şekil B.9:** 17054 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri



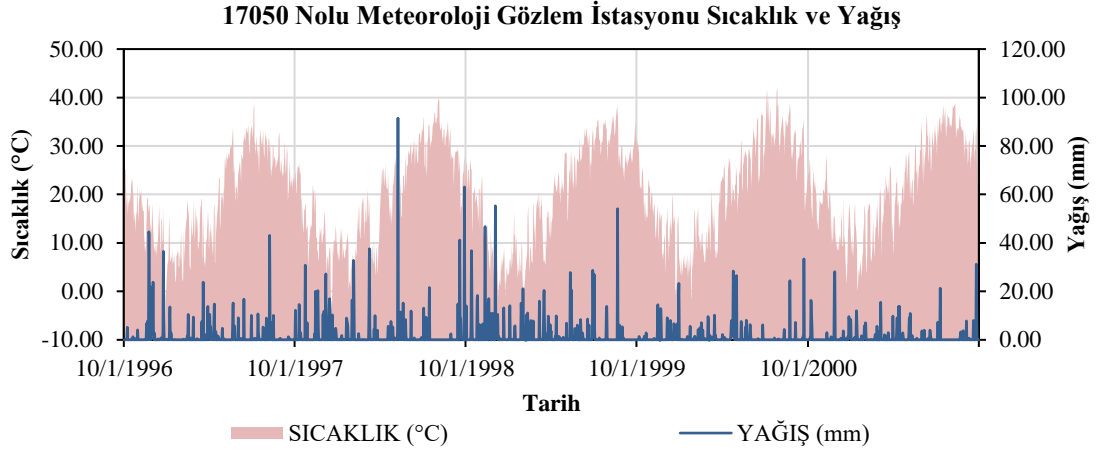
**Şekil B.10:** 17054 nolu MGİ nem değerleri



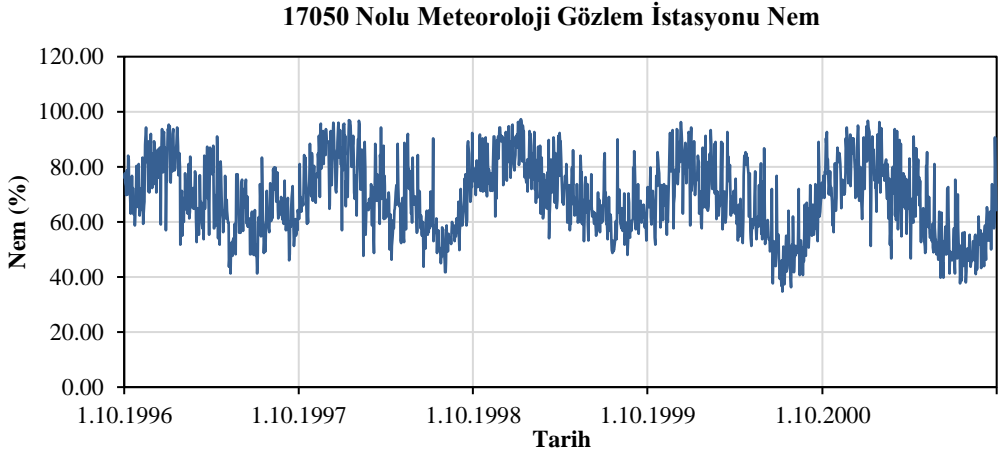
**Şekil B.11:** 17052 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri



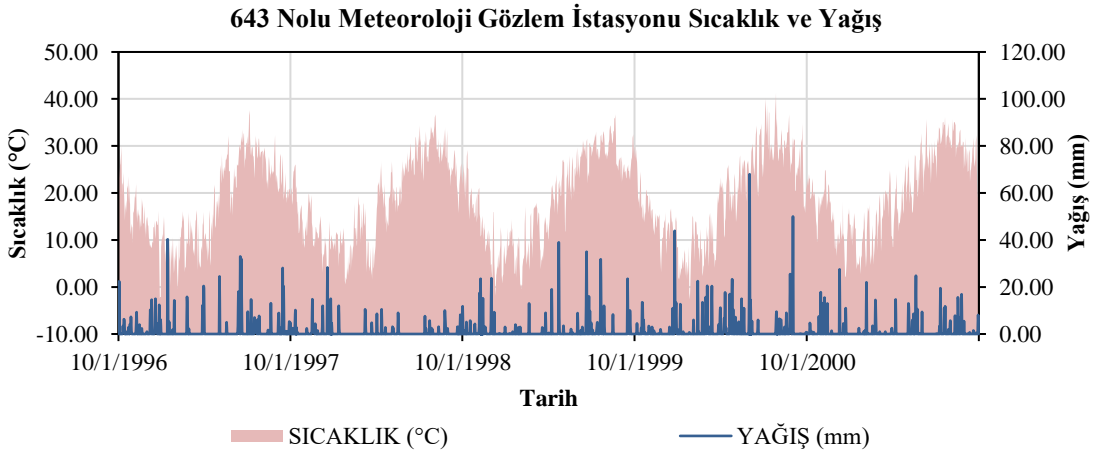
**Şekil B.12:** 17052 nolu MGİ nem değerleri



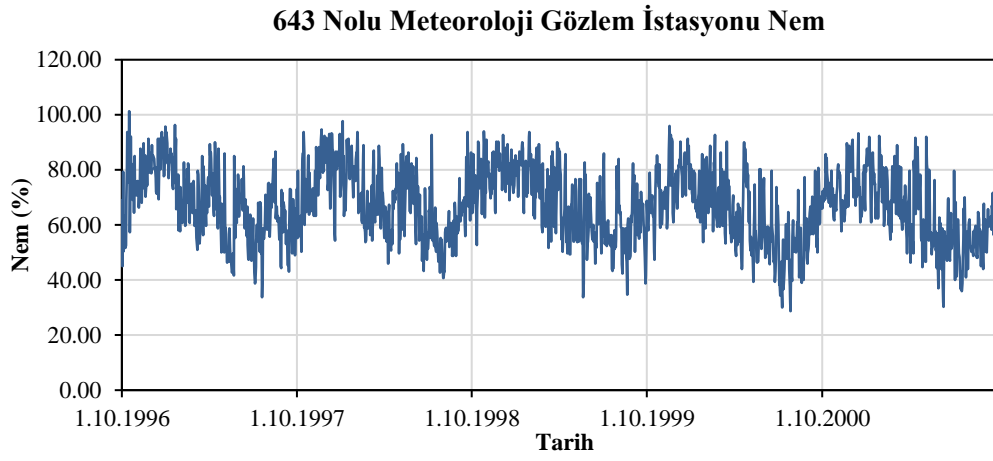
**Şekil B.13:** 17050 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri



**Şekil B.14:** 17050 nolu MGİ nem değerleri



**Şekil B.15:** 643 nolu MGİ sıcaklık ve yağış değerleri



**Şekil B.16:** 643 nolu MGİ nem değerleri

## EK C Ergene Havzası Alt Havzaları Ağırlıklı Eğri Numarası Hesapları

**Tablo C.1:** 3 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 3 Nolu Havza |   |    |  |                |
|--------------|---|----|--|----------------|
| HTG          | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> )                      | CN x A         |
| A            | Sürekli sulanan arazi                       | 65 | 116.557  | 7576.19        |
| A            | Sürekli sulanan arazi                       | 65 | 441.689  | 28709.774      |
| C            | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 78 | 118.602  | 9250.927       |
| A            | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 2247.296   | 146074.267     |
| A            | Pirinç tarlaları                            | 65 | 147.23   | 9569.925       |
| B            | Maki  | 45 | 137.005  | 6165.24        |
| C            | Sürekli sulanan arazi                       | 78 | 6.135  | 478.496        |
| C            | Doğal çayır                                 | 68 | 98.153   | 6674.409       |
| C            | Karışık ekim alanları                       | 78 | 2.045  | 159.499        |
| B            | Pirinç tarlaları                            | 72 | 4.09   | 294.459        |
| B            | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 709.565  | 51088.675      |
| B            | Sürekli sulanan arazi                       | 72 | 87.929   | 6330.873       |
| A            | Maki  | 33 | 128.826  | 4251.255       |
| A            | Doğal çayır                                 | 37 | 51.121   | 1891.492       |
| D            | Pirinç tarlaları                            | 84 | 6.135  | 515.304        |
| B            | Su Kütleleri                                | 99 | 2.045  | 202.441        |
| D            | Sürekli kentsel alan                        | 90 | 16.359   | 1472.296       |
| A            | Sürekli kentsel alan                        | 84 | 57.256   | 4809.501       |
| B            | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 175.858  | 12661.746      |
| A            | Endüstriyel veya ticari birimler            | 92 | 10.224   | 940.634        |
| C            | Sürekli kentsel alan                        | 88 | 10.224   | 899.737        |
| B            | Doğal çayır                                 | 50 | 89.974   | 4498.683       |
| C            | Karışık orman                               | 50 | 8.179  | 408.971        |
| A            | Çayır                                       | 41 | 175.858  | 7210.161       |
| B            | İğne yapraklı orman                         | 35 | 18.404   | 644.13         |
| B            | Çayır                                       | 47 | 55.211   | 2594.922       |
| C            | Maki  | 64 | 92.019   | 5889.184       |
| D            | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 84 | 14.314   | 1202.375       |
| B            | Geniş yapraklı orman                        | 38 | 61.346   | 2331.135       |
| C            | Geniş yapraklı orman                        | 54 | 49.077   | 2650.133       |
| C            | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 78 | 120.646  | 9410.426       |
| A            | Yol ve demiryolu ağları ve ilişkili arazi   | 98 | 8.179  | 801.583        |
| D            | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 84 | 10.224   | 858.839        |
| B            | Karışık orman                               | 35 | 8.179  | 286.28         |
| D            | Çayır                                       | 76 | 4.09   | 310.818        |
| D            | Geniş yapraklı orman                        | 61 | 10.224   | 623.681        |
| D            | Doğal çayır                                 | 75 | 20.449   | 1533.642       |
| A            | Su Kütleleri                                | 99 | 8.179  | 809.763        |
| B            | Yol ve demiryolu ağları ve ilişkili arazi   | 98 | 2.045  | 200.396        |
| A            | Karışık ekim alanları                       | 65 | 47.032   | 3057.059       |
| A            | Geniş yapraklı orman                        | 29 | 24.538   | 711.61         |
| B            | Karışık ekim alanları                       | 72 | 12.269   | 883.378        |
| C            | İğne yapraklı orman                         | 50 | 40.897   | 2044.856       |
| D            | Sürekli sulanan arazi                       | 84 | 8.179  | 687.072        |
| D            | Su Kütleleri                                | 99 | 2.045  | 202.441        |
| D            | İğne yapraklı orman                         | 57 | 8.179  | 466.227        |
| A            | İğne yapraklı orman                         | 25 | 8.179  | 204.486        |
| A            | Meyve ağaçları ve meyve ağaçlandırmaları    | 38 | 8.179  | 310.818        |
| D            | Karışık ekim alanları                       | 84 | 2.045  | 171.768        |
| B            | Sürekli kentsel alan                        | 86 | 4.09   | 351.715        |
| C            | Su Kütleleri                                | 99 | 6.135  | 607.322        |
| B            | Seyrek bitki örtülü alanlar                 | 77 | 10.224   | 787.269        |
| C            | Sürekli kentsel alan                        | 96 | 8.179  | 785.225        |
| C            | Çayır                                       | 65 | 2.045  | 132.916        |
| C            | Seyrek bitki örtülü alanlar                 | 84 | 34.763   | 2920.054       |
| D            | Maki  | 72 | 4.09   | 294.459        |
| C            | İnşaat Alanları                             | 84 | 2.045  | 171.768        |
| A            | Karışık orman                               | 25 | 6.135  | 153.364        |
| B            | Endüstriyel veya ticari birimler            | 94 | 2.045  | 192.216        |
| A            | Üzüm Bağları                                | 38 | 2.045  | 77.705         |
| C            | Endüstriyel veya ticari birimler            | 96 | 2.045  | 196.306        |
| A            | Maden Sahaları                              | 75 | 4.09   | 306.728        |
| A            | Seyrek bitki örtülü alanlar                 | 75 | 2.045  | 153.364        |
| D            | Seyrek bitki örtülü alanlar                 | 86 | 2.045  | 175.858        |
| C            | Maden Sahaları                              | 84 | 4.09   | 343.536        |
|              |   |    | <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> | <b>64.1793</b> |

**Tablo C.2:** 43 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 43 Nolu Havza                                    |   |    |                             |               |
|--|---|----|-----------------------------|---------------|
| HTG  | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A        |
| A  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 80.277                      | 5218.024      |
| B  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 34.993                      | 2519.472      |
| A  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 14.409                      | 936.568       |
| A  | Çayır                                       | 41 | 12.350                      | 506.364       |
| D  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 84 | 2.058                       | 172.905       |
| C  | Karışık orman                               | 50 | 2.058                       | 102.920       |
| B  | Sürekli sulanan arazi                       | 72 | 8.234                       | 592.817       |
| C  | Geniş yapraklı orman                        | 54 | 10.292                      | 555.766       |
| C  | Maki  | 64 | 6.175                       | 395.211       |
| C  | İğne yapraklı orman                         | 50 | 2.058                       | 102.920       |
| D  | Geniş yapraklı orman                        | 61 | 2.058                       | 125.562       |
| B  | Maden Sahaları                              | 77 | 2.058                       | 158.496       |
| A  | Sürekli kentsel alan                        | 84 | 4.117                       | 345.810       |
| C  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 78 | 4.117                       | 321.109       |
| B  | Maki  | 45 | 4.117                       | 185.255       |
| A  | Geniş yapraklı orman                        | 29 | 18.526                      | 537.240       |
| C  | Sürekli kentsel alan                        | 96 | 2.058                       | 197.606       |
| A  | Karışık ekim alanları                       | 65 | 2.058                       | 133.795       |
| A  | Maki  | 33 | 8.234                       | 271.708       |
| B  | Geniş yapraklı orman                        | 38 | 18.526                      | 703.970       |
| B  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 2.058                       | 148.204       |
| <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |   |    |                             | <b>59.094</b> |

**Tablo C.3:** 60 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 60 Nolu Havza                                    |   |    |                             |                |
|--|---|----|-----------------------------|----------------|
| HTG  | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A         |
| A  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 579.651                     | 37677.322      |
| B  | Geniş yapraklı orman                        | 38 | 30.724                      | 1167.495       |
| C  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 78 | 34.82                       | 2715.962       |
| A  | Maden Sahaları                              | 75 | 4.096                       | 307.236        |
| A  | Sürekli sulanan arazi                       | 65 | 67.592                      | 4393.469       |
| C  | Sürekli kentsel alan                        | 88 | 10.241                      | 901.224        |
| B  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 151.57                      | 10913.007      |
| A  | Çayır                                       | 41 | 36.868                      | 1511.599       |
| A  | Pirinç tarlaları                            | 65 | 47.109                      | 3062.114       |
| C  | İğne yapraklı orman                         | 50 | 6.145                       | 307.236        |
| B  | Sürekli sulanan arazi                       | 72 | 4.096                       | 294.946        |
| A  | Sürekli kentsel alan                        | 84 | 12.289                      | 1032.312       |
| C  | Maki  | 64 | 8.193                       | 524.349        |
| B  | Çayır                                       | 47 | 16.386                      | 770.137        |
| B  | Maki  | 45 | 16.386                      | 737.365        |
| B  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 34.82                       | 2507.042       |
| C  | Geniş yapraklı orman                        | 54 | 4.096                       | 221.21         |
| B  | İğne yapraklı orman                         | 35 | 4.096                       | 143.377        |
| C  | Çayır                                       | 65 | 2.048                       | 133.135        |
| B  | Maden Sahaları                              | 77 | 4.096                       | 315.429        |
| A  | Doğal çayır                                 | 37 | 12.289                      | 454.709        |
| B  | Sürekli kentsel alan                        | 86 | 4.096                       | 352.297        |
| A  | Atık madde depolama alanları                | 75 | 4.096                       | 307.236        |
| B  | Karışık ekim alanları                       | 72 | 8.193                       | 589.892        |
| A  | Su Kütleleri                                | 99 | 2.048                       | 202.775        |
| D  | Su Kütleleri                                | 99 | 10.241                      | 1013.877       |
| B  | Doğal çayır                                 | 50 | 6.145                       | 307.236        |
| A  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 6.145                       | 399.406        |
| D  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 84 | 2.048                       | 172.052        |
| A  | İnşaat Alanları                             | 75 | 2.048                       | 153.618        |
| A  | Karışık ekim alanları                       | 65 | 4.096                       | 266.271        |
| B  | Pirinç tarlaları                            | 72 | 2.048                       | 147.473        |
| C  | Endüstriyel veya ticari birimler            | 96 | 2.048                       | 196.631        |
| A  | Maki  | 33 | 8.193                       | 270.367        |
| A  | Geniş yapraklı orman                        | 29 | 4.096                       | 118.798        |
| <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |   |    |                             | <b>64.6821</b> |

**Tablo C.4:** 64 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| <b>64 Nolu Havza</b>                             |   |           |                                  |                |
|--|---|-----------|----------------------------------|----------------|
| <b>HTG</b>                                       | <b>Arazi Kullanım Bölgesi</b>               | <b>CN</b> | <b>Alan (A) (km<sup>2</sup>)</b> | <b>CN x A</b>  |
| A  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65        | 41.244                           | 2680.848       |
| D  | Endüstriyel veya ticari birimler            | 98        | 2.062                            | 202.095        |
| D  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 84        | 2.062                            | 173.224        |
| A  | Sürekli kentsel alan                        | 84        | 6.187                            | 519.672        |
| A  | Endüstriyel veya ticari birimler            | 92        | 4.124                            | 379.443        |
| C  | Sürekli kentsel alan                        | 96        | 2.062                            | 197.97         |
| A  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65        | 4.124                            | 268.085        |
| A  | Geniş yapraklı orman                        | 29        | 96.923                           | 2810.766       |
| B  | Sürekli kentsel alan                        | 86        | 2.062                            | 177.348        |
| A  | Maki  | 33        | 24.746                           | 816.627        |
| A  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 75        | 4.124                            | 309.329        |
| A  | Karışık ekim alanları                       | 65        | 4.124                            | 268.085        |
| B  | Maki  | 45        | 4.124                            | 185.597        |
| B  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72        | 14.435                           | 1039.344       |
| <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |   |           |                                  | <b>47.2136</b> |

**Tablo C.5:** 101 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| <b>101 Nolu Havza</b>                            |   |           |                                  |               |
|--|---|-----------|----------------------------------|---------------|
| <b>HTG</b>                                       | <b>Arazi Kullanım Bölgesi</b>               | <b>CN</b> | <b>Alan (A) (km<sup>2</sup>)</b> | <b>CN x A</b> |
| A  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65        | 86.848                           | 5645.143      |
| C  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 78        | 12.118                           | 945.233       |
| C  | Sürekli kentsel alan                        | 96        | 2.020                            | 193.894       |
| A  | Maden Sahaları                              | 75        | 4.039                            | 302.959       |
| A  | Sürekli sulanan arazi                       | 65        | 18.178                           | 1181.542      |
| A  | Sürekli kentsel alan                        | 84        | 2.020                            | 169.657       |
| B  | Sürekli sulanan arazi                       | 72        | 4.039                            | 290.841       |
| A  | Maki  | 33        | 6.059                            | 199.953       |
| A  | Çayır                                       | 41        | 2.020                            | 82.809        |
| A  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65        | 12.118                           | 787.694       |
| B  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72        | 18.178                           | 1308.784      |
| B  | Maki  | 45        | 42.414                           | 1908.644      |
| A  | İç bataklıklar                              | 99        | 4.039                            | 399.906       |
| A  | Doğal çayır                                 | 37        | 8.079                            | 298.920       |
| C  | Geniş yapraklı orman                        | 54        | 26.256                           | 1417.850      |
| C  | Maki  | 64        | 58.572                           | 3748.617      |
| C  | Doğal çayır                                 | 68        | 30.296                           | 2060.124      |
| C  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 78        | 24.237                           | 1890.466      |
| B  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72        | 10.099                           | 727.102       |
| C  | Karışık orman                               | 50        | 12.118                           | 605.919       |
| D  | Doğal çayır                                 | 75        | 4.039                            | 302.959       |
| B  | Endüstriyel veya ticari birimler            | 94        | 2.020                            | 189.855       |
| B  | Geniş yapraklı orman                        | 38        | 16.158                           | 613.998       |
| C  | Su Kütleleri                                | 99        | 6.059                            | 599.860       |
| D  | Su Kütleleri                                | 99        | 2.020                            | 199.953       |
| B  | Maden Sahaları                              | 77        | 2.020                            | 155.519       |
| C  | İğne yapraklı orman                         | 50        | 14.138                           | 706.905       |
| B  | Karışık orman                               | 35        | 6.059                            | 212.072       |
| D  | Maki  | 72        | 14.138                           | 1017.944      |
| D  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 84        | 6.059                            | 508.972       |
| A  | Geniş yapraklı orman                        | 29        | 4.039                            | 117.144       |
| D  | Karışık orman                               | 57        | 8.079                            | 460.498       |
| D  | Geniş yapraklı orman                        | 61        | 16.158                           | 985.628       |
| <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |   |           |                                  | <b>62.379</b> |

**Tablo C.6:** 108 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 108 Nolu Havza |   |    |  |               |
|----------------|---|----|--|---------------|
| HTG            | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> )                      | CN x A        |
| A              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 447.243  | 29070.813     |
| A              | Sürekli sulanan arazi                       | 65 | 60.988   | 3964.202      |
| A              | Çayır                                       | 41 | 22.362   | 916.849       |
| A              | Karışık ekim alanları                       | 65 | 4.066  | 264.280       |
| B              | Karışık ekim alanları                       | 72 | 4.066  | 292.741       |
| B              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 146.371  | 10538.678     |
| C              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 78 | 85.383   | 6659.859      |
| B              | Su Kütelleri                                | 99 | 6.099  | 603.778       |
| A              | Sürekli kentsel alan                        | 84 | 18.296   | 1536.891      |
| A              | Yol ve demiryolu ağları ve ilişkili arazi   | 98 | 6.099  | 597.680       |
| A              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 16.263   | 1057.120      |
| B              | Maki  | 45 | 14.230   | 640.371       |
| B              | Çayır                                       | 47 | 10.165   | 477.737       |
| A              | Maki  | 33 | 16.263   | 536.692       |
| B              | Sürekli sulanan arazi                       | 72 | 6.099  | 439.112       |
| C              | Sürekli sulanan arazi                       | 78 | 6.099  | 475.704       |
| A              | Endüstriyel veya ticari birimler            | 92 | 4.066  | 374.058       |
| D              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 84 | 2.033  | 170.766       |
| C              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 78 | 6.099  | 475.704       |
| B              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 8.132  | 585.482       |
| B              | Sürekli kentsel alan                        | 86 | 4.066  | 349.663       |
| D              | Doğal çayır                                 | 75 | 2.033  | 152.469       |
| C              | Karışık orman                               | 50 | 2.033  | 101.646       |
| B              | Geniş yapraklı orman                        | 38 | 16.263   | 618.009       |
| C              | Maki  | 64 | 4.066  | 260.214       |
| A              | Geniş yapraklı orman                        | 29 | 2.033  | 58.955        |
| A              | Meyve ağaçları ve meyve ağaçlandırmaları    | 38 | 2.033  | 77.251        |
|                |   |    | <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> | <b>66.414</b> |

**Tablo C.7:** 110 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 110 Nolu Havza |   |    |  |                |
|----------------|---|----|--|----------------|
| HTG            | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> )                      | CN x A         |
| C              | Geniş yapraklı orman                        | 54 | 4.044  | 218.378        |
| B              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 20.22  | 1455.851       |
| B              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 16.176   | 1164.681       |
| B              | Geniş yapraklı orman                        | 38 | 8.088  | 307.346        |
| B              | Maki  | 45 | 8.088  | 363.963        |
| B              | İğne yapraklı orman                         | 35 | 2.022  | 70.771         |
| B              | Doğal çayır                                 | 50 | 2.022  | 101.101        |
| A              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 40.44  | 2628.619       |
| B              | Sürekli kentsel alan                        | 86 | 2.022  | 173.893        |
| A              | Maki  | 33 | 4.044  | 133.453        |
| A              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 6.066  | 394.293        |
| C              | Maki  | 64 | 2.022  | 129.409        |
| C              | Çayır                                       | 65 | 2.022  | 131.431        |
| A              | Karışık ekim alanları                       | 65 | 6.066  | 394.293        |
| A              | Çayır                                       | 41 | 4.044  | 165.805        |
| A              | Sürekli sulanan arazi                       | 65 | 4.044  | 262.862        |
| A              | Sürekli kentsel alan                        | 84 | 2.022  | 169.849        |
| A              | Pirinç tarlaları                            | 65 | 2.022  | 131.431        |
|                |   |    | <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> | <b>61.9851</b> |



**Tablo C.8:** 111 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 111 Nolu Havza                                   |   |    |                             |               |
|--|---|----|-----------------------------|---------------|
| HTG  | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A        |
| A  | Maden Sahaları                              | 75 | 2.086                       | 156.446       |
| A  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 143.931                     | 9355.498      |
| A  | Çayır                                       | 41 | 14.602                      | 598.668       |
| A  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 10.430                      | 677.935       |
| C  | Endüstriyel veya ticari birimler            | 96 | 4.172                       | 400.503       |
| C  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 78 | 37.547                      | 2928.678      |
| B  | Sürekli sulanan arazi                       | 72 | 4.172                       | 300.377       |
| B  | Geniş yapraklı orman                        | 38 | 8.344                       | 317.065       |
| A  | Karışık ekim alanları                       | 65 | 4.172                       | 271.174       |
| C  | Maki  | 64 | 10.430                      | 667.505       |
| B  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 41.719                      | 3003.772      |
| A  | Sürekli kentsel alan                        | 84 | 6.258                       | 525.660       |
| C  | Karışık ekim alanları                       | 78 | 4.172                       | 325.409       |
| D  | Geniş yapraklı orman                        | 61 | 4.172                       | 254.486       |
| C  | Karışık orman                               | 50 | 8.344                       | 417.191       |
| B  | Sürekli kentsel alan                        | 86 | 4.172                       | 358.784       |
| B  | Çayır                                       | 47 | 8.344                       | 392.159       |
| C  | Geniş yapraklı orman                        | 54 | 18.774                      | 1013.773      |
| C  | İğne yapraklı orman                         | 50 | 6.258                       | 312.893       |
| A  | Maki  | 33 | 2.086                       | 68.836        |
| D  | İğne yapraklı orman                         | 57 | 2.086                       | 118.899       |
| D  | Maki  | 72 | 2.086                       | 150.189       |
| B  | Maki  | 45 | 2.086                       | 93.868        |
| C  | Sürekli kentsel alan                        | 88 | 6.258                       | 550.692       |
| A  | Sürekli sulanan arazi                       | 65 | 12.516                      | 813.522       |
| B  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 6.258                       | 450.566       |
| A  | Doğal çayır                                 | 37 | 2.086                       | 77.180        |
| C  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 78 | 4.172                       | 325.409       |
| C  | Sürekli sulanan arazi                       | 78 | 4.172                       | 325.409       |
| <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |   |    |                             | <b>65.438</b> |

**Tablo C.9:** 113 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 113 Nolu Havza                                   |   |    |                             |                |
|--|---|----|-----------------------------|----------------|
| HTG  | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A         |
| A  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 45.179                      | 2936.656       |
| B  | Maki  | 45 | 2.151                       | 96.813         |
| B  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 21.514                      | 1549.005       |
| B  | Geniş yapraklı orman                        | 38 | 4.303                       | 163.506        |
| A  | Geniş yapraklı orman                        | 29 | 4.303                       | 124.781        |
| B  | Üzüm Bağları                                | 45 | 2.151                       | 96.813         |
| C  | Geniş yapraklı orman                        | 54 | 6.454                       | 348.526        |
| C  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 78 | 2.151                       | 167.809        |
| A  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 2.151                       | 139.841        |
| C  | Maki  | 64 | 6.454                       | 413.068        |
| B  | Çayır                                       | 47 | 2.151                       | 101.116        |
| A  | Maki  | 33 | 2.151                       | 70.996         |
| <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |   |    |                             | <b>61.4043</b> |

**Tablo C.10:** 120 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 120 Nolu Havza |   |    |  |               |
|----------------|---|----|--|---------------|
| HTG            | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> )                      | CN x A        |
| A              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 543.386  | 35320.067     |
| B              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 33.184   | 2389.238      |
| B              | Sürekli sulanan arazi                       | 72 | 4.148  | 298.655       |
| B              | Geniş yapraklı orman                        | 38 | 2.074  | 78.812        |
| A              | Çayır                                       | 41 | 45.628   | 1870.740      |
| A              | Sürekli sulanan arazi                       | 65 | 24.888   | 1617.713      |
| A              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 33.184   | 2156.951      |
| A              | Süreksiz kentsel alan                       | 84 | 37.332   | 3135.874      |
| A              | Endüstriyel veya ticari birimler            | 92 | 20.740   | 1908.072      |
| C              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 78 | 18.666   | 1455.942      |
| A              | Karışık ekim alanları                       | 65 | 14.518   | 943.666       |
| B              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 4.148  | 298.655       |
| B              | Maki  | 45 | 2.074  | 93.330        |
| B              | Çayır                                       | 47 | 2.074  | 97.478        |
| C              | Süreksiz kentsel alan                       | 88 | 4.148  | 365.022       |
| A              | İç bataklıklar                              | 99 | 2.074  | 205.325       |
| C              | Endüstriyel veya ticari birimler            | 96 | 2.074  | 199.103       |
| A              | Maki  | 33 | 2.074  | 68.442        |
| A              | Yol ve demiryolu ağları ve ilişkili arazi   | 98 | 2.074  | 203.251       |
| B              | Endüstriyel veya ticari birimler            | 94 | 2.074  | 194.955       |
| D              | Süreksiz kentsel alan                       | 90 | 2.074  | 186.659       |
| D              | Endüstriyel veya ticari birimler            | 98 | 4.148  | 406.502       |
|                |   |    | <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> | <b>66.306</b> |

**Tablo C.11:** 131 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 131 Nolu Havza |   |    |  |               |
|----------------|---|----|--|---------------|
| HTG            | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> )                      | CN x A        |
| D              | Geniş yapraklı orman                        | 61 | 6.134  | 374.165       |
| D              | Maki  | 72 | 10.223   | 736.063       |
| B              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 2.045  | 147.213       |
| A              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 4.089  | 265.800       |
| C              | Maki  | 64 | 6.134  | 392.567       |
| C              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 78 | 10.223   | 797.401       |
| C              | Geniş yapraklı orman                        | 54 | 24.535   | 1324.912      |
| C              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 78 | 2.045  | 159.480       |
| D              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 84 | 2.045  | 171.748       |
| A              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 4.089  | 265.800       |
| D              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 84 | 2.045  | 171.748       |
|                |   |    | <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> | <b>65.306</b> |

**Tablo C.12:** 139 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 139 Nolu Havza |   |    |  |               |
|----------------|---|----|--|---------------|
| HTG            | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> )                      | CN x A        |
| C              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 78 | 4.246  | 331.179       |
| A              | Geniş yapraklı orman                        | 29 | 2.123  | 61.565        |
| B              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 16.984   | 1222.815      |
| D              | Doğal çayır                                 | 75 | 2.123  | 159.221       |
| B              | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 12.738   | 917.111       |
| D              | Geniş yapraklı orman                        | 61 | 6.369  | 388.498       |
| C              | Geniş yapraklı orman                        | 54 | 21.229   | 1146.389      |
| C              | Doğal çayır                                 | 68 | 2.123  | 144.360       |
| C              | Maki  | 64 | 4.246  | 271.737       |
| D              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 84 | 4.246  | 356.654       |
| A              | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 2.123  | 137.991       |
| B              | Maki  | 45 | 2.123  | 95.532        |
| B              | Doğal çayır                                 | 50 | 2.123  | 106.147       |
| C              | Karışık orman                               | 50 | 2.123  | 106.147       |
| B              | Süreksiz kentsel alan                       | 86 | 2.123  | 182.573       |
|                |   |    | <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> | <b>64.659</b> |

**Tablo C.13:** 152 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 152 Nolu Havza                                   |   |    |                             |               |
|--|---|----|-----------------------------|---------------|
| HTG  | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A        |
| A  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 17.227                      | 1119.727      |
| A  | Maki  | 33 | 17.227                      | 568.477       |
| A  | Geniş yapraklı orman                        | 29 | 36.367                      | 1054.648      |
| B  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 1.914                       | 137.813       |
| B  | Geniş yapraklı orman                        | 38 | 19.141                      | 727.344       |
| B  | Maki  | 45 | 3.828                       | 172.266       |
| A  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 3.828                       | 248.828       |
| <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |   |    |                             | <b>40.481</b> |

**Tablo C.14:** 163 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 163 Nolu Havza                                   |                        |    |                             |               |
|--|------------------------|----|-----------------------------|---------------|
| HTG  | Arazi Kullanım Bölgesi | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A        |
| C  | Geniş yapraklı orman   | 54 | 11.810                      | 637.722       |
| B  | Geniş yapraklı orman   | 38 | 2.362                       | 89.753        |
| B  | Maki                   | 45 | 2.362                       | 106.287       |
| A  | Geniş yapraklı orman   | 29 | 7.086                       | 205.488       |
| A  | Süreksiz kentsel alan  | 84 | 2.362                       | 198.402       |
| <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |                        |    |                             | <b>47.636</b> |

**Tablo C.15:** 165 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 165 Nolu Havza                                   |   |    |                             |               |
|--|---|----|-----------------------------|---------------|
| HTG  | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A        |
| C  | Geniş yapraklı orman                        | 54 | 14.702                      | 793.928       |
| C  | Maki  | 64 | 6.301                       | 403.265       |
| C  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 78 | 10.502                      | 819.132       |
| B  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 2.100                       | 151.224       |
| C  | Doğal çayır                                 | 68 | 2.100                       | 142.823       |
| D  | Karışık orman                               | 57 | 2.100                       | 119.719       |
| B  | Doğal çayır                                 | 50 | 2.100                       | 105.017       |
| B  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 2.100                       | 151.224       |
| C  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 78 | 2.100                       | 163.826       |
| A  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 65 | 2.100                       | 136.522       |
| D  | Doğal çayır                                 | 75 | 2.100                       | 157.525       |
| D  | Geniş yapraklı orman                        | 61 | 2.100                       | 128.121       |
| <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |   |    |                             | <b>64.917</b> |

**Tablo C.16:** 166 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 166 Nolu Havza                                   |   |    |                             |                |
|--|---|----|-----------------------------|----------------|
| HTG  | Arazi Kullanım Bölgesi                      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A         |
| B  | Maki  | 45 | 1.998                       | 89.904         |
| B  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 72 | 3.996                       | 287.691        |
| A  | Doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanları | 65 | 1.998                       | 129.861        |
| B  | Sulanmayan ekilebilir arazi                 | 72 | 1.998                       | 143.846        |
| A  | Karışık ekim alanları                       | 65 | 3.996                       | 259.721        |
| <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |   |    |                             | <b>65.1429</b> |

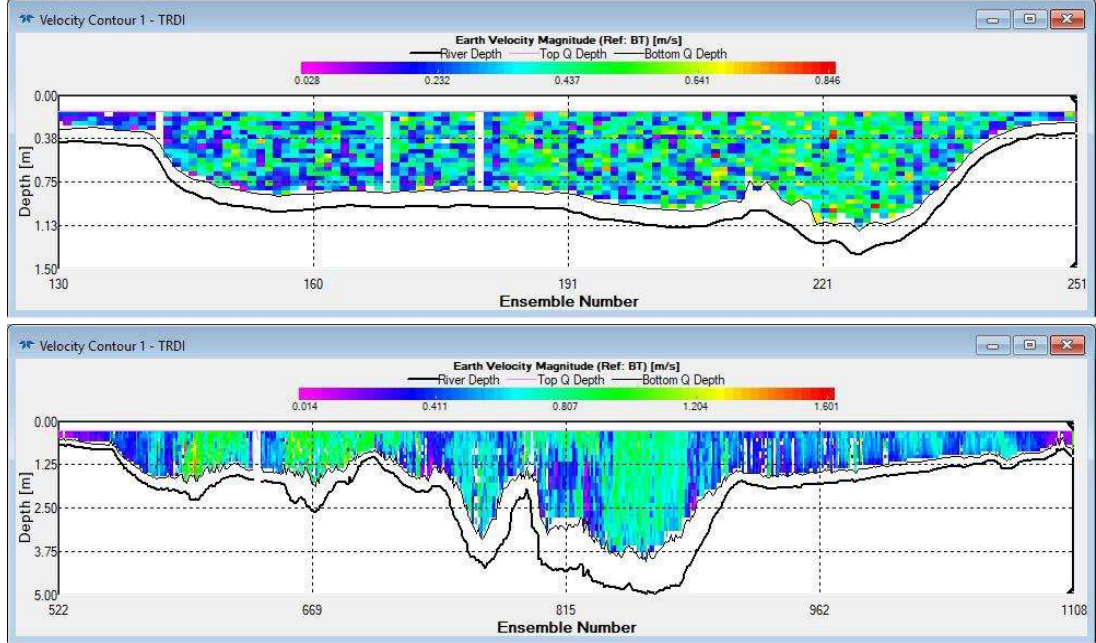
**Tablo C.17:** 167 nolu havza ağırlıklı CN değerinin hesaplanması

| 167 Nolu Havza                                   |                             |    |                             |               |
|--|-----------------------------|----|-----------------------------|---------------|
| HTG  | Arazi Kullanım Bölgesi      | CN | Alan (A) (km <sup>2</sup> ) | CN x A        |
| A  | Geniş yapraklı orman        | 29 | 13.661                      | 396.167       |
| A  | Sulanmayan ekilebilir arazi | 65 | 1.952                       | 126.852       |
| B  | Geniş yapraklı orman        | 38 | 3.903                       | 148.319       |
| <b>CN (Ağırlıklı) = Toplam CN x A \ Toplam A</b> |                             |    |                             | <b>34.399</b> |

## EK D Saha Çalışması Sonucu Elde Edilen Akış Enkesitleri ve Hız Profilleri

### 3 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



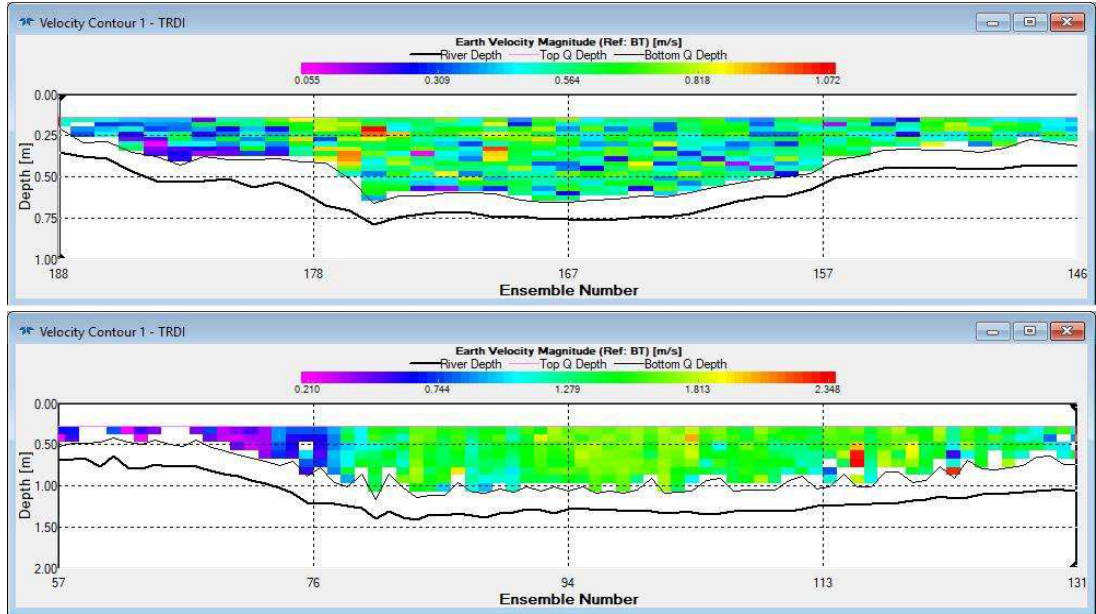
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.1: 3 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

### 4 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



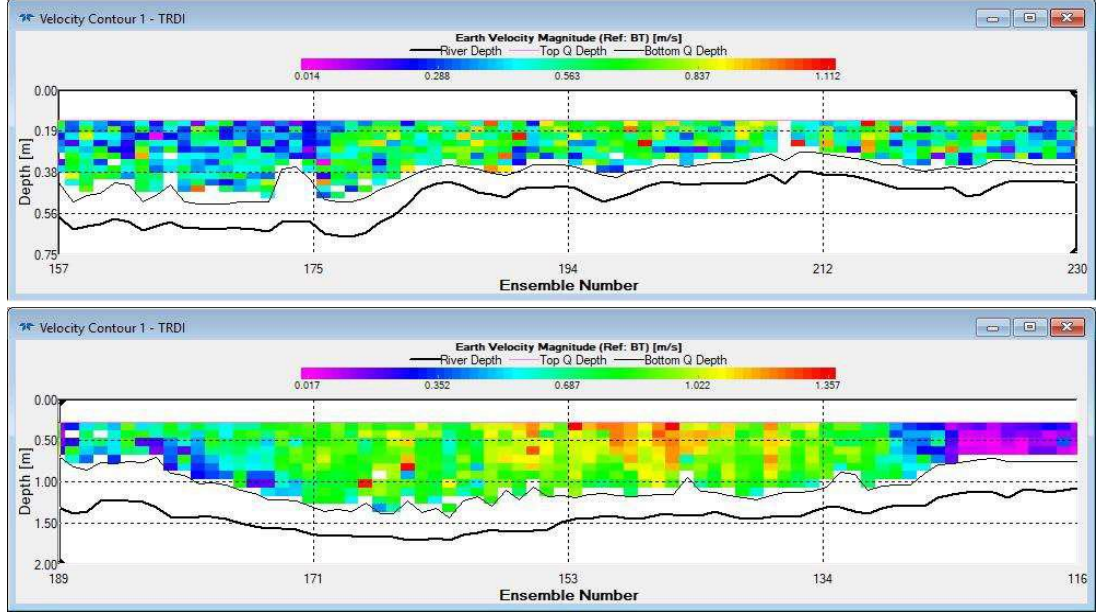
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.2: 4 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 5 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



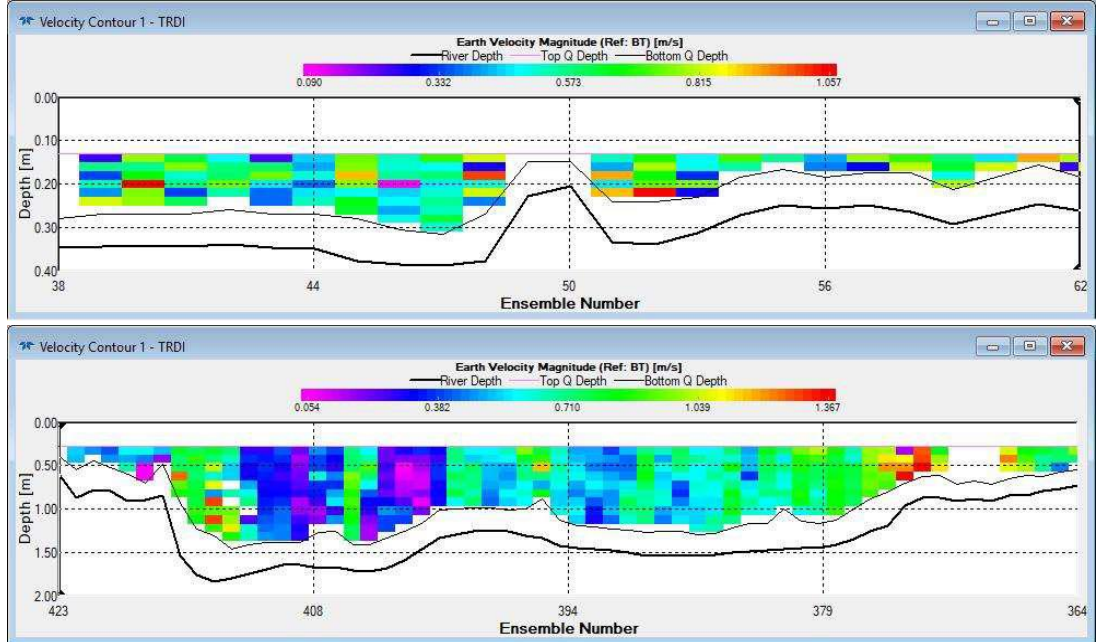
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.3: 5 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 16 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



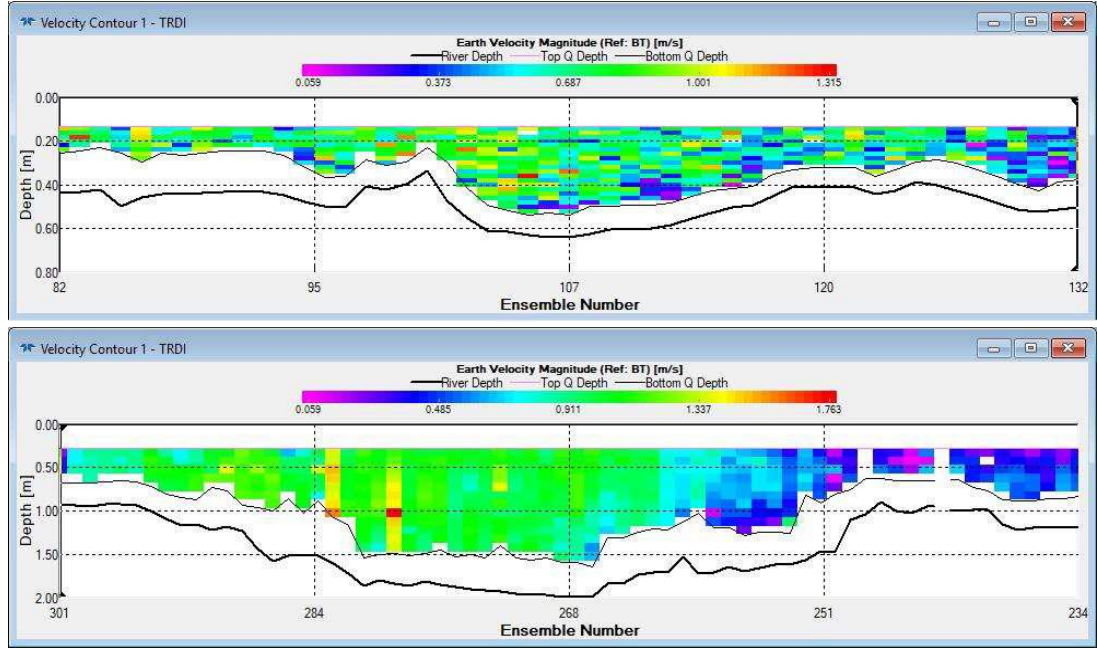
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.4: 16 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 27 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



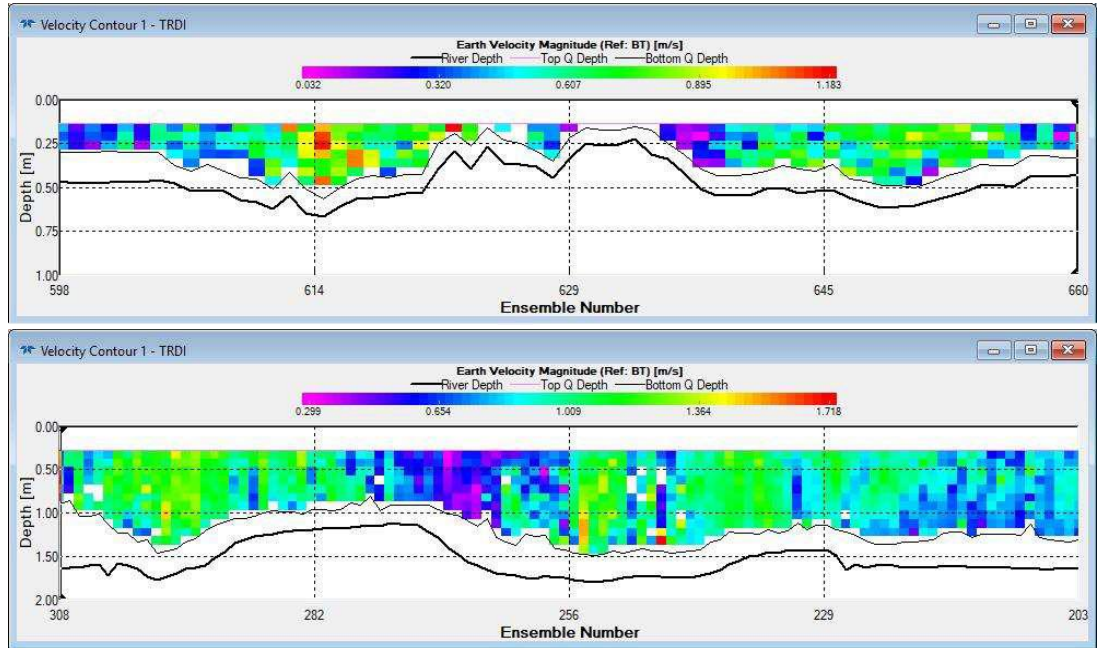
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.5: 27 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 28 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



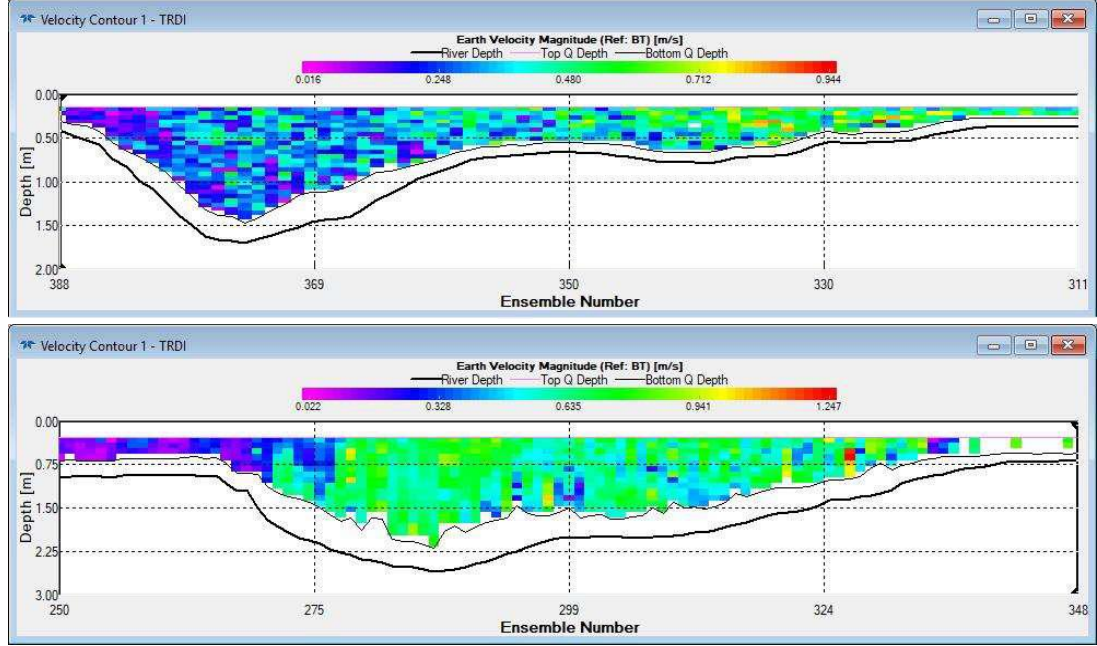
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.6: 28 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 29 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



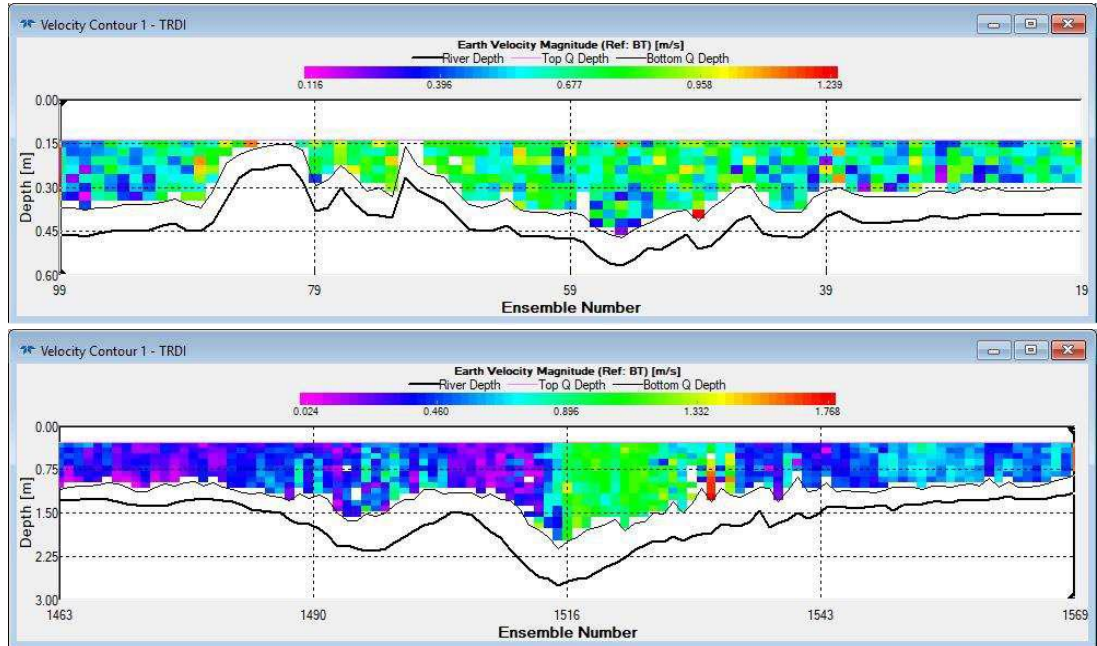
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.7: 29 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 30 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



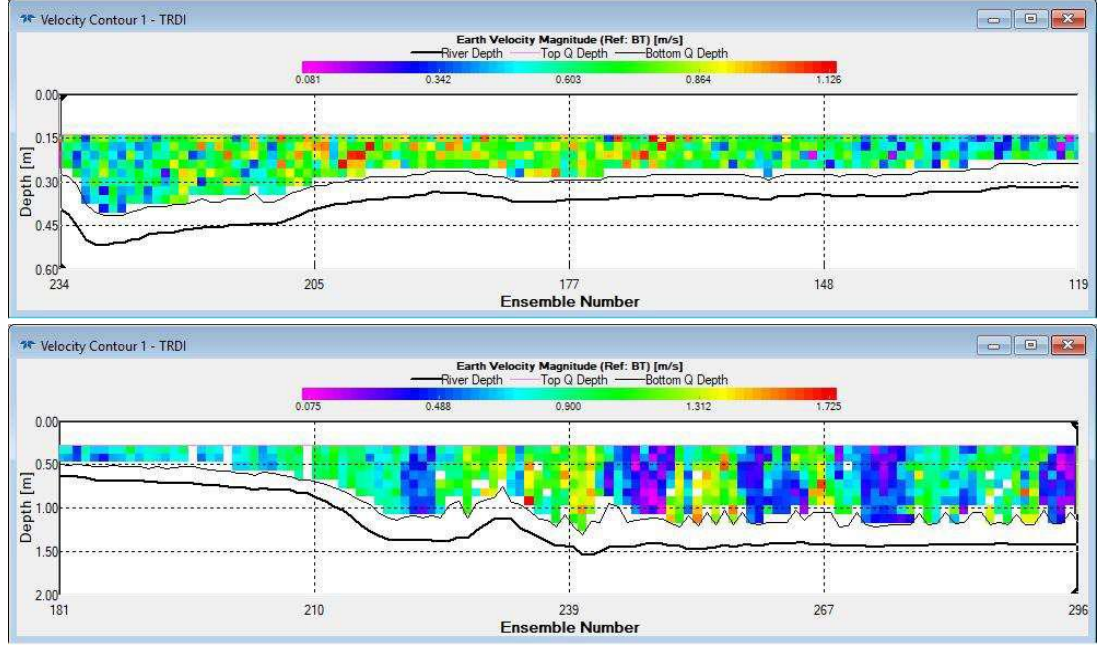
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.8: 30 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 31 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



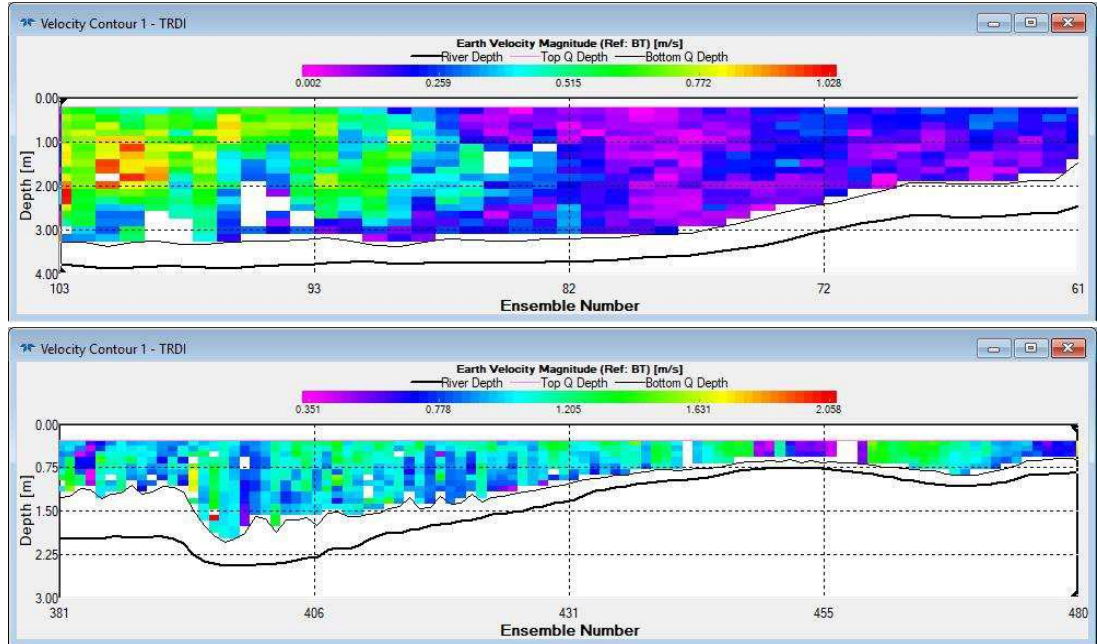
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.9: 31 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 32 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



Şubat 2018

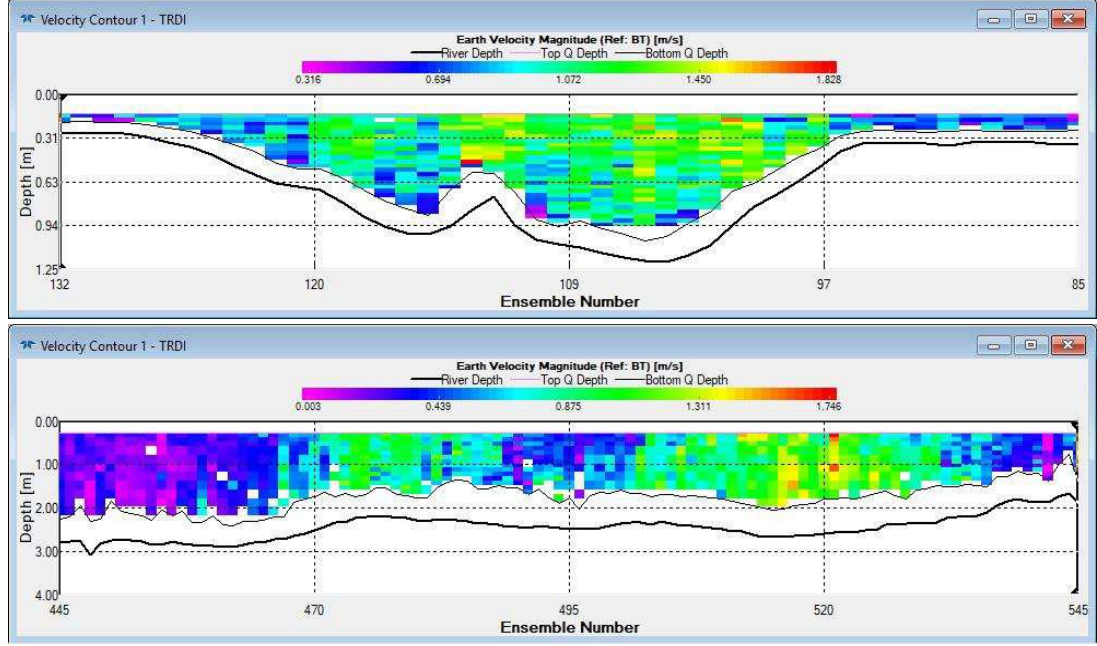
“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.10: 32 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri



## 33 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



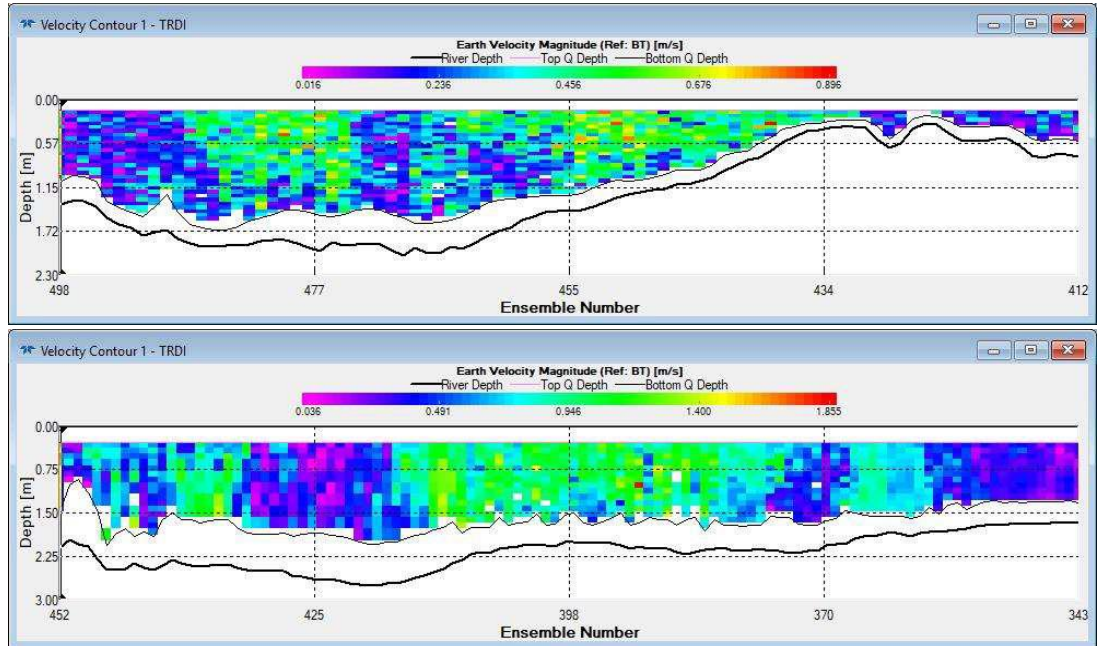
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.11: 33 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 34 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



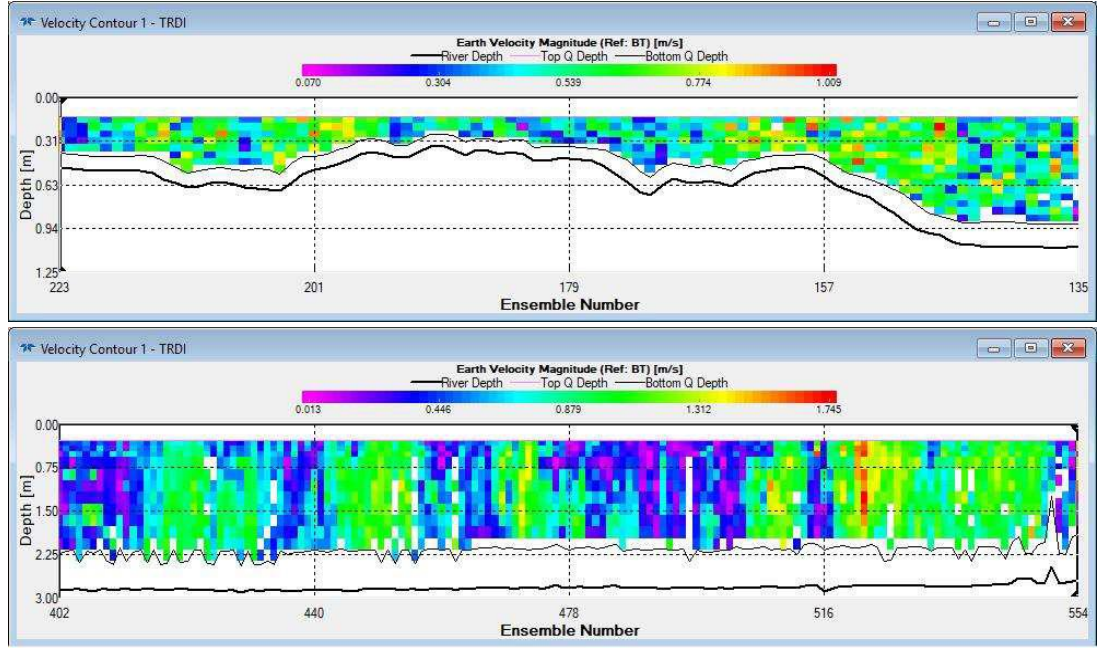
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.12: 34 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 35 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



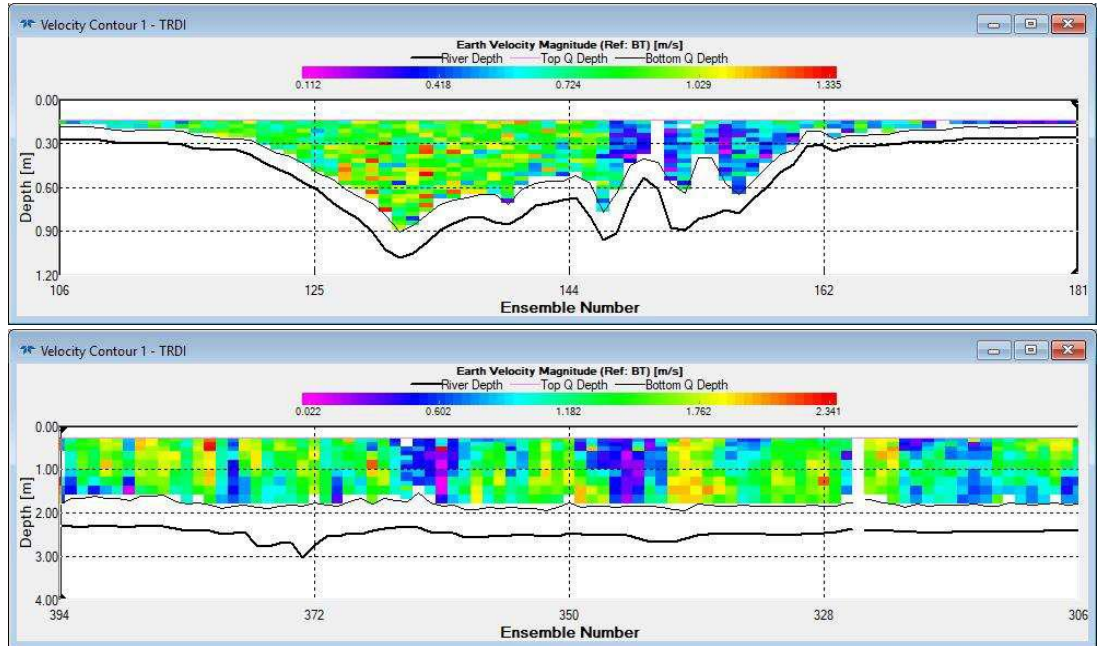
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.13: 35 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 36 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



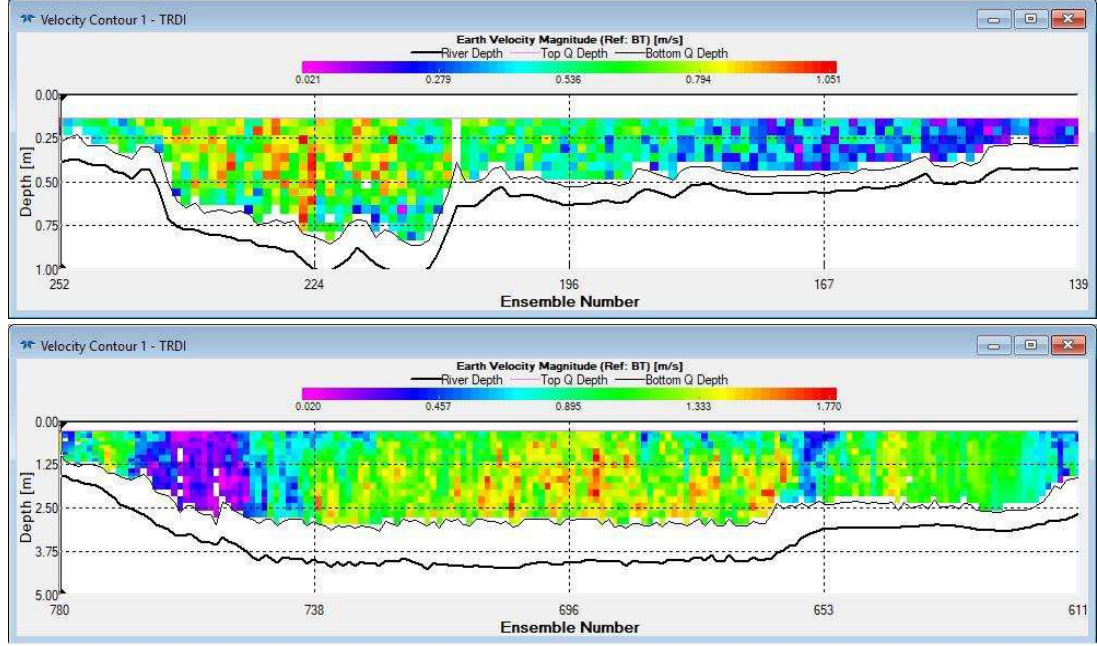
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.14: 36 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 37 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



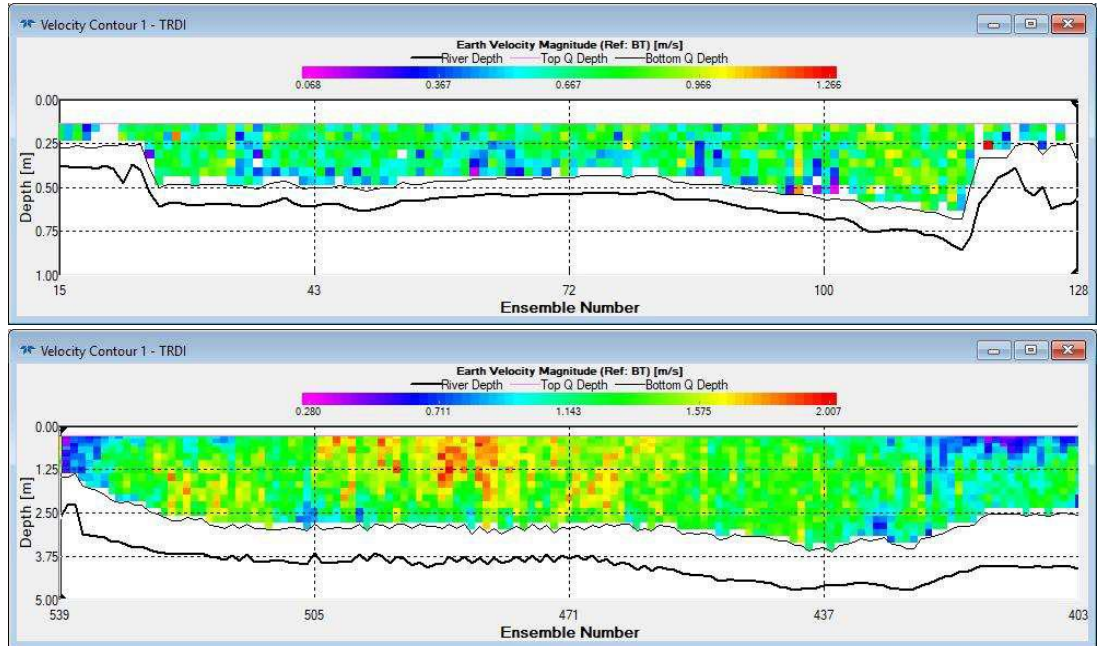
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.15: 37 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 38 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



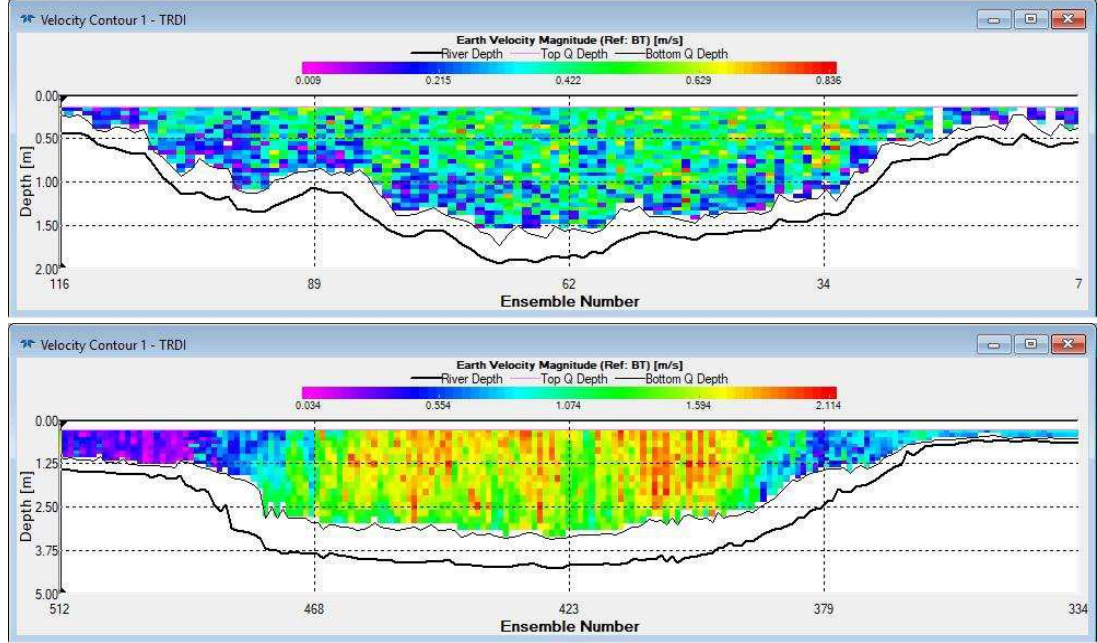
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.16: 38 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 39 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



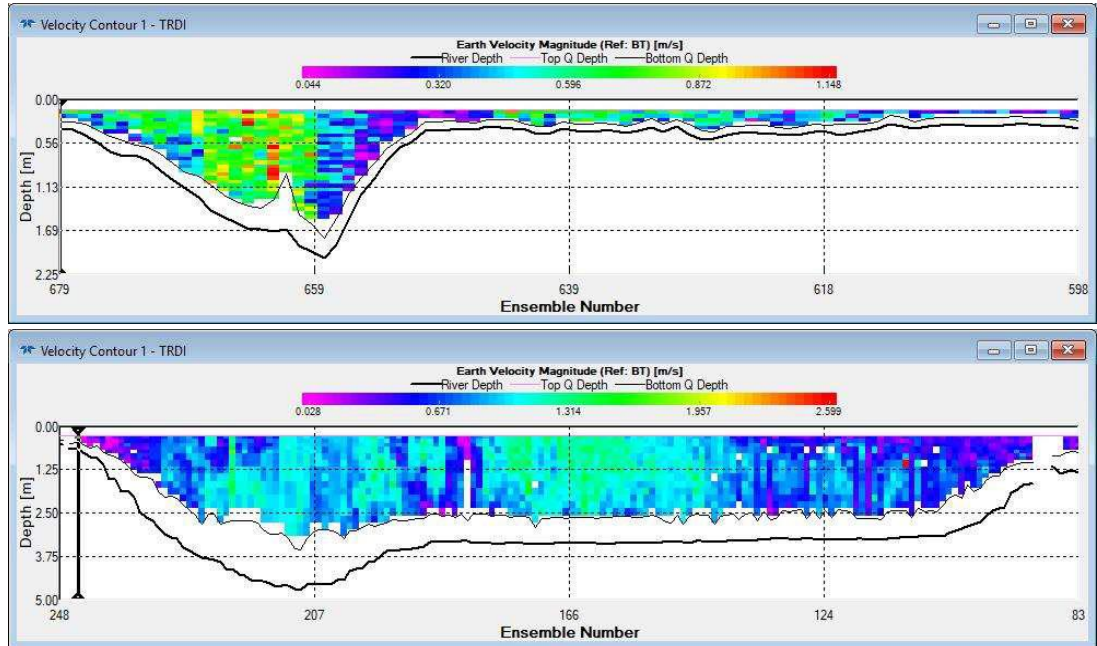
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.17: 39 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 40 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



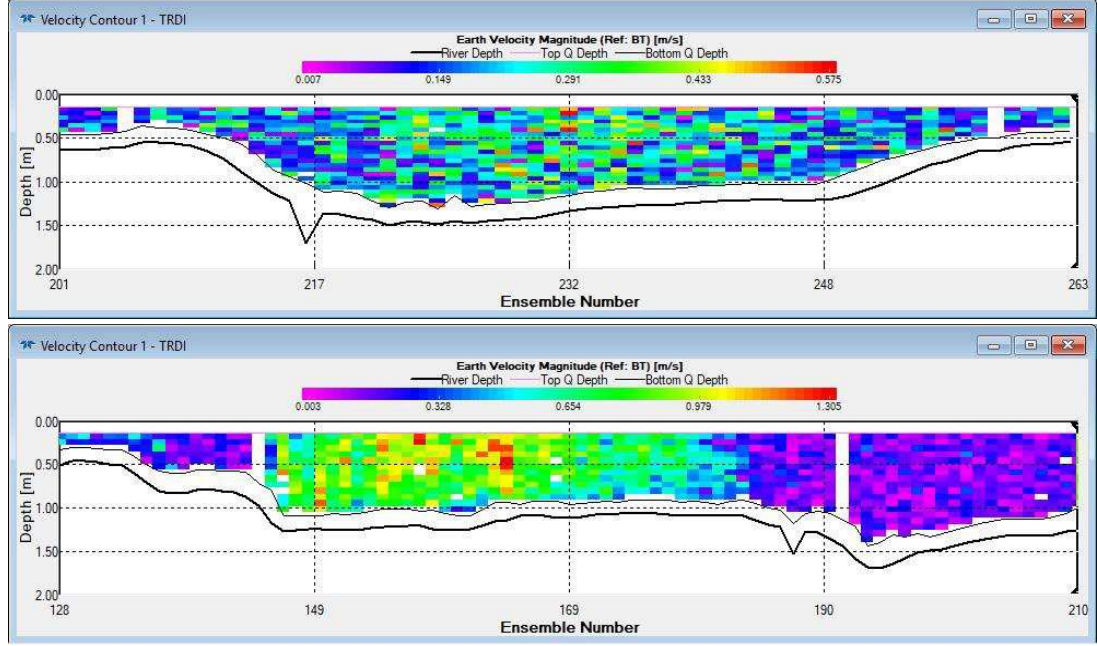
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.18: 40 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 42 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



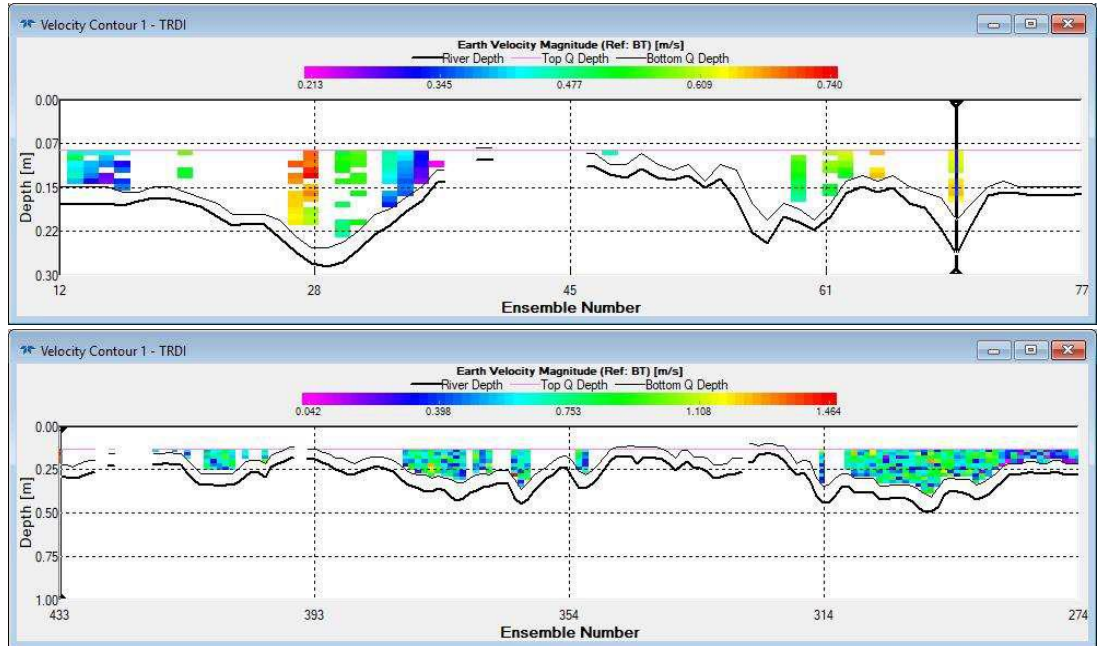
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.19: 42 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 43 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



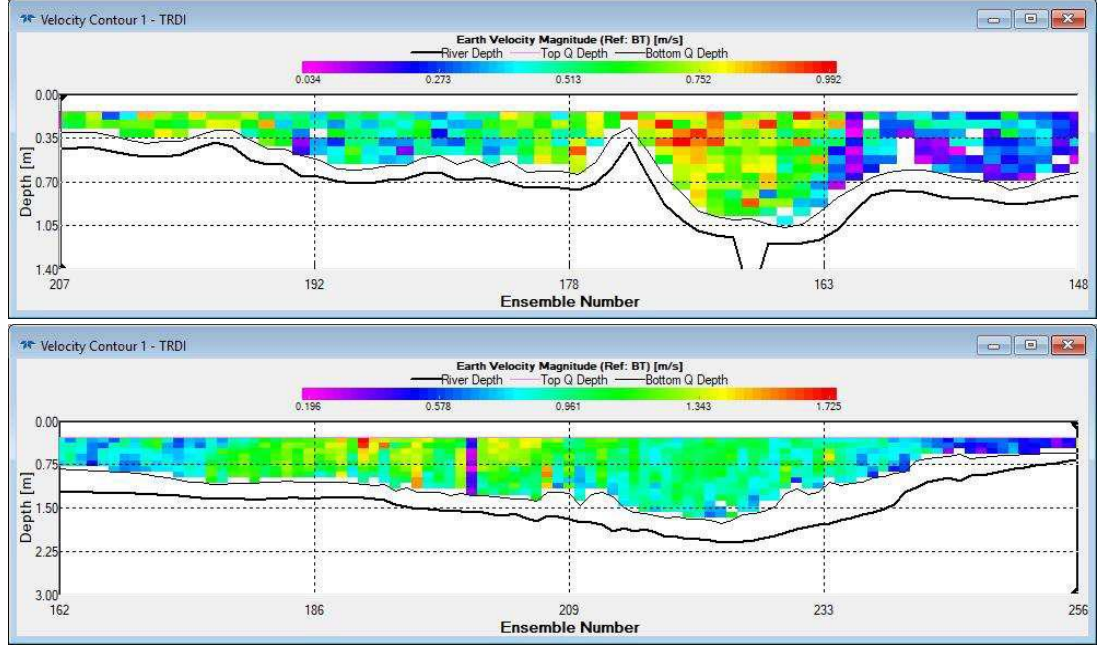
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.20: 43 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 46 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



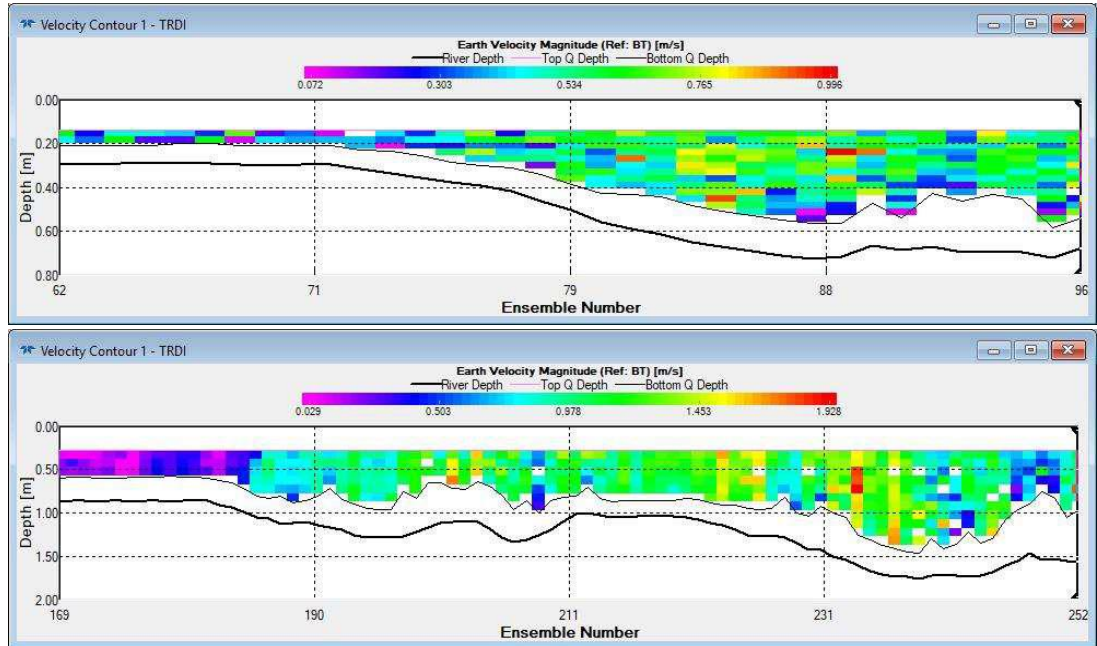
Şubat 2018

"Ensemble Number" değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.21: 46 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 52 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



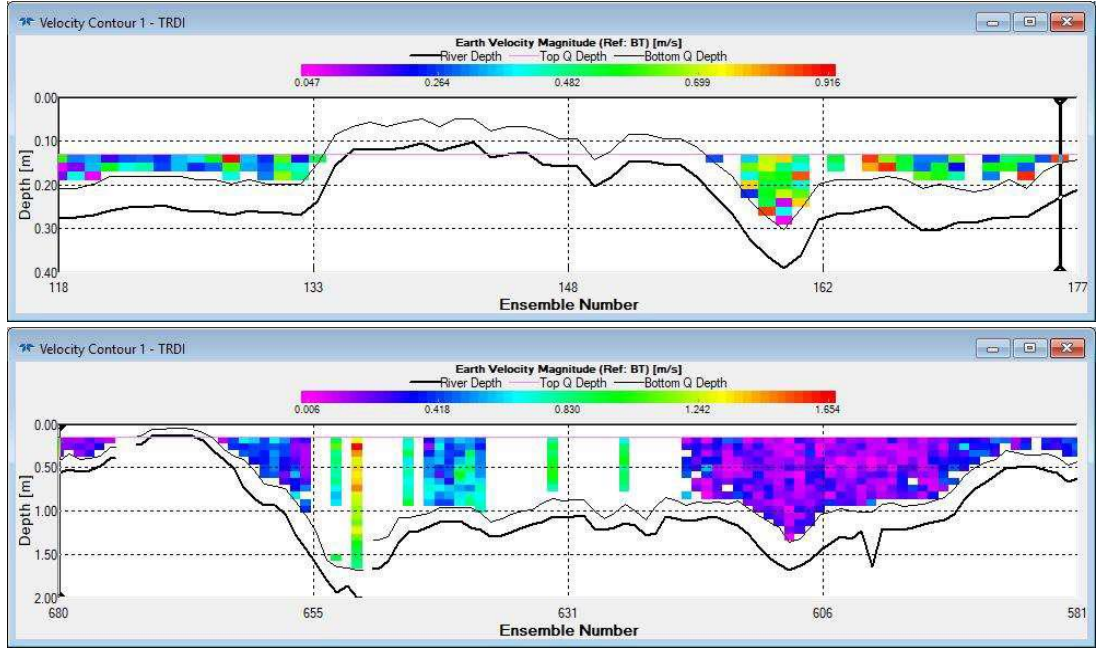
Şubat 2018

"Ensemble Number" değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.22: 52 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 53 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



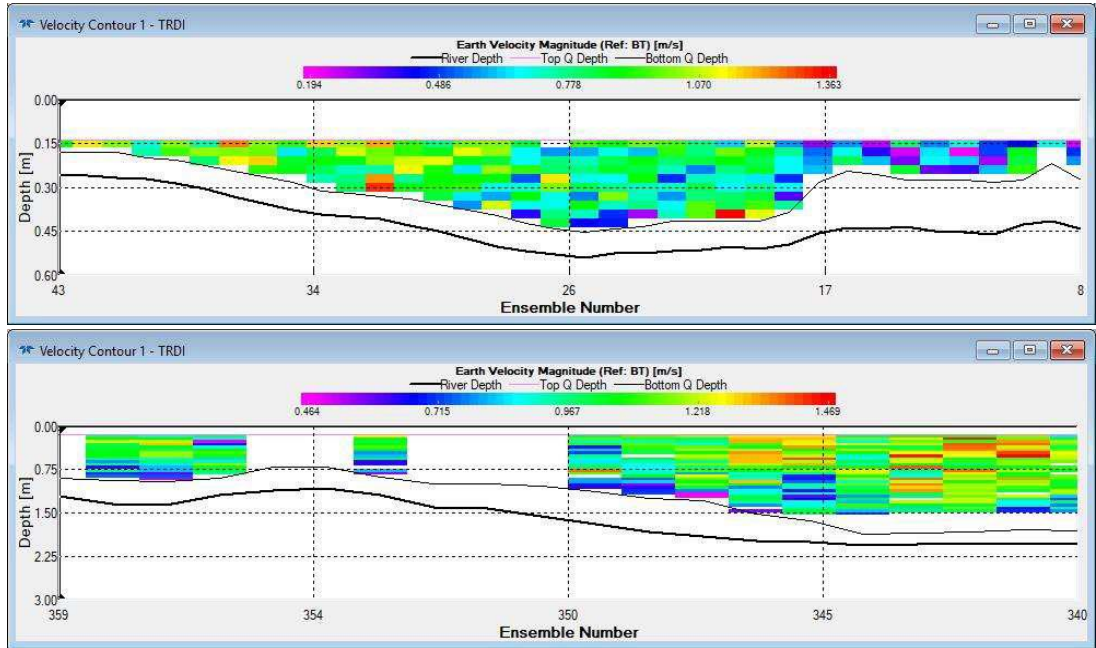
Şubat 2018

"Ensemble Number" değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.23: 53 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 54 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



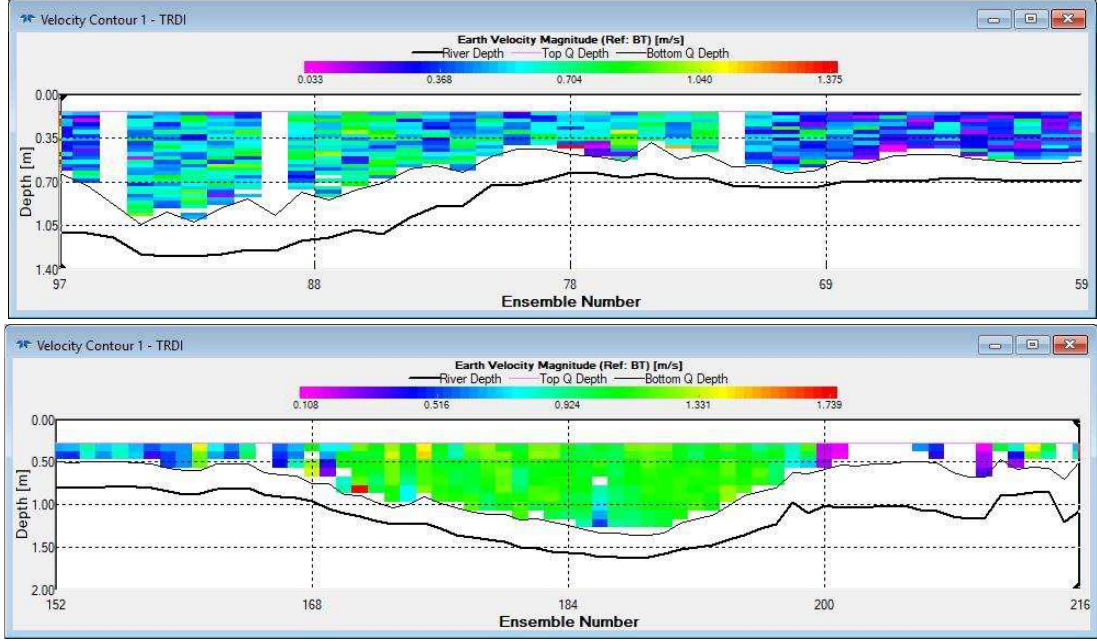
Şubat 2018

"Ensemble Number" değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.24: 54 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 56 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



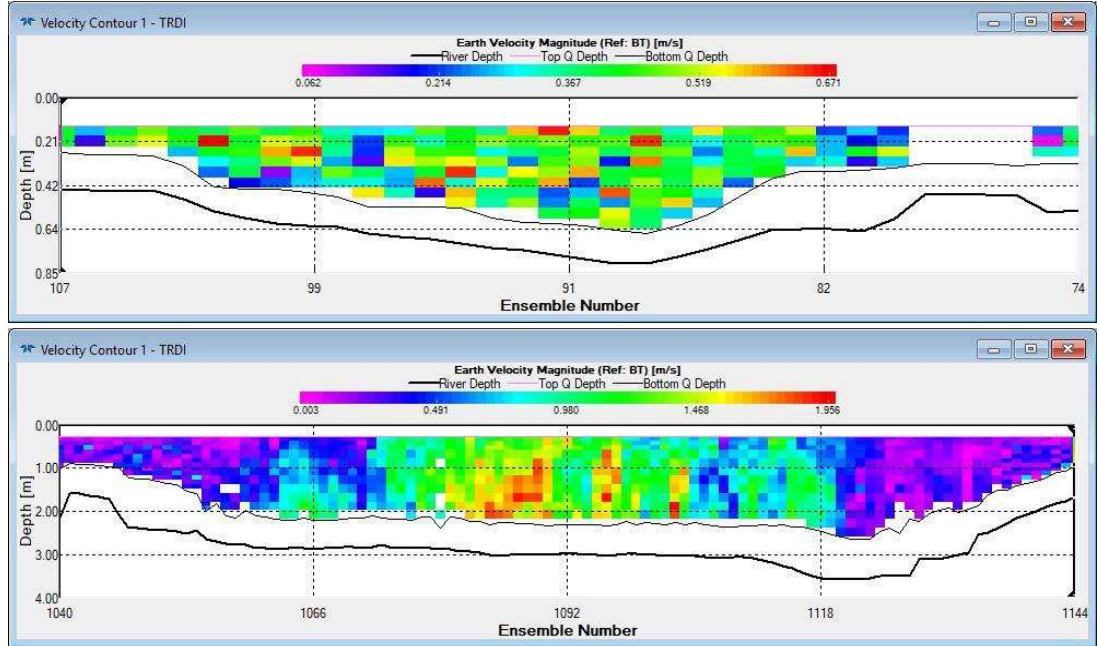
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.25: 56 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 60 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



Şubat 2018

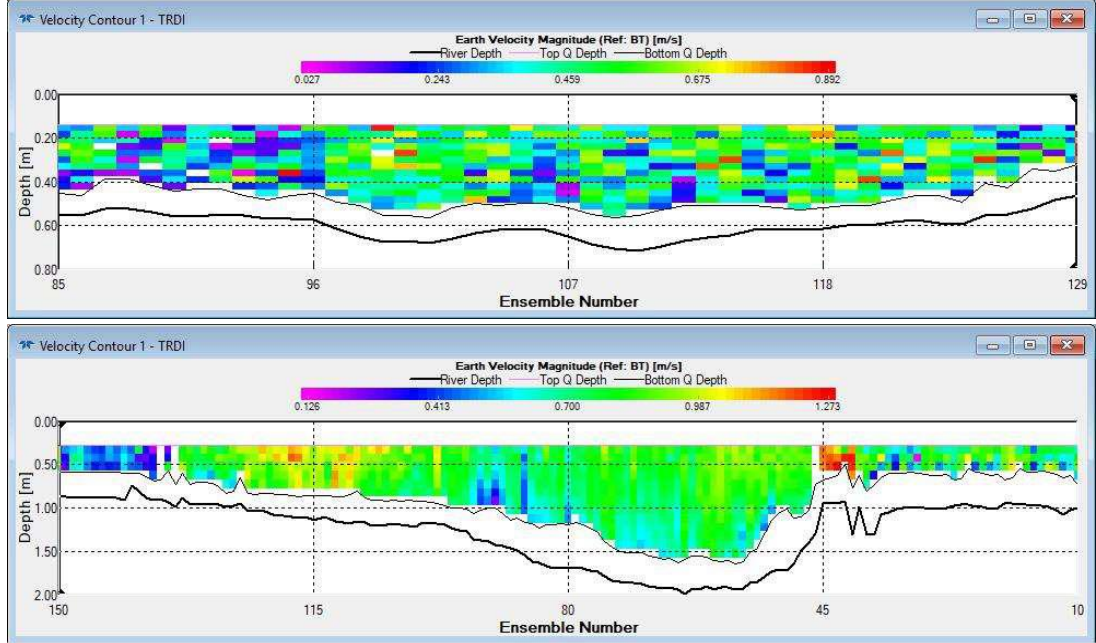
“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.26: 60 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri



## 62 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



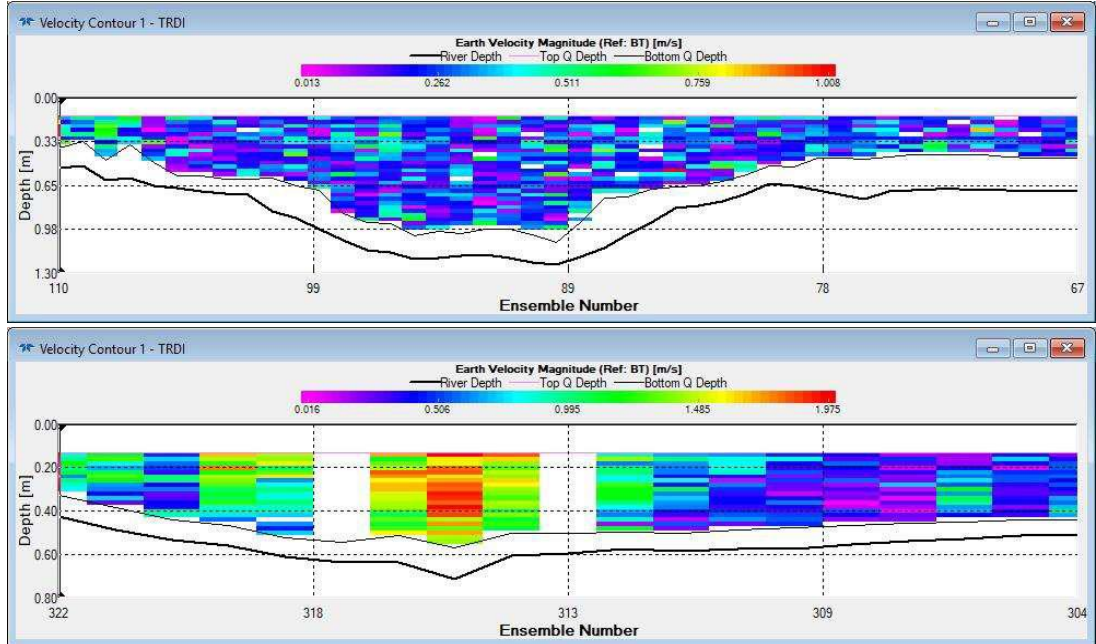
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.27: 62 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 64 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



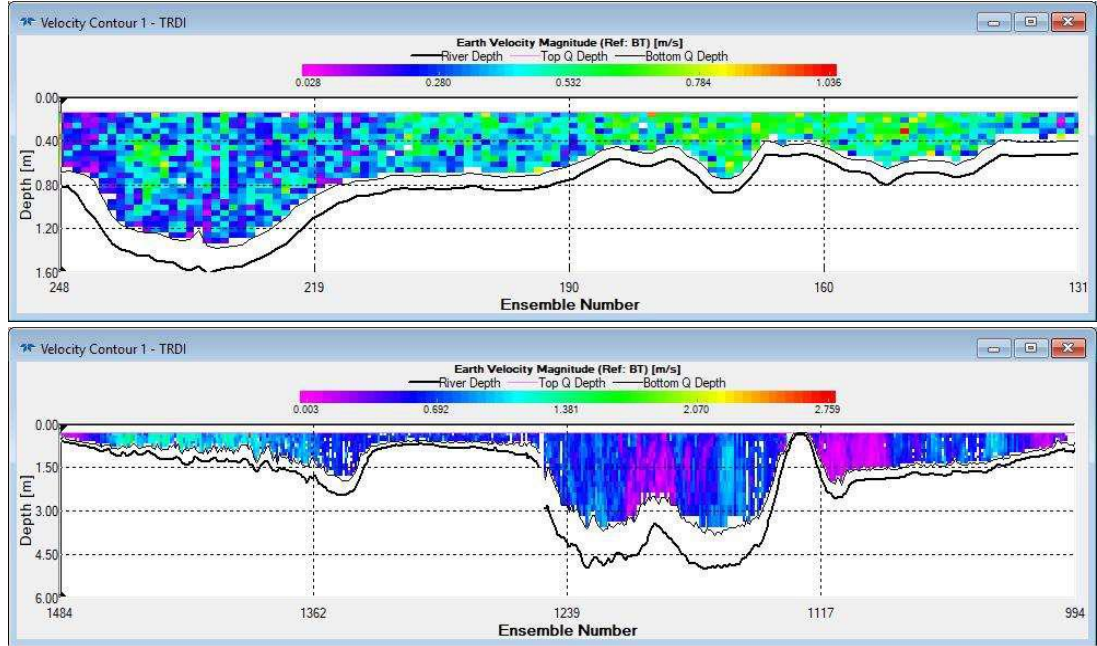
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.28: 64 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 72 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017



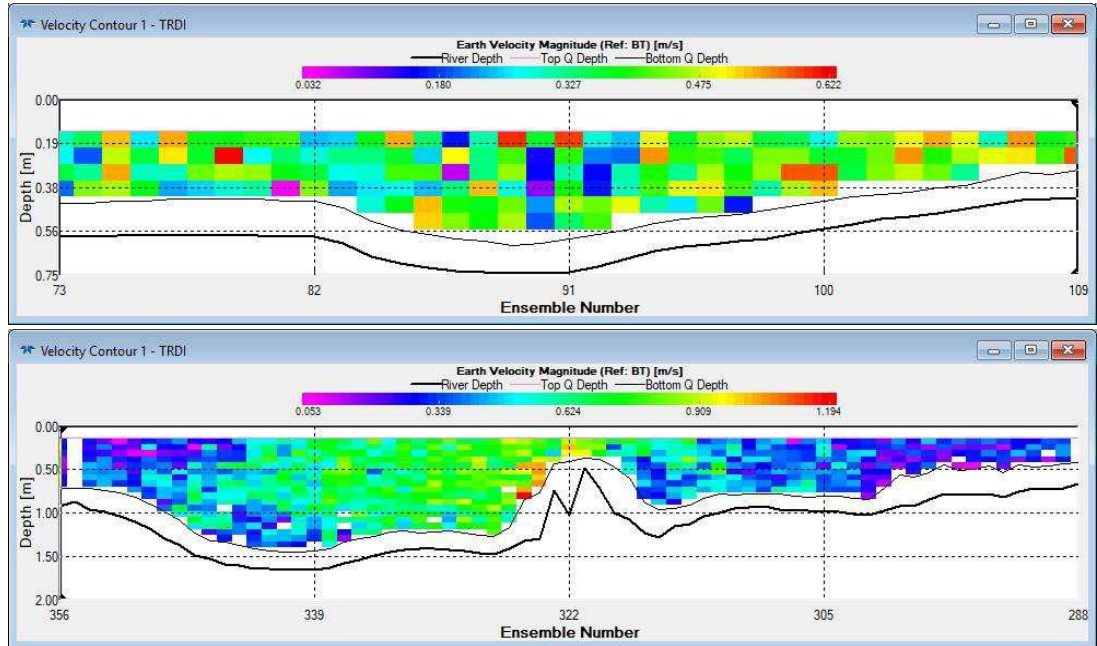
Şubat 2018

“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.29: 72 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

## 75 NOLU ÖLÇÜM NOKTASI

Kasım 2017

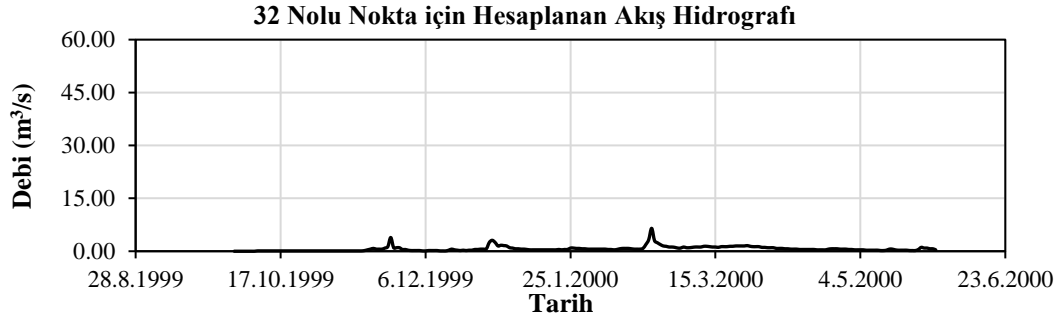


Şubat 2018

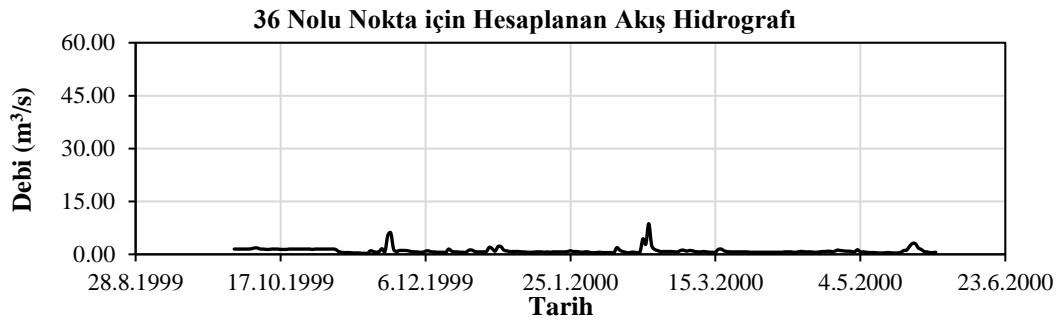
“Ensemble Number” değerinin en düşük olduğu yer sol sahili en yüksek olduğu yer sağ sahili temsil etmektedir.

Şekil D.30: 75 nolu nokta akış enkesitleri ve hız profilleri

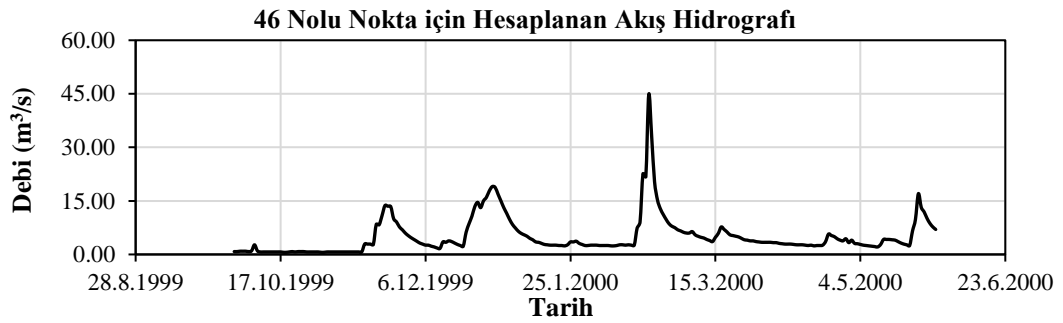
## EK E Kararsız Akım Simülasyonları İçin Yanal Akış Hidrografi



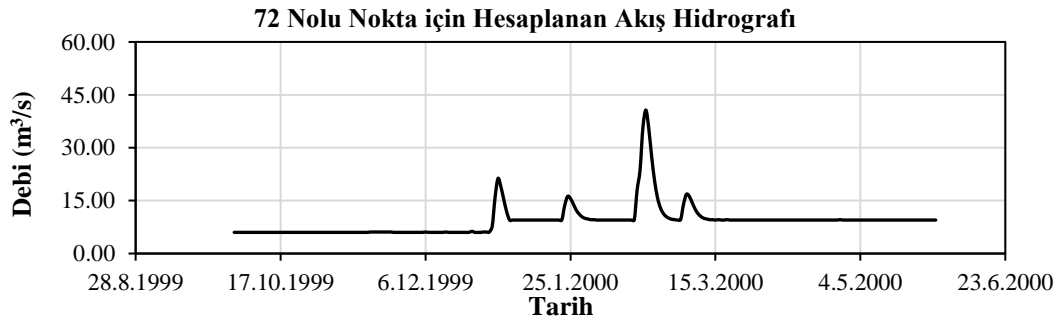
**Şekil E.1:** Düşük akım dönemi - 32 nolu nokta yanar akış hidrografi



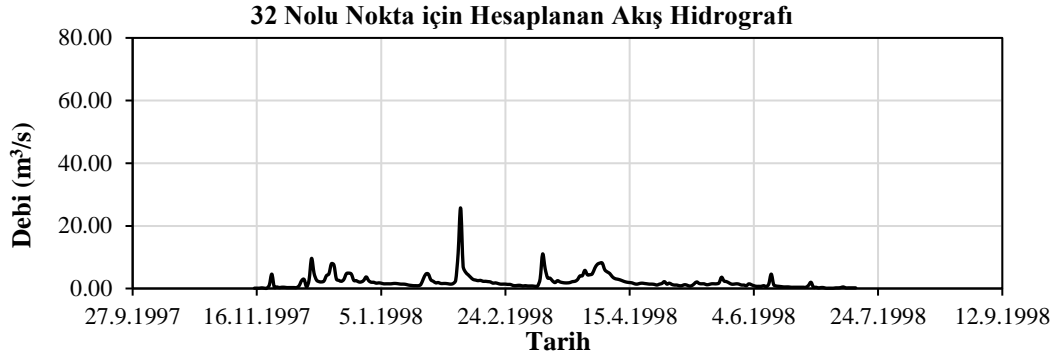
**Şekil E.2:** Düşük akım dönemi - 36 nolu nokta yanar akış hidrografi



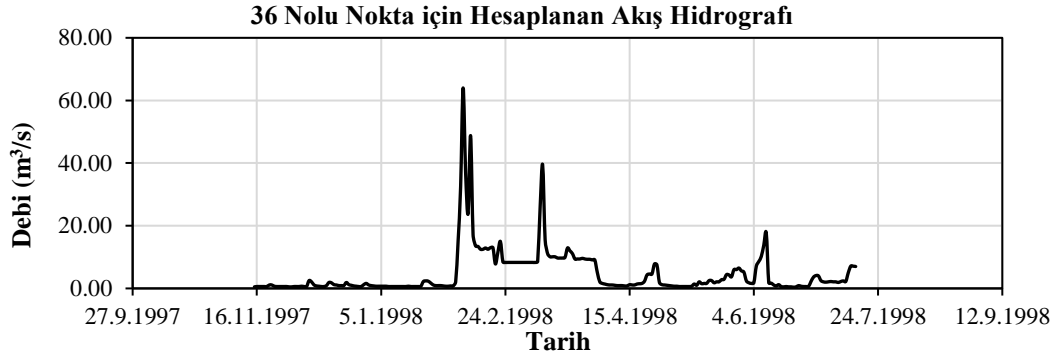
**Şekil E.3:** Düşük akım dönemi - 46 nolu nokta yanar akış hidrografi



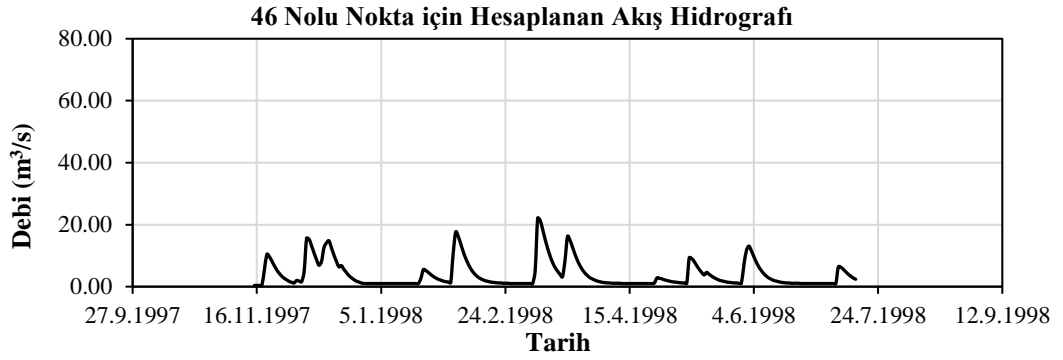
**Şekil E.4:** Düşük akım dönemi - 72 nolu nokta yanar akış hidrografi



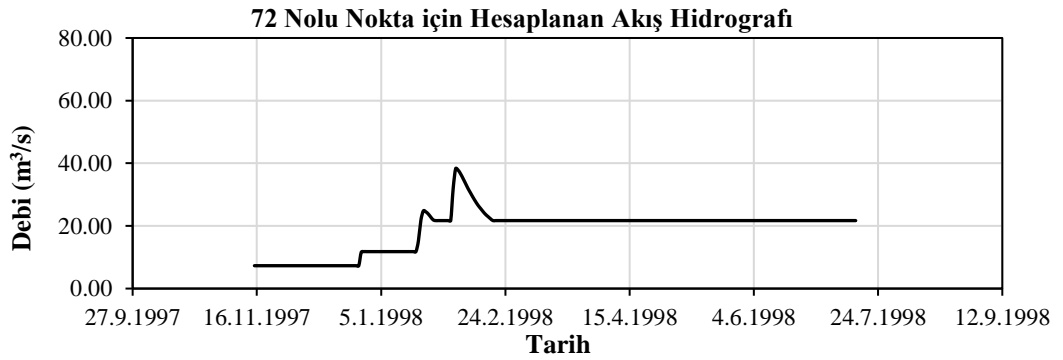
**Şekil E.5:** Orta akım dönemi - 32 nolu nokta yanıl akış hidrografi



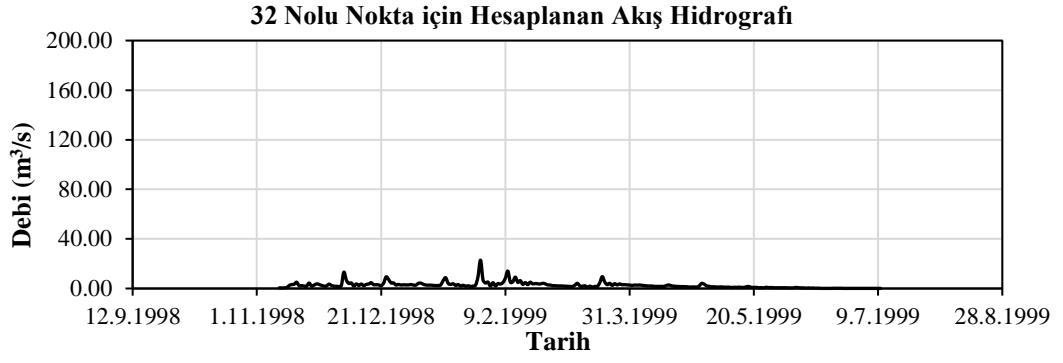
**Şekil E.6:** Orta akım dönemi - 36 nolu nokta yanıl akış hidrografi



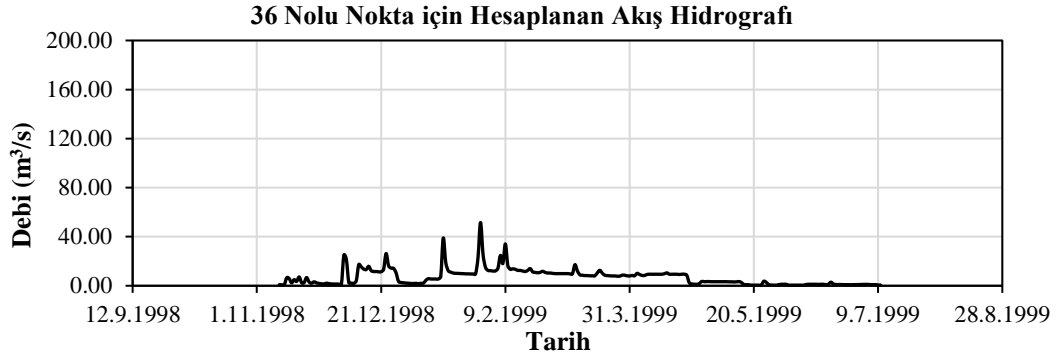
**Şekil E.7:** Orta akım dönemi - 46 nolu nokta yanıl akış hidrografi



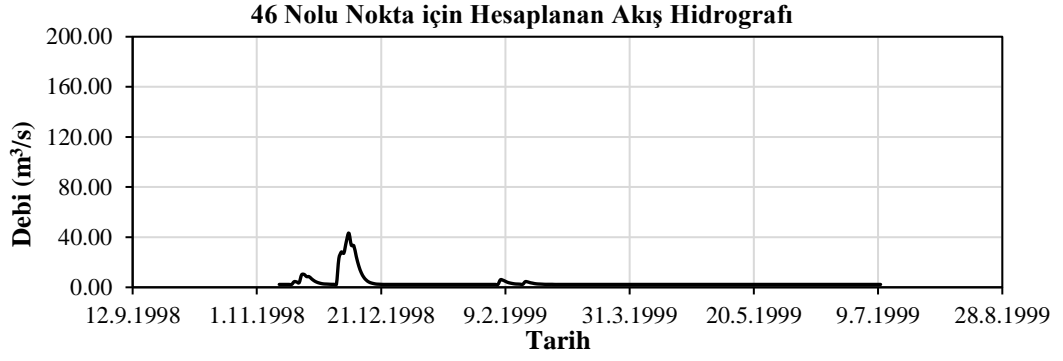
**Şekil E.8:** Orta akım dönemi - 72 nolu nokta yanıl akış hidrografi



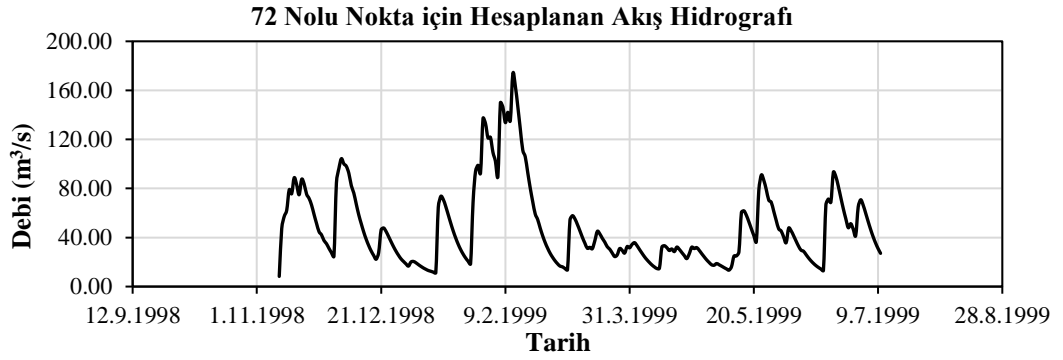
**Şekil E.9:** Yüksek akım dönemi - 32 nolu nokta yanıl akış hidrografi



**Şekil E.10:** Yüksek akım dönemi - 36 nolu nokta yanıl akış hidrografi



**Şekil E.11:** Yüksek akım dönemi - 46 nolu nokta yanıl akış hidrografi



**Şekil E.12:** Yüksek akım dönemi - 72 nolu nokta yanıl akış hidrografi

## 9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Pınar Gökçe KARGI

Doğum Yeri ve Tarihi : Trabzon – 17/03/1994

Lisans Üniversitesi : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik  
Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
DENİZLİ

Elektronik posta : pgkargi@gmail.com

İletişim Adresi : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik  
Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

### Yayın Listesi

Goktas, R. K., Tezel, U., Kargi, P. G., Ayvaz, T., Tezyapar, I., Mesta, B., Kentel, E., “Effect of Using Extreme Years in Hydrologic Model Calibration Performance” *AGU Fall Meeting Abstracts*, New Orleans, USA, (2017).

Bacanlı, Ü. G., Kargı, P., “Standart Yağış İndeksi ile Bursa İli Kuraklık Analiz”, *Uluslararası Su ve Çevre Kongresi*, Bursa, Türkiye, s. 2186, (2018).

Goktas, R. K., Ayvaz, M. T., Kargı, P. G., Kentel, E., Mesta, B., Tezyapar, I., Tezel, U., “Effect of Land Surface Elevation Data Availability on River Hydraulic Model Output”, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 20, EGU2018, Vienna, Austria, s.14885, (2018).

Mesta, B., Kargı, P. G., Tezyapar, İ., Ayvaz, M. T., Göktaş, R. K., Kentel, E., Tezel, U., “Yenigörücü Havzası’ndaki Yağış-Akış İlişkisinin HEC-HMS Hidrolojik Modeli ile Belirlenmesi”, *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management*, Ekim 25-27, Denizli, Türkiye, s. 200-207, (2018).

Tezyapar, İ., Kargı, P. G., Mesta, B., Ayvaz, M. T., Göktaş, R. K., Kentel, E., Tezel, U., “Nehir Suyu Kalitesi Gözlem Sonuçlarının Hidrolik ve Taşınım Modelleri Yardımıyla İncelenmesi”, *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management*, Ekim 25-27, Denizli, Türkiye, s. 1061-1068, (2018).

Bacanlı, Ü., Kargı, P., “Uzun ve Kısa Süreli Periyotlarda Kuraklık Analizi: Bursa Örneği”, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5 (1), 166-174, (2019). DOI: 10.21324/dacd.429391