**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# İKLİM VE HİDROLOJİK MODELLER İLE RİZE'DE BULUNAN SU HAVZALARININ TAŞKIN RİSK TAYİNİ

**DOKTORA TEZİ**

**Olgay ŞEN**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı**

**MAYIS 2019**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# İKLİM VE HİDROLOJİK MODELLER İLE RİZE'DE BULUNAN SU HAVZALARININ TAŞKIN RİSK TAYİNİ

**DOKTORA TEZİ**

**Olgay ŞEN**
**(501112503)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ercan KAHYA**

**MAYIS 2019**

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501112503 numaralı Doktora Öğrencisi Olgay ŞEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "İKLİM VE HİDROLOJİK MODELLER İLE RİZE'DE BULUNAN SU HAVZALARININ TAŞKIN RİSK TAYİNİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

| | | |
|---|---|---|
| **Tez Danışmanı :** | **Prof.Dr. Ercan KAHYA**<br>İstanbul Teknik Üniversitesi | ..... |
| **Jüri Üyeleri :** | **Doç. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL**<br>İstanbul Teknik Üniversitesi | ..... |
| | **Prof. Dr. Hüseyin TOROS**<br>İstanbul Teknik Üniversitesi | ..... |
| | **Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU**<br>Yıldız Teknik Üniversitesi | ..... |
| | **Prof. Dr. Necati AĞIRALİOĞLU**<br>Antalya Bilim Üniversitesi | ..... |

**Teslim Tarihi : 12 Mart 2019**
**Savunma Tarihi : 13 Mayıs 2019**

***Aileme,***

## ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca çok kıymetli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, karşılaştığım problemlerde her türlü desteğini yanımda hissettiğim, çok değerli hocam Prof. Dr. Ercan KAHYA'ya,

Doktora tezime 112Y204 nolu proje desteğinden dolayı TÜBİTAK'a,

Araştırma projesindeki çalışma arkadaşlarım Dr. Ali Danandeh MEHR ve Dr. Hilal ERDEM'e,

Tez çalışmama sağladıkları bilgi ve veri desteğinden dolayı Devlet Su İşleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Rize İl Özel İdaresi kurumlarına,

Gösterdikleri destek ve anlayış için ailem ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Mart 2019

Olgay ŞEN
(İnşaat Yüksek Mühendisi)

**İÇİNDEKİLER**

**Sayfa**

**ÖNSÖZ……. vii**
**İÇİNDEKİLER ..... ix**
**KISALTMALAR ..... xi**
**SEMBOLLER ..... xiii**
**ÇİZELGE LİSTESİ ..... xv**
**ŞEKİL LİSTESİ ..... xvii**
**ÖZET……. xxi**
**SUMMARY ..... xxiii**
**1. GİRİŞ….. ..... 1**
**2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ..... 3**
2.1 İklim Değişikliği ve Hidrolojik Modeller ..... 3
2.2 Hidrolik Modeller ..... 6
**3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER ..... 11**
3.1 Havza Modelleme Çalışmaları ..... 11
3.1.1 Yağış ve akış verileri ..... 12
3.1.2 Topoğrafya ve arazi kullanımı verileri ..... 15
3.2 Taşkın Modelleme Çalışmaları ..... 17
3.2.1 Görüntü verileri ..... 17
3.2.2 Topografya verileri ..... 18
3.2.3 Arazi kullanımı ..... 20
**4. YÖNTEM ..... 23**
4.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri ..... 23
4.2 İklim Değişikliği ..... 24
4.3 Hidrolojik Modelleme ..... 28
4.3.1 Hidrolojik modellerin sınıflandırılması ..... 29
4.3.1.1 Sistem kriterlerine göre sınıflandırma ..... 29
4.3.1.2 İşlem kriterlerine göre sınıflandırma ..... 30
4.3.1.3 Alan kriterlerine göre sınıflandırma ..... 31
4.3.2 Model seçimi ..... 32
4.3.3 Model yapılandırması ..... 32
4.3.3.1 Yağış dağılımı ve süresi ..... 36
4.3.3.2 Yağış-akış simülasyonları ..... 37
4.4 Hidrolik Modelleme ..... 43
4.4.1 Hidrolik modellerin sınıflandırılması ..... 43
4.4.2 Model yapılandırması ..... 47
4.4.2.1 Topografya, arazi kullanımı, görüntü verileri ..... 47
4.4.2.2 2 boyutlu hesağ ağı ..... 47
4.4.2.3 Hidrolik yapılar ..... 50
4.4.2.4 Sınır koşulları ..... 51
4.4.2.5 Model kontrol bilgileri ..... 52

**5. UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRMELER ..... 53**
5.1 Hidrolojik Model Kalibrasyon Çalışmaları ..... 53
5.2 Çalışma Havzalarının Taşkın Hidrografları ..... 74
5.3 İklim Değişikliğinin Şiddet-Süre-Tekerrür Eğrilerine Etkisi ..... 75
5.4 Taşkın Haritalarının Elde Edilmesi ..... 85
**6. SONUÇLAR ..... 93**
**KAYNAKLAR ..... 97**
**EKLER…… ..... 105**
**ÖZGEÇMİŞ ..... 123**

**KISALTMALAR**

**AGİ** : Akım Gözlem İstasyonu
**BH** : Birim Hidrograf
**CBS** : Coğrafi Bilgi Sistemleri
**CN** : Cuve Number (Akış eğri numarası)
**DSİ** : Devlet Su İşleri
**MAE** : Mean Absolute Error
**MGM** : Meteoroloji Genel Müdürlüğü
**RMSE** : Root Mean Square Error
**SCS** : Soil Conservation Service
**SYM** : Sayısal Yükseklik Modeli
**WMS** : Watershed Modeling System
**YGİ** : Yağış Gözlem İstasyonu

**SEMBOLLER**

| | |
|---|---|
| **A** | **:** Havza alanı, Enkesit alanı |
| **B** | **:** Akım genişliği |
| $c_f$ | **:** Coriolis kuvveti katsayısı |
| $C_r$ | **:** Courant sayısı |
| $c_t$, $c_p$ | **:** Havza katsayıları |
| $F_x$, $F_y$ | **:** Rüzgar bileşenlerinin toplamı |
| **g** | **:** Yer çekimi ivmesi |
| **H** | **:** Su derinliği |
| **ha** | **:** Akış yüksekliği |
| **K** | **:** Havza katsayısı |
| **k**, $f_1$ | **:** Enerji kayıp katsayısı |
| **L** | **:** En uzun akarsu boyu |
| $L_c$ | **:** Ağırlık merkezi çıkışa uzaklığı |
| **n** | **:** Manning katsayısı, grid numarası |
| **P** | **:** Yağış miktarı |
| **p** | **:** atmosfer basıncı |
| **Q** | **:** Akış yüksekliği |
| $q_p$ | **:** Pik debi |
| $q_v$ | **:** Verim |
| **R** | **:** Hidrolik yarıçap |
| **S** | **:** Harmonik eğim, potansiyel yağış tutulması |
| **t** | **:** Zaman |
| $t_b$ | **:** Taban süresi |
| $t_c$ | **:** Geçiş süresi |
| $t_l$ | **:** Gecikme süresi |
| $t_p$ | **:** Pik debiye ulaşma süresi |
| $t_r$, **T** | **:** Birim hidrograf süresi |
| $T_r$ | **:** Alçalma süresi |
| **u, v** | **:** Ortalama derinlik ve genişlikte akım hızları |
| **W** | **:** Hidrograf genişliği |
| **x** | **:** Uzaklık |
| $\Delta$**D** | **:** Birim sağanak süresi |
| $\Delta$**h** | **:** Enerji kaybı |
| $\Delta$**t** | **:** Zaman adımı |
| $\Delta$**x**, $\Delta$**y** | **:** Grid boyutları |
| $\mu$ | **:** Momentum yatay difüzyon katsayısı |
| $\rho$ | **:** Su yoğunluğu |
| $\zeta$ | **:** Su seviyesi |

## ÇİZELGE LİSTESİ

**Sayfa**


**Çizelge 3.1 :** Rize'de geçmiş yıllarda meydana gelen taşkın ve heyelanlar ..... **12**
**Çizelge 3.2 :** Verisi bulunmayan MGM istasyonları. ..... **13**
**Çizelge 3.3 :** DSİ yağış istasyonları özellikleri. ..... **14**
**Çizelge 3.4 :** Taşkın modellemesi çalışma alanları. ..... **17**
**Çizelge 3.5 :** Arazi kullanım türüne göre Manning katsayıları. ..... **21**
**Çizelge 4.1 :** Çalışma havzalarına ait 24 saat süreli 100 yıllık yağış değerleri (mm).**27**
**Çizelge 4.2 :** Çalışma havzalarına ait 24 saat süreli 500 yıllık yağış değerleri (mm).**27**
**Çizelge 4.3 :** Çalışma havzalarının fiziksel parametreleri. ..... **35**
**Çizelge 4.4 :** Havzalara ait CN değerleri. ..... **43**
**Çizelge 4.5 :** Mansap sınır koşulu eğim değerleri. ..... **52**
**Çizelge 5.1 :** Gözlem istasyonları veri aralığı. ..... **56**
**Çizelge 5.2 :** DSİ 2282 AGİ'de maksimum akışın gözlemlendiği günler. ..... **57**
**Çizelge 5.3 :** DSİ 2282 havza ortalama yağış değerleri (mm). ..... **58**
**Çizelge 5.4 :** Toplu model SCS yöntemi sonuçları ($m^3/s$). ..... **59**
**Çizelge 5.5 :** Toplu model Snyder yöntemi sonuçları ($m^3/s$) ..... **59**
**Çizelge 5.6 :** Toplu model Mockus yöntemi sonuçları ($m^3/s$). ..... **60**
**Çizelge 5.7 :** Toplu model DSİ sentetik yöntemi sonuçları ($m^3/s$). ..... **60**
**Çizelge 5.8 :** Yarı yayılı model SCS yöntemi sonuçları ($m^3/s$). ..... **62**
**Çizelge 5.9 :** Yarı yayılı model DSİ sentetik yöntemi sonuçları ($m^3/s$). ..... **63**
**Çizelge 5.10 :** İzohiyet eğrilerine göre yarı yayılı model sonuçları ($m^3/s$) ..... **68**
**Çizelge 5.11 :** DSİ 2285 AGİ ve YGİ 1480 Gözlem istasyonları veri aralığı. ..... **70**
**Çizelge 5.12 :** DSİ 2285 AGİ'de maksimum akışın gözlemlendiği günler. ..... **70**
**Çizelge 5.13 :** 04/08/1988 tarihi için elde edilen debi değerleri ($m^3/s$). ..... **71**
**Çizelge 5.14 :** 22/09/1987 tarihi için elde edilen debi değerleri ($m^3/s$). ..... **71**
**Çizelge 5.15 :** 17/06/1986 tarihi için elde edilen debi değerleri ($m^3/s$). ..... **72**
**Çizelge 5.16 :** 27/05/1984 tarihi için elde edilen debi değerleri ($m^3/s$). ..... **72**
**Çizelge 5.17 :** BH yöntemlerinin uygun sonuç verdiği CN değerleri. ..... **73**
**Çizelge 5.18 :** Havza modellerinde kullanılan CN değerleri. ..... **73**
**Çizelge 5.19 :** Taşkın pik debileri ($m^3/s$). ..... **74**
**Çizelge 5.20 :** Lineer denklem katsayıları ..... **77**
**Çizelge 5.21 :** SRES A2 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetlerinin değişimi (100, 50, 25 yıl) ..... **79**
**Çizelge 5.22 :** SRES A2 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetlerinin değişimi (10, 5, 2 yıl) ..... **80**
**Çizelge 5.23 :** RCP 8.5 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetlerinin değişimi (100, 50, 25 yıl) ..... **81**
**Çizelge 5.24 :** RCP 8.5 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetlerinin değişimi (10, 5, 2 yıl) ..... **82**
**Çizelge 5.25 :** Ağ çözünürlüğünün taşkın sınırlarına etkisi. ..... **90**

**Çizelge 5.26 :** 100 yıllık taşkın modelleri sonuçları özet tablosu. ..... **91**
**Çizelge 5.27 :** 500 yıllık taşkın modelleri sonuçları özet tablosu. ..... **91**
**Çizelge A.1 :** MGM'den temin edilen gözlem istasyonları. ..... **106**
**Çizelge B.1 :** DSİ'den temin edilen gözlem istasyonları. ..... **108**

## ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa**

**Şekil 3.1 :** Rize ili konumu. ..... **11**
**Şekil 3.2 :** Çalışma alanı havzaları. ..... **12**
**Şekil 3.3 :** DSİ'den temin edilen meteoroloji istasyonlarının dağılımı. ..... **13**
**Şekil 3.4 :** Gözlem istasyonları ve havzalar. ..... **14**
**Şekil 3.5 :** Rize ili sayısal yükseklik verisi. ..... **15**
**Şekil 3.6 :** Rize ili arazi kullanımı haritası. ..... **16**
**Şekil 3.7 :** Rize ili için üretilen toprak türü haritası. ..... **16**
**Şekil 3.8 :** Çağlayan Irmak, Tahiroğlu Irmağı, Fırtına Deresi. ..... **17**
**Şekil 3.9 :** Hemşin Deresi, Büyük Çayı. ..... **18**
**Şekil 3.10 :** Taşlı Dere, İyidere Çayı. ..... **18**
**Şekil 3.11 :** 1/1000 ölçekli sayısal harita örneği. ..... **18**
**Şekil 3.12 :** Sayısal arazi modeli örneği (Taşlı Dere). ..... **19**
**Şekil 3.13 :** Çağlayan Irmak, Tahiroğlu Irmağı SYM. ..... **19**
**Şekil 3.14 :** Fırtına Deresi, Hemşin Deresi SYM. ..... **19**
**Şekil 3.15 :** Büyük Çayı, Taşlı Dere, İyidere Çayı SYM. ..... **20**
**Şekil 3.16 :** Taşlı Dere, Çağlayan Irmak, Büyük Çayı arazi kullanımı. ..... **20**
**Şekil 3.17 :** Hemşin Deresi, İyidere Çayı arazi kullanımı. ..... **21**
**Şekil 3.18 :** Fırtına Deresi, Tahiroğlu Irmağı arazi kullanımı. ..... **21**
**Şekil 4.1 :** Çalışma akış diyagramı. ..... **23**
**Şekil 4.2 :** İklim modeli gridleri. ..... **25**
**Şekil 4.3 :** Modelleme aşamaları. ..... **29**
**Şekil 4.4 :** Alan kriterlerine göre model sınıfları; a) toplu, b) yarı yayılı, c) yayılı... **31**
**Şekil 4.5 :** Hidrolojik model yapılandırması. ..... **33**
**Şekil 4.6 :** Model üzerinde SYM verisi. ..... **33**
**Şekil 4.7 :** Eight point pour model. ..... **34**
**Şekil 4.8 :** Akım yönleri ve toplanma çizgileri. ..... **34**
**Şekil 4.9 :** Havza sınırları. ..... **36**
**Şekil 4.10 :** Türkiye'de kritik yağış süreleri (Özdemir, 1978). ..... **36**
**Şekil 4.11 :** Türkiye'de yağışın zamana göre dağılımı haritası (Kızılkaya, 1988). ..... **37**
**Şekil 4.12 :** Yağışın zamana göre dağılımları (Kızılkaya, 1988). ..... **37**
**Şekil 4.13 :** SCS boyutsuz birim hidrograf. ..... **38**
**Şekil 4.14 :** DSİ boyutsuz birim hidrograf. ..... **42**
**Şekil 4.15 :** 1B ve 2B hidrolik modelleme. ..... **44**
**Şekil 4.16 :** Hidrolik model yapılandırması. ..... **47**
**Şekil 4.17 :** Hemşin deresi taşkın modeli katmanları. ..... **48**
**Şekil 4.18 :** Ana kanalın 2 boyutlu modelde sunumu (Cox, 2010) ..... **48**
**Şekil 4.19 :** Hemşin Deresi hesap ağı. ..... **49**
**Şekil 4.20 :** Çağlayan Irmak ve Tahiroğlu Irmağı hesap ağı. ..... **49**
**Şekil 4.21 :** Fırtına Deresi, Büyük Çayı hesap ağı. ..... **49**
**Şekil 4.22 :** Taşlı Dere, İyidere hesap ağı. ..... **49**
**Şekil 4.23 :** Hesap ağı üzerinde yapıların tanımlanması. ..... **50**

**Şekil 4.24 :** Modelde tanımlanan köprü katmanları (Url-1). ..... **51**
**Şekil 5.1 :** Çalışma alanı havzaları üzerinde YGİ ve AGİ konumları. ..... **54**
**Şekil 5.2 :** Rize ili yıllık toplam yağış miktarları (Eriş, 2011). ..... **55**
**Şekil 5.3 :** DSİ 2282 nolu AGİ yağış alanı ve YGİ konumları. ..... **56**
**Şekil 5.4 :** DSİ 2282 AGİ havzası ve Thiessen poligonları. ..... **57**
**Şekil 5.5 :** DSİ 2282 AGİ için toplu model çalışması. ..... **58**
**Şekil 5.6 :** Thiessen poligonlarına göre parçalanmış havza. ..... **61**
**Şekil 5.7 :** Yarı yayılı model çalışması (Thiessen poligonları dikkate alınarak). ..... **62**
**Şekil 5.8 :** 17.06.1986 günü için izohiyet eğrileri. ..... **64**
**Şekil 5.9 :** 29.08.1984 günü için izohiyet eğrileri. ..... **64**
**Şekil 5.10 :** 25.09.1983 günü için izohiyet eğrileri. ..... **65**
**Şekil 5.11 :** 17.06.1986 günü için alt havzalar. ..... **65**
**Şekil 5.12 :** 29.08.1984 günü için alt havzalar. ..... **66**
**Şekil 5.13 :** 25.09.1983 günü için alt havzalar. ..... **66**
**Şekil 5.14 :** Modelleme çalışmaları: (a)17/6/86. (b) 29/8/84. (c) 25/9/83. ..... **67**
**Şekil 5.15 :** DSİ 2285 nolu AGİ yağış alanı ve YGİ konumları. ..... **69**
**Şekil 5.16 :** DSİ 2285 AGİ için toplu model çalışması. ..... **70**
**Şekil 5.17 :** Çalışma havzaları hidrolojik model yapıları. ..... **74**
**Şekil 5.18 :** Rize yağış istasyonu ile RegCM3 model gridlerinin konumları. ..... **76**
**Şekil 5.19 :** Rize yağış istasyonu ile RegCM4 model gridlerinin konumları. ..... **76**
**Şekil 5.20 :** Referans ve gelecek zaman periyotları için ŞST eğrileri (SRS A2) ..... **77**
**Şekil 5.21 :** Referans ve gelecek zaman periyotları için ŞST eğrileri (RCP 8.5) ..... **78**
**Şekil 5.22 :** 24 saat altında süreler için ölçülmüş ve üretilen şiddet değerleri: (a) SRES A2. (b) RCP 8.5. ..... **78**
**Şekil 5.23 :** SRES A2 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetindeki % değişimler: (a) 2013-2039. (b) 2040-2069. (c) 2070-2099. ..... **83**
**Şekil 5.24 :** RCP 8.5 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetindeki % değişimler: (a) 2013-2039. (b) 2040-2069. (c) 2070-2099. ..... **84**
**Şekil 5.25 :** Çağlayan Ir. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **85**
**Şekil 5.26 :** Çağlayan Ir. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **85**
**Şekil 5.27 :** Tahiroğlu Ir. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **86**
**Şekil 5.28 :** Tahiroğlu Ir. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **86**
**Şekil 5.29 :** Fırtına D.100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **86**
**Şekil 5.30 :** Fırtına D. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **87**
**Şekil 5.31 :** Taşlı Dere 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **87**
**Şekil 5.32 :** Taşlı Dere 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **87**
**Şekil 5.33 :** İyidere 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **88**
**Şekil 5.34 :** İyidere 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **88**
**Şekil 5.35 :** Çağlayan Ir. – 5m, 10m ağ – 1990 yılı. ..... **89**
**Şekil 5.36 :** Tahiroğlu Ir. – 5m, 10m ağ – 1990 yılı. ..... **89**
**Şekil 5.37 :** Tahiroğlu Ir. – 5m, 10m ağ – 2099 yılı. ..... **89**
**Şekil 5.38 :** İyidere Çayı – 5m, 10m ağ – 1990 yılı. ..... **90**
**Şekil 5.39 :** İyidere Çayı – 5m, 10m ağ – 2039 yılı. ..... **90**
**Şekil C.1 :** 100 yıllık taşkın hidrografları. ..... **109**
**Şekil D.1 :** 500 yıllık taşkın hidrografları. ..... **110**
**Şekil E.1 :** Hemşin 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **111**
**Şekil E.2 :** Hemşin 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **111**
**Şekil E.3 :** Büyük Ç. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **111**

**Şekil E.4 :** Büyük Ç. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2099 yılı..... **112**
**Şekil F.1 :** Çağlayan Ir. 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. .... **113**
**Şekil F.2 :** Çağlayan Ir. 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. .... **113**
**Şekil F.3 :** Tahiroğlu Ir. 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ... **113**
**Şekil F.4 :** Tahiroğlu Ir. 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ... **114**
**Şekil F.5 :** Fırtına Deresi 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı... **114**
**Şekil F.6 :** Fırtına Deresi 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı... **114**
**Şekil F.7 :** Hemşin Deresi 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. **115**
**Şekil F.8 :** Hemşin Deresi 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. **115**
**Şekil F.9 :** Büyük Çayı 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı..... **115**
**Şekil F.10 :** Büyük Çayı 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.... **116**
**Şekil F.11 :** Taşlı Dere 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **116**
**Şekil F.12 :** Taşlı Dere 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **116**
**Şekil F.13 :** İyidere 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **117**
**Şekil F.14 :** İyidere 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **117**
**Şekil G.1 :** Çağlayan Ir. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **118**
**Şekil G.2 :** Çağlayan Ir. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **118**
**Şekil G.3 :** Tahiroğlu Ir. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı..... **118**
**Şekil G.4 :** Tahiroğlu Ir. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı..... **119**
**Şekil G.5 :** Fırtına Deresi 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. .... **119**
**Şekil G.6 :** Fırtına Deresi 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. .... **119**
**Şekil G.7 :** Hemşin D. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **120**
**Şekil G.8 :** Hemşin D. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **120**
**Şekil G.9 :** Büyük Çayı 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı..... **120**
**Şekil G.10 :** Büyük Çayı 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı..... **121**
**Şekil G.11 :** Taşlı Dere 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **121**
**Şekil G.12 :** Taşlı Dere 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **121**
**Şekil G.13 :** İyidere 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı. ..... **122**
**Şekil G.14 :** İyidere 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı. ..... **122**

# İKLİM VE HİDROLOJİK MODELLER İLE RİZE'DE BULUNAN SU HAVZALARININ TAŞKIN RİSK TAYİNİ

## ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye'nin en çok yağış alan bölgesi olan Rize ili sınırları içerisinde yer alan havzalarda, mevcut durum ve çeşitli iklim değişikliği senaryoları için taşkın riskinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ECHAM5 küresel sirkülasyon modelinin, RegCM3 bölgesel modeli ile dinamik olarak küçültülen, A2 emisyon senaryosuna ait günlük yağış çıktıları kullanılarak, havza ve taşkın modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışmaları, iklim modelinin referans dönemi (1961-1990) ve 3 farklı iklim değişikliği projeksiyon zaman aralığı (2013-2039, 2040-2069, 2070-2099) için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, 10 farklı havzada yağış-akış modelleri oluşturulmuştur. Yapılandırılan modellerin altyapıları Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında hazırlanmıştır. Havza modelleri kalibrasyon çalışmalarında, ölçülmüş yağış ve akış verileri kullanılarak, farklı modelleme yaklaşımları ve model parametreleri test edilmiştir. Oluşturulan nihai modellerin sonucunda, her bir havzada, 4 farklı zaman periyodu için 100 ve 500 yıl dönüş aralıklı taşkın hidrografları elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, havzaların çıkış noktalarında taşkın riskinin belirlenmesi amacıyla taşkın modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışmalarında 2 boyutlu yaklaşım kullanılmış olup, 7 farklı dere güzergahı üzerinde topografya ile uyumlu hesap ağları (grid) oluşturulmuştur. Havza modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen hidrograflar, taşkın modellerinde girdi olarak kullanılarak, zamanla değişken hidrolik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, modellenen dere güzergahları boyunca, mevcut durum ve iklim değişikliği senaryoları için, 100 ve 500 yıl dönüş aralıklı maksimum taşkın sınırları, su derinlikleri, akıntı yönü ve hızları elde edilmiştir. Ayrıca, iki farklı ağ çözünürlüğü kullanılarak gerçekleştirilen modelleme çalışmaları sonucunda, ağ çözünürlüğünün model sonuçlarına etkisi de belirlenmiştir.

Bu çalışmada, iklim modeli günlük yağış verilerine dayalı havza ve taşkın modellerine ek olarak, zamansal ölçek küçültme yöntemi kullanılarak, Rize'deki şiddet-süre-tekerrür (ŞST) eğrilerinin iklim değişikliği etkisi altında değişimi belirlenmiştir. ŞST eğrilerinin değişimi iki farklı kötümser sera gazı emisyon senaryosu (SRES A2 ve RCP 8.5) altında incelenerek, ŞST eğrilerinin gelecekteki değişimiyle birlikte, farklı senaryolara göre nasıl değişkenlik gösterdiği analiz edilmiştir.

Sonuç olarak, iklim modeli günlük toplam yağış verilerine dayanarak yapılan çalışmalarda, tüm havzalarda iklim değişikliğinin etkisiyle yağış değerlerindeki düşüşe bağlı olarak, 2069 yılına kadar pik debi değerlerinde azalma meydana gelmiştir. 2069-2099 yılı arası projeksiyon verileri ile birlikte yüzyılın sonunda debi değerlerinde artış olsa da mevcut durumun altında kalmıştır. İklim değişikliğinden en az etkilenen havzalar İyidere ve Taşlı Dere havzaları olarak elde edilmiştir. Taşkın

modelleme çalışmaları sonucunda, İyidere için gerçekleştirilen tüm senaryolarda taşma meydana gelmiştir. 500 yıllık taşkın modeli sonuçlarına göre Taşlı Dere haricinde tüm derelerde mevcut durum için taşkın riski bulunmaktadır. Modelleme çalışmalarında ağ çözünürlüğünün artması, taşkın sınırlarında ve su derinliklerinde azalmalara neden olmuştur. Zamansal ölçek küçültme yöntemi ile elde edilen 24 saatten daha düşük süreli yağış yükseklikleri incelendiğinde, SRES A2 senaryosuna göre, 50 yıldan daha düşük tekerrür aralıkları için tüm gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetlerinde artış elde edilmiştir. 50 yıldan daha uzun süreli tekerrür aralıklarına ait yağış şiddetlerinde ise yüzyılın başında artış görülürken, yüzyılın sonuna doğru azalmalar elde edilmiştir. RCP 8.5 senaryosu altında elde edilen sonuçlara göre, tüm tekerrür aralıklarındaki yağış şiddetlerinde yüzyılın başında düşüş gözlemlenirken, yüzyılın orta ve son bölümünde ise yağış şiddetlerinde artış görülmüştür.

## DETERMINATION OF FLOOD RISK IN THE BASINS OF RIZE BY USING CLIMATE AND HYDROLOGICAL MODELS

## SUMMARY

In general, hydrological extremes mostly induced by climate change has direct economic and social impacts on society and, thus has long been continuing to be the topic of investigations conducted in a wide spectrum of scientific communities ranging from climatology to public health. Of course, many of the most direct impacts occur by means of the hydrologic cycle for which climate is a driving force. It is becoming increasingly important to be able to accurately predict flooding because it accounts for the greatest losses attributable to natural disasters in the world.

Intensive precipitation events in Rize province usually produce damaging floods. Hence, there is a need for estimating peak flow rates from storm events to develop a detailed floodplain management plan and reliable information to promote proper use and management of flood plains in order to protect property and lives and to work on other development plans. The purpose of this study is to produce a reliable watershed and floodplain model for the determination of risk for flood prone areas in Rize province using historical data and produced future data based on climate change scenarios. A model consisting of the combination of Watershed Modeling System (WMS) for peak discharge determination and TuFlow for floodplain analysis were employed. TuFlow which is 1D/2D hydraulic model based on finite difference approach, is known as one of the most popular hydrodynamic software employing shallow water equations. It is suitable for flood studies due to its stability and flexibility. Two-dimensional computations are carried out on Cartesian grids. The model includes the capability to incorporate one-dimensional sections to represent open-channels, rectangular or circular pipes, weirs, or bridges while two-dimensional part is for floodplain modeling. Boundary conditions can be applied to either the 1D and/or 2D portions of the model.

Rize province is located in the northeast part of Turkey between Black Sea and North Anatolian Mountains. It has a mild and humid climate with warm summers and cool winters by the influence of Black Sea. The yearly average temperature is about 14$^{o}$C over the coastline region of Rize. Climate gets colder towards to mountains. Rize is the rainiest city in Turkey, having a total annual precipitation over 2300 mm. Average of rainy days in Rize is about 170 days in a year with highest rainfall rates in autumn and lower rainfall rates in spring. Rize has a drainage area of 3920 km$^2$. The entire study domain divided into 10 small to mid size basins across the province, since major flood damages historically occurred causing serious casualties and physical damages. Streamflow and precipitation gaging stations throughout Rize province are operated by State Water Works (DSI) and State Meteorological Service (MGM), respectively. DSI collects daily streamflow and monthly precipitation data whereas MGM operates precipitation station on daily base.

This study comprises two parts: hydrological and hydraulics or floodplain modeling. The former is set using WMS in order to calculate peak flood discharges in present conditions (observed period), covering the period 1961-1990. To understand climate change impacts on flood risk analysis in the study domain, peak discharges were predicted using data for the periods 1961-2039, 1961-2069, and 1961-2099 from climate scenarios.

Hydrological model study were carried out using Watershed Modeling System (WMS) software developed by the Environmental Modeling Research Laboratory of Brigham Young University in cooperation with the U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station. WMS is a computer software application in computing physical parameters of watersheds and rainfall-runoff modeling. WMS requires data concerning weather, topography, land use and soil types. The digital elevation data of the basins in Rize province is obtained from Geomatics Division of Istanbul Technical University with a resolution of 30mx30m. Basins located in study area are in mountainous regions with high steeps. The average slope of the basin was calculated as 0.409.

Within the basins the hydrologic response units were also calculated based on the combinations of land use and soil type whose maps were generated and overlaid on each other to calculate the average CN values of the basins. Land use map provided by Geomatics Division at Istanbul Technical University. Soil type maps for the study area was not available during research time. Therefore, infiltration rates were determined based on the slope maps. Those areas, which have high slope rates, were assigned low infiltration rate or vice versa. SCS unit hydrograph method were applied to develop a hydrograph. The basin average precipitation depth was used for each basin. Grid-based procedure was adopted to determine basin average precipitation depths for the following four different time spans: 1961-1990, 1961-2039, 1961-2069, 1961-2099.

The study area is well known for receiving heavy storms. Critical rainfall duration maps have been available for Turkey in consideration of observed rainfall durations, rainfall amounts and topography. According to rainfall duration maps, Rize province receives critical rainfall with duration up to 24-hour during severe storms. Therefore temporal distribution of 24-hour precipitation was considered in this study. Daily precipitation total values converted to instant values using time distribution curves available for Turkey. Finally, the flood hydrographs were obtained for four different scenarios from the model.

In this study, watershed and flood modeling studies were carried out by using grid based precipitation outputs of the ECHAM5 /A2 global circulation model, dynamically downscaled by the RegCM3 regional model. Grid-based rainfall values were converted to basin average rainfall. The basin average rainfall values were obtained using basin area ratios like Thiessen method. The approach of this study is different from classical Thiessen approach as using grid polygons instead of Thiessen polygons. According to the climate change scenarios applied in this research, decreasing trends were observed in the basins in Rize until 2069. Afterward increasing trends were detected in all the basins.

Two-dimensional flow modeling was constructed for floodplain mapping with the help of TuFlow, which is an integrated software system designed for interactive use in a multitasking environment. The system is comprised of a graphical user interface, separate hydraulic analysis components, data storage and management routines, and

graphics and reporting facilities. The floodplain mapping is split into three primary branches: processing of cross sections and watershed elevations, constructing hydraulic structures, defining flood hydrographs and post processing of hydraulic results and floodplain mapping. A river system is defined by the square grids for the both channel and floodplain. A grid size of 10m×10m was first constructed for the channel and floodplain system. Later, the resolution increased to 5m×5m in examining the grid size resolution for the floodplain mapping determination. Flows and boundary conditions were obtained from the WMS model using the 100-year and 500-year return period flows. Detailed information of the river constructions were obtained from Special Provincial Administration in Rize.

In this study, 7 river systems containing measurements among 10 basins were analyzed for floodplain delineation. This study focused on reach lengths between 1.5 km and 3.5 km long, which historically experienced frequent floods. The rivers starting from the most downstream part, which are vulnerable to extreme flood damage in the basin, were adopted into the model. A 100-year and 500-year flood hydrographs were employed for floodplain delineation. A total of 28 scenarios were determined and applied to 7 river systems. Four flood hydrographs were applied using the present and the future periods 2013-2039, 2040-2069, and 2070-2099. The floodplain analysis resulted in 6 scenarios out of 28 causing flooding. Iyidere River seems to have most dangerous potential amongst others since flooding has occurred in every scenario. As a result, urgent action and rehabilitation is highly recommended for Iyidere river.

In addition, the effect of grid resolution on the model results was also determined by using two different grid resolutions. For this purpose, 5m and 10m regular grids were created on the same digital terrain model generated from 1:1000 scaled CAD files of the Special Provincial Administration of Rize. The produced floodplains with respect to both mesh resolutions were examined and compared with each other. Results showed that coarse grid resolutions might cause overestimation in the floodplain and water depth.

# 1. GİRİŞ

İklim değişikliğinin neden olduğu hidrolojik ekstrem olayların toplum üzerinde ekonomik ve sosyal alanda birçok etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle, iklim değişikliği konusu iklim bilimlerinden sağlık bilimlerine kadar uzanan bilimsel toplulukların araştırma konusu olmaya devam etmektedir. (Kalaycı ve Kahya, 1998; Şarlak ve diğ, 2009; Kaya ve diğ, 2012; Meral, ve diğ, 2014 ve 2015). Küresel iklim değişikliğini modelleyen Genel Çevrim Modellerinin havza ölçeğine indirilmesi sonucunda 21.yy da önemli sıcaklık artışları ve yağış rejiminde değişimler olacağı bulunmuştur. Aynı zamanda diğer iklim parametrelerinde de negatif etki yaratacak şekilde değişimi öngörülmektedir.

Dünyadaki en büyük kayıplara neden olan doğal felaketlerin başında gelen taşkın felaketinin de iklim değişikliği etkisinde tahmin edilebilmesi önem kazanmıştır. Dünya genelinde 90'dan fazla ülkede yaklaşık 196 milyon insan katastrofik taşkına maruz kalmış ve 170,000'den fazla kişi hayatını kaybetmiştir (Pelling ve diğ, 2004).

Bir akarsuyun, seviyesinin yükselerek yatağından taşması ve çevresindeki yerleşim bölgelerine, arazilere ve canlılara zarar vermesi taşkın olarak tanımlanır. Türkiye'nin hemen her bölgesinde sık ani aşırı yağışlar sonucunda can ve mal kaybına yol açan taşkınlar meydana gelmektedir. Bu taşkınlarda daha çok taşkın yataklarında bulunan binalar ve bu binalardaki insanlar zarar görmektedir. Yerleşim alanları dışında, karayolu, demiryolu, tarım alanları gibi bölgelerde de taşkın riskinin belirlenmesi günümüzde önem kazanmıştır. Taşkın olaylarının artması ile birlikte klasik çözümlemeler dışında, yeni yöntemlerin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile çok kısa sürede geniş alanlar incelenebilmektedir. Bu yöntemler ile bölgenin topografyası, jeolojik özellikleri, bitki örtüsü, arazi kullanımı ve taşkın alanları ayrıntılı şekilde tanımlanmaktadır. Sel afetini önleme, korunma ve zarar azaltma amaçlı çalışmalar için çalışma alanına giren havza ve alt havzaların özelliklerine ait veri tabanının oluşturulması ve analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Veri çeşitliliği ve zenginliğini

avantaja çevirmesi ve analiz olanaklarının çok fazla olması nedeniyle çalışmaların CBS desteğiyle gerçekleştirilmesi gerekli olmaktadır.

Şiddetli yağışlar Rize'de önemli kayıplara neden olan taşkınlara sebep olmaktadır. Bu nedenle, can ve mal kaybını önlemek için oluşturulacak taşkın yönetim planları için taşkın pik debilerinin tahmin edilmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmanın amacı, ülkemizin en çok yağış alan bölgesi olan Rize ilinde, taşkın tehlikesi ihtimali bulunan havzalar için, mevcut durum ve iklim değişikliği senaryoları etkisi altında risk ihtimalinin belirlenmesi için CBS tabanlı uygun bir havza ve taşkın modeli üretmektir. Bu çalışmada, taşkın debilerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan Watershed Modeling System (WMS) ve taşkın yatağı risk analizleri için kullanılan Tuflow yazılımlarının kombinasyonu ile Rize ili için taşkın risk modelleri oluşturulmuştur.

# 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

## 2.1 İklim Değişikliği ve Hidrolojik Modeller

Genel çevrim modelleri sonuçlarına göre yüzyılın sonuna kadar atmosferdeki sera gazı salınımının artışı nedeniyle, dünyanın birçok bölgesinde sıcaklık artışlarının meydana geleceğini göstermektedir. Sıcaklık değerlerindeki bu artışın, iklim ve havayı değiştirerek, nem ve nehir akımları gibi birçok hidrolojik değişken üzerinde de önemli ölçüde etkisi olacaktır (Tavakoli ve Smedt, 2011). İklim değişikliğinin etkileri küresel boyutta en kapsamlı şekilde Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) kuruluşu tarafından sunulmaktadır. IPCC tarafından 2014 yılında sunulan son raporda iklim sisteminde ısınma olduğu net olarak ortaya konmuştur. IPCC raporu ile birlikte ülkemizde Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından bölgesel iklim modelleri kurulmaktadır. MGM tarafından yürütülen çalışmalar ile ülkemiz ve bölgesine ait iklim projeksiyonları üretilmektedir. Üretilen bu iklim projeksiyonlarına göre ülkemizde de yüzyılın sonuna kadar ortalama sıcaklık değerlerinde artış, ortalama yağış miktarlarında ise azalış beklenmektedir (MGM, 2015).

Nüfus artışı ve dere yataklarına yakın bölgelerdeki yapılaşmalar taşkın sorunlarının artmasına neden olmuştur. Ayrıca iklim değişikliği ile birlikte aşırı yağış olaylarının sıklığının artması da taşkın problemini daha büyük bir boyuta taşımıştır (Al-Sabhan ve diğ, 2003). Taşkın problemindeki artışla birlikte, akış değerlerinin doğru şekilde öngörülmesi önem kazanmış olup, bu konuda çeşitli hidrolojik modelleme yaklaşımları geliştirilmektedir.

Hidrolojik modeller ağırlıklı olarak, yükseklik, toprak türü ve arazi kullanımı gibi çeşitli parametreleri dikkate alarak bölgesel/havza ölçeğinde akış tahminleri yapmak için kullanılır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama gibi mekansal araştırma teknolojilerinin hızlı bir şekilde gelişmesiyle birlikte, hidrolojik modeller de bu teknolojilere uyum sağlamıştır (Li ve Zhang, 2008). Hidrolojik modeller genel olarak, toplu (lumped) ve yayılı (distributed) olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır

(Bell ve diğ, 2007). Toplu hidrolojik modeller yağış, arazi kullanımı, toprak türü gibi değişkenlerin mekansal ortalamasını kullanır. Tüm parametrelerin havza üzerinde üniform olarak dağıldığını varsayar. Grid yapısına dayalı yayılı hidrolojik modellerde ise havza değişkenlerinin alansal olarak çeşitliliği göz önünde bulundurulur.

Carpenter ve Georgakakos (2006) yayılı modellerin havza karakteristiklerinin alansal olarak değişken tanımlanabilmesinden dolayı, akış tahminlerini geliştirebileceğini, fakat kullanılan havza karakteristikleri ve yağış verilerinin çözünürlüklerinin düşük olması durumunda tahminlerdeki doğruluk oranlarını düşürebileceğini belirtmişlerdir. Shultz (2007) oluşturduğu yapay havzalar üzerinde toplu ve yayılı model yaklaşımlarını kullanarak, modelleme metotlarının farklı yağış olaylarına göre verdiği sonuçları değerlendirmiştir. Her iki modelleme tekniğinin birbirine yakın sonuçlar verdiğini belirtmekle birlikte, yağış sisteminin membadan mansaba doğru hareket ettiği durumda, pik debi değerlerinin yayılı modellerde toplu modellere göre biraz daha yüksek değerler verdiği sonucuna varmıştır. Yağış sisteminin mansaptan membaya doğru hareket ettiği durumda ise pik debi değerlerinin yayılı modellerde toplu modellere göre biraz daha düşük değerler verdiğini belirtmiştir. Fortin ve diğ. (2006) Fransa'da yer alan çeşitli havzalar üzerinde 3 farklı yayılı hidrolojik model kullanarak, akış tahmininde bulunmuşlardır. Çalışma alanı üzerinde üniform şekilde dağılan veri kullanarak, üniform verilerin yayılı model ile kullanımını incelemişlerdir. Araştırmalarının sonucunda, model girdi verilerin en az bir bölümünün yayılı olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Havza modelleme yaklaşımları Genel Çevrim Modelleri tarafından üretilen iklim verilerinin bölgesel su kaynakları üzerindeki potansiyel etkilerini belirlemede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Luo ve diğ, 2013). Jiang ve diğ. (2007) iklim değişikliğinin Güney Çin bölgesindeki havzalardaki su miktarına etkilerini inceledikleri çalışmalarında, 6 farklı su bütçesine dayalı hidrolojik model kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, iklim değişikliğinin havzalar üzerinde olumsuz etkilerinin olası olduğunu belirterek, su temini ve taşkın kontrolü konularında stratejiler geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Dibike ve Coulibaly (2005) Kanada Saguenay havzasında iklim değişikliği etkilerini belirlemek amacıyla, farklı ölçek küçültme tekniklerini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında ayrıca kavramsal ve ampirik hidrolojik modelleri kullanarak, iklim değişikliğinin havzanın

hidrolojik rejimine etkilerini incelemişlerdir. Artan sıcaklıkla birlikte kış aylarında düşük akımlarda ve bahar aylarında kar erimesi kaynaklı yüksek akımlarda artış olacağını tespit etmişlerdir. Moran ve diğ. (2014) iklim değişikliği ve arazi kullanımı değişimlerinin Kuzey İspanya'da yer alan Pyrenean havzası su potansiyeli üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modeli ve Regional Hydro-ecological Simulation System (RHESSys) modelini kullanmışlardır. SCS eğri numarası metodunu kullanarak elde ettikleri akım değerleri sonuçlarına göre, SWAT modeli iklim değişikliğinin hidrolojik değişkenler üzerine etkisini daha yüksek verirken, RHESSys modeli arazi kullanımındaki değişimlerin etkisi konusunda daha hassas sonuçlar vermiştir. Minville ve diğ. (2008) toplu hidrolojik modelleme yaklaşımını kullanarak, iklim değişikliği senaryolarının Kanada'da yer alan Chute-du-Diable havzasının mevcut ve gelecek dönem akım değişkenlerine etkisini incelemişlerdir. En önemli hidrolojik etki olarak, bahar taşkınlarının mevcut duruma göre daha erken bir zamanda meydana geleceğini belirtmişlerdir. Poulin ve diğ. (2011) iklim değişikliği etkileri çalışmalarında hidrolojik modellerdeki belirsizlikleri incelemişlerdir. Çalışmada kavramsal toplu ve fiziksel yayılı hidrolojik modelleme yaklaşımlarını kullanarak, model yapıları ve kalibrasyon parametrelerinin belirsizliklere katkılarını araştırmışlar ve model iç yapısındaki belirsizliklerin, parametre belirsizliklerine göre daha önemli olduğu sonucuna varmışlardır. Fiziksel modellerin hidrolojik olayları daha gerçekçi modellemesine karşın, kavramsal modellerin uygulamasının daha kolay olduğunu belirtmişlerdir. Dobler ve diğ. (2012) iklim değişikliğinin Lech havzasındaki potansiyel taşkın riskine etkilerini analiz etmişlerdir. Yarı yayılı hidrolojik model kullanarak, mevcut durum ve 2071-2100 yılları arası için gelecek zaman periyodundaki koşulların simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, yıllık ortalama taşkın şiddetlerinde azalma ve mevsimsel taşkınların zamanlarında ötelenme tespit etmişlerdir. Ayrıca gelecek zamanda 10 yıllık taşkınlarda azalma olacağı sonucunu elde ettikleri çalışmada, daha yüksek dönüş aralıklarında belirsizlik olduğunu belirtmişlerdir.

## 2.2 Hidrolik Modeller

Taşkın yayılımı modelleme çalışmaları genellikle hesaplama olarak verimli olan ve birçok mühendis tarafından su yüzeyi profili sonuçlarını yeterli derecede doğru verdiği düşünülen bir boyutlu modeller ile gerçekleştirilmektedir (Büchele ve diğ, 2006). Bununla birlikte, bir boyutlu (1B) modeller taşkın yataklarında ve kentsel alanlarda oluşan karmaşık akım davranışlarını açıkça gösterememektedir (Knight ve Shiono, 1996). İki boyutlu (2B) modellerin kullanımı sığ su denklemleri temelinde geliştirilmeleri ve akış hızı ve yönünü belirlemede önemli ölçüde daha başarılı olmaları nedeniyle yaygınlaşmaktadır. National Research Council (2000), taşkın yayılımı modelleme çalışmalarında 2B modellerin kullanımını tavsiye etmiştir. Gharbi ve diğ. (2016) 1B ve 2B modelleme yaklaşımlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, 1B modellerin daha hızlı ve kolay oluşturulması ve çalıştırılmasına rağmen taşkın yataklarında önemli ölçüde hatalı sonuç verebildiklerini belirtmişlerdir. Buna karşılık, 2B model kullanımının sonuçlardaki hataları önlediğini, fakat uygulama ve simülasyon aşamaları için daha fazla süre gerektiğini belirtmişlerdir. 1B modellerin avantajı, enkesit bilgilerinin daha doğru şekilde modele girilebilmesidir. 2B modeller ise akışın mekansal yayılımında avantajlıdır. Bu nedenden dolayı, bu iki yaklaşım birbirine entegre edilerek farklı bir modelleme tekniği (1B/2B) oluşturulmuştur (Weifeng ve diğ, 2009). Hidrolik model sonuçlarının CBS ortamında birleştirilebilmesi ile taşkın analizi çalışmalarında ilerleme görülmüştür (Snead, 2000). Bu çalışmaların birçoğunda 1B modelleme, 2B modelleme ve 1B/2B modelleme gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Taşkın modelleme çalışmalarında 1B ve 2B hidrolik modelleme arasında farklılıklar vardır. 1B modelde ana yatak ve taşkın yatağındaki akış sadece boyuna yönde incelenir. 1B akım modellemelerinin denklemleri komşu iki enkesit arasındaki kütlenin korunumu ve momentumun korunumu denklemlerinden türetilir. 2B hidrolik modellerde, ortalama derinlikte hızların elde edilmesi için akım derinliği kullanılır ve sonlu farklar metodu gibi yaklaşımlar kullanılarak çözüm yapılır (Cook, 2008). 1B ve 2B modellemelerin karşılaştırılması amacıyla yapılan çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bunlardan Juza ve Barad (2000) California Consumnes Nehri üzerinde 3 farklı model kullanarak yaptığı çalışmada 1B ve 2B taşkın modellemelerini karşılaştırmıştır. 2B modelleme sonucu, suyun taşkın yatağındaki enine ve boyuna

hareketinin daha doğru şekilde belirlendiği sonucuna varmışlardır. Benzer bir çalışmada, Tayefi ve diğ. (2007) Wharf Nehri üzerinde yaptıkları çalışma sonucunda, 2B modellemenin en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir. Gutierrez ve diğ. (2008) İskoçya'nın güney Esk nehri üzerinde yaptıkları çalışmanın sonucunda, 2B modelinin 1B modeline gore daha güvenilir sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Brown ve Pasternack (2009) iki farklı akarsu morfolojisi ve iki farklı debi değeri kullanarak 3 farklı modelleme tekniği test etmişlerdir. 1B modelin, gölcükler arası konvektif ivmeleri hesaba katma konusunda hata yaşaması nedeniyle tahminlerinin yanlış olduğunu belirtmişlerdir. Her deney koşulunda, 1B ve 2B modellerin enkesitsel ortalama değer tahminlerinde benzer sonuçları vermesine rağmen, enkesitler arası sonuçlarda 1B modelin çözüm yapamadığı sonucuna varmışlardır. Sediment erozyonu gibi problemlerde, uzun dönem nehir yönetimlerinde de 2B model kullanımını önemle tavsiye etmişlerdir. Cox (2010) Queensland'te gerçekleştirdiği çalışmada, hidrolik analizlerde son zamanların en etkili modelinin TUFLOW olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, veri analizleri sonucunda, genelde 2B modelde suyun alan boyunca dağılımının daha etkili gösterildiği sonucuna varmıştır.

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda 1B ana yatak modeli ve 2B taşkın yatağı modeli birleştirilerek taşkın modelleri (1B/2B) gerçekleştirilmektedir. Werner ve diğ. (2005) Çek Cumhuriyeti'nde Ticha Orlice nehri üzerinde, 1B modelleme ile 1B/2B modelleme yöntemlerini kullanarak yaptıkları çalışma sonucunda, iki yöntemin de taşkın sınırlarını tahmin etmede karşılaştırılabilir sonuçlar vermesine rağmen, dağınık su seviyesi tahmininde, 1B/2B modelleme yaklaşımının, 1B modelleme yaklaşımına göre beklenildiği üzere daha üstün olduğunu belirtmişlerdir. Dutta ve diğ. (2007) Tayland'ın Mekong Nehri üzerinde yaptıkları çalışmada, 1B/2B modelleme sonucu buldukları debi ve su seviyesi sonuçlarının ölçülmüş değerlerle uyum gösterdiğini belirtmişlerdir. Weifeng ve diğ. (2009) Çin'nin Pekin Olimpiyat köyü üzerinde yaptıkları çalışmada, 1B/2B birleşiminden oluşan modelleme tekniği ile birlikte CBS kullanmışlardır. 5 ve 50 yıllık tekerrür aralığına sahip verileri kullanarak yaptıkları çalışmada kanalizasyon sistemi debisi ve taşkın yayılımını nümerik olarak analiz etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, CBS ile 1B/2B modelleme tekniğinin birleştirilmesinin, taşkın tahmini ve drenaj sistemlerinin tasarımı ve yönetiminde yeterli bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Fewtrell ve diğ. (2011) Estry-Tuflow modelini kullanarak yaptıkları çalışmada, Carlisle

taşkınlarında, 1B/2B modelleme kullanarak, yatak enkesit geometrisinin, yatak boy profilinin ve hidrolik yapıların (menfez, köprü ayakları) taşkın yayılımına etkilerini incelemişlerdir. Taşkın paternlerinin doğru olarak belirlenmesinde, yatak kıyılarının tam olarak belirtilmesinin önemini vurgulamışlar ve köprü ayaklarının taşkın seviyelerini lokal olarak yükselttiği sonucuna varmışlardır.

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) çözünürlüğünün taşkın sınırlarını belirlemedeki etkileri üzerine de çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Haile ve Rientjes (2005) 1B/2B modelleme yaklaşımı kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında 7, 12.5 ve 15m çözünürlükte SYM verisi kullanmışlar, 12.5 ve 15m SYM ile bulunan taşkın sınırlarının 7m SYM ile bulunan taşkın sınırlarına göre daha geniş olduğu sonucuna varmışlardır. Brandt (2005) İsveç Eskilstuna nehri üzerinde yaptığı çalışmada 1-100m aralığındaki SYM ile yaptığı çalışmada, yüksek çözünürlüklü veri setinden elde edilen taşkın sınırları sonuçlarının daha güvenilir olduğunu belirtmiştir. Neelz ve Pender (2007) İngiltere Thames körfezinde, tam 2B Tuflow modelini kullanarak yaptıkları çalışma sonucunda, 2B modelde binaların etkisinin, sayısal arazi modeli yerine, sayısal yükseklik modeli kullanarak tanımlanabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca geniş grid kullanımının, çalışma alanı topografya bilgisinde kayıplara yol açtığı sonucuna varmışlardır. Cook ve Merwade (2009) ABD'de Strouds deresi ve Brazos nehri üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, topografik verideki yatay çözünürlüğün ve düşey hassasiyetin artmasının taşkın yayılım sınırlarını azalttığı sonucuna varmışlardır. Samuels (1990) nehir üzerinde alınacak enkesitlerin sonuçlara etkisini incelemiş ve enkesitlerin modelin sınırlarında, hidrolik yapıların kenarlarında ve su seviyesi ölçüm noktalarında bulunması gerektiğini belirtmiştir.

Ülkemizde taşkınlar, depremlerden sonra en büyük can ve mal kaybına neden olan doğal afetlerdir (Özcan ve diğ, 2009). Ülkemizde de CBS, hidrolik ve hidrolojik modelleme kullanılarak yapılmış birtakım çalışmalar mevcuttur. Şeker ve Kabdaşlı (2002) CBS kullanarak çeşitli nedenler altında oluşabilecek su baskını risk haritalarını üretme üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Usul ve Turan (2006) CBS ve 1B hidrolik ve hidrolojik model kullanarak Batı Karadeniz'de Ulus havzası üzerinde taşkın tahmin çalışması yapmışlardır. Özdemir (2007) Havran çayı üzerinde çeşitli senaryolar altında taşkın risk analizi çalışması gerçekleştirmiş, baraj yıkılmasından kaynaklanacak bir taşkının, normal taşkınlara göre daha fazla zarar oluşturacağını belirtmiştir. Çalışmasında hidrolik modellemede kullanacağı geometrik verileri CBS

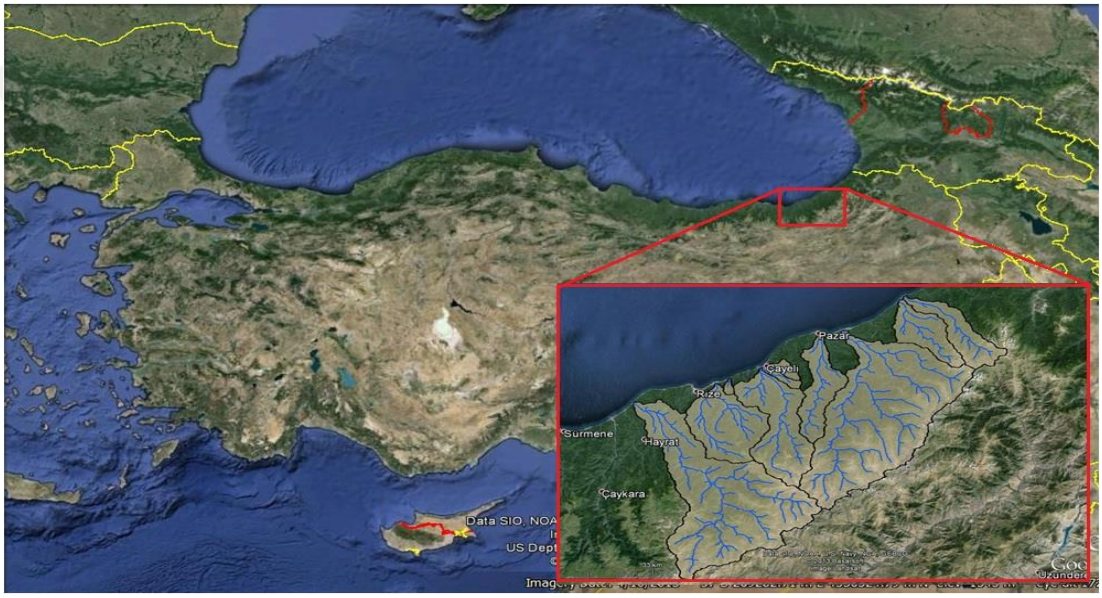
ortamında hazırlamıştır. Akar ve Maktav (2008) İstanbul'un Yeniçiftlik deresi havzasında, 1B hidrolik modelleme kullanarak taşkın risk çalışması yapmışlar ve çalışma alanına ait geometrik verileri uzaktan algılama ve CBS'den yararlanarak oluşturmuşlardır. Modellemede kullandıkları yazılımlarda daha gerçekçi sonuç alabilmek için daha fazla veriye ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Özcan ve diğ. (2009) Sakarya havzasında, çok kriterli karar verme analizi ve hidrolojik modelleme yöntemlerini kullanarak taşkın risk analizi gerçekleştirmişlerdir. Uzaktan algılama verilerini CBS ortamında modelleyerek gerçekleştirdikleri çalışma sonucunda, hidrolojik modellemenin daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Keskin ve Darama (2009) Muğla Dalaman ovasında bir hidrolik model uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında 1B Hec-Ras modeli kullanmışlar ve elde ettikleri sonuçları klasik yöntemlerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, klasik metotta taşkın alanı içinde olan çok büyük bir alanın, taşkın alanı içerisinden çıkartılıp ülke ekonomisine kazandırılabileceğini belirtmişlerdir. Gürer ve Ucar (2010) Trabzon Maçka'da 1B hidrolik model kullanarak taşkın alanlarını belirlemişler, elde ettikleri sonuçları CBS'den yararlanarak 3 boyutlu olarak tanımlamışlardır. Özdemir ve diğ. (2010) Çokal barajının yıkılmasını durumunu incelemek amacıyla 1B hidrolik model oluşturmuşlardır. Çalışmada kullandıkları verileri CBS ortamında işlemişler, SYM çözünürlüğü ve nehir geometrisinin sonuçları etkilediğini belirtmişlerdir.

Taşkın afetinden dolayı her yıl ülkemizde çok büyük maddi zararlar oluşmaktadır. Bu zararları önlenmesi için, taşkın afetinin boyutlarının, oluşturacağı zararların ve en uygun taşkın önleme yöntemlerinin önceden gerçekçi şekilde belirlenmesi şarttır. Literatür araştırması sonucu, ülkemizde taşkın olayının CBS ve nümerik model kullanılarak incelendiği çalışmaların yeterli olmadığı görülmüştür. Ülkemizde yapılan hidrolojik/hidrolik modellemeler genellikle 1 boyutludur. Dünya genelinde yapılan çalışmalar ise 1B modellerin yetersizliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, CBS tabanlı hidrolojik modeller ile 2B taşkın modelleri kombinasyonu kullanılarak, Rize ili içinde yer alan havzalara uygun modeller oluşturulmuş, mevcut durum ve iklim değişikliği etkisi altındaki gelecek zaman periyotlarına göre taşkın riski incelenmiştir.

# 3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

## 3.1 Havza Modelleme Çalışmaları

Bu çalışma, Rize ili içerisinde yer alan havzaları kapsamaktadır. Rize ili Türkiye'nin kuzeydoğusunda Karadeniz ile Kuzey Anadolu Dağları arasında yer almaktadır (Şekil 3.1).



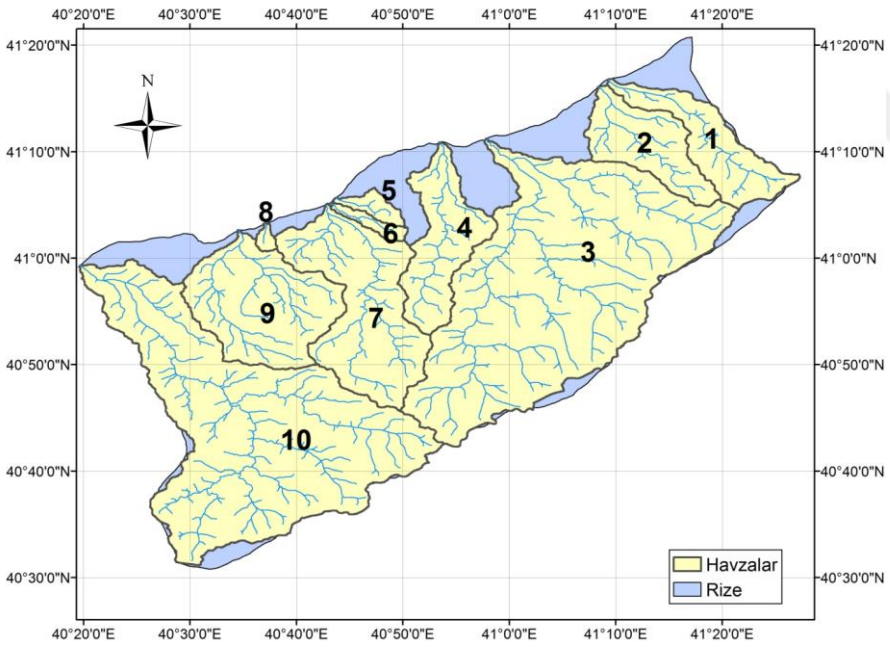

**Şekil 3.1 :** Rize ili konumu.

Karadeniz'in etkisiyle nemli bir iklime sahip olan Rize'de yazlar ılıman, kışlar ise serindir. Kıyıya yakın bölgelerde yıllık ortalama sıcaklık değeri 14ºC'dir. Güneydeki dağlık bölgelere doğru iklim daha soğuk özellikler gösterir. Türkiye'nin en çok yağış alan ili olan Rize'de yıllık toplam yağış miktarı 2300 mm'nin üzerindedir. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısı yaklaşık olarak 170 gündür. En yüksek yağış oranları sonbahar, en düşük yağış oranları ise ilkbahar mevsiminde görülmektedir.

Yaklaşık olarak 3920 $km^2$'lik drenaj alanına sahip Rize ilinde, geçmiş yıllarda can ve mal kaybına neden olan çok sayıda taşkın olayı meydana gelmiştir (Çizelge 3.1). Bu çalışmada, Rize ili, geçmişte ciddi zararlara neden olan taşkın olayları da göz önünde bulundurularak, küçük ve orta büyüklükte 10 adet havzaya ayrılmıştır (Şekil 3.2).

**Çizelge 3.1 :** Rize'de geçmiş yıllarda meydana gelen taşkın ve heyelanlar

| Yıl | Yer | Ölü Sayısı |
|---|---|---|
| 1973 | İyidere ve Hemşin taşkınları | 4 |
| 1973 | Güneysu, Kalkandere, Pazarköy heyelanları | 4 |
| 1977 | Pazar, Hemşin Deresi taşkını | 6 |
| 1981 | Pazar taşkını | 27 |
| 1982 | İkizdere heyelanı | 8 |
| 1983 | Pazar, Fındıklı taşkın ve heyelanı | 27 |
| 1985 | Rize taşkını | 10 |
| 1988 | Pazar, Ardeşen, Fındıklı heyelanları | 3 |
| 1990 | Çamlıhemşin heyelanı | 51 |
| 1995 | Güneysu, Ardeşen, Pazar taşkın ve heyelanları | 9 |
| 2001 | Taşlıdere, Güneysu taşkın ve heyelanı | 10 |
| 2002 | Taşlıdere, Güneysu, Çayeli taşkın ve heyelanları | 34 |
| 2005 | İyidere, İkizdere, Kalkandere taşkınları | 1 |
| 2005 | Çamlıhemşin, Çayeli taşkınları | 4 |
| 2005 | Taşlıdere taşkını | 7 |
| 2006 | Güneysu Başköy heyelanı | 3 |
| 2009 | Kalkandere heyelanı | 1 |
| 2010 | Gündoğdu taşkını | 12 |




**Şekil 3.2 :** Çalışma alanı havzaları.

### 3.1.1 Yağış ve akış verileri

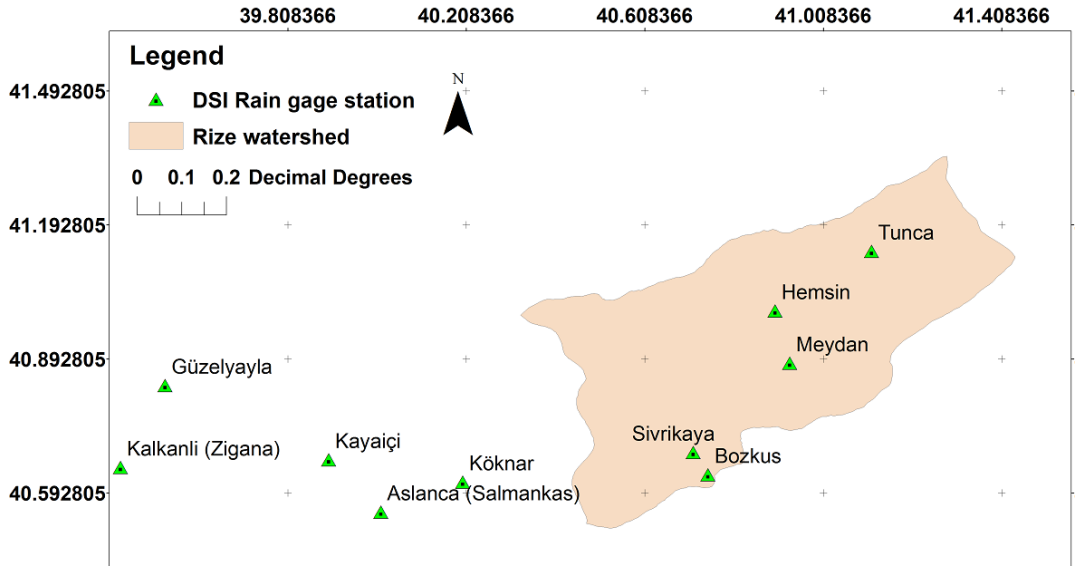
MGM'den temin edilen, proje alanı ve etrafında yer alan, 49 adet yağış istasyonun özellikleri tablo şeklinde düzenlenerek Ek A'da sunulmuştur. 13 adet istasyondan herhangi bir veri temin edilememiştir. Verisi bulunmayan istasyonlar Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2 :** Verisi bulunmayan MGM istasyonları.

| Sıra No | MGİ No | İstasyon Adı |
|---|---|---|
| 1 | | Beşikdüzü |
| 2 | | Kalınçam |
| 3 | | Trabzon Radar |
| 4 | 17775 | Fidanlık |
| 5 | | Balaban |
| 6 | 17387 | Rize-şamandıra |
| 7 | 17757 | Dereköy |
| 8 | 17800 | Güneysu |
| 9 | 17741 | Sivrikaya |
| 10 | 17781 | Çayeli |
| 11 | 17769 | Hemşin |
| 12 | 17765 | Çamlıhemşin |
| 13 | 17772 | Yeşiltepe |

Veri setinde bulunan istasyonların ölçüm yıllarının başlangıç ve bitiş değerlerinin birbirlerinden farklı olması ve zaman serilerinin bazı ay ve yıllarında ölçüm alınmamış olması çalışma için büyük bir problem olarak ortaya çıkmıştır. DSİ'den temin edilen yağış verileri aylık toplam yağış verileri olup, konumları ve özellikleri Şekil 3.3 ve Çizelge 3.3'te verilmiştir.

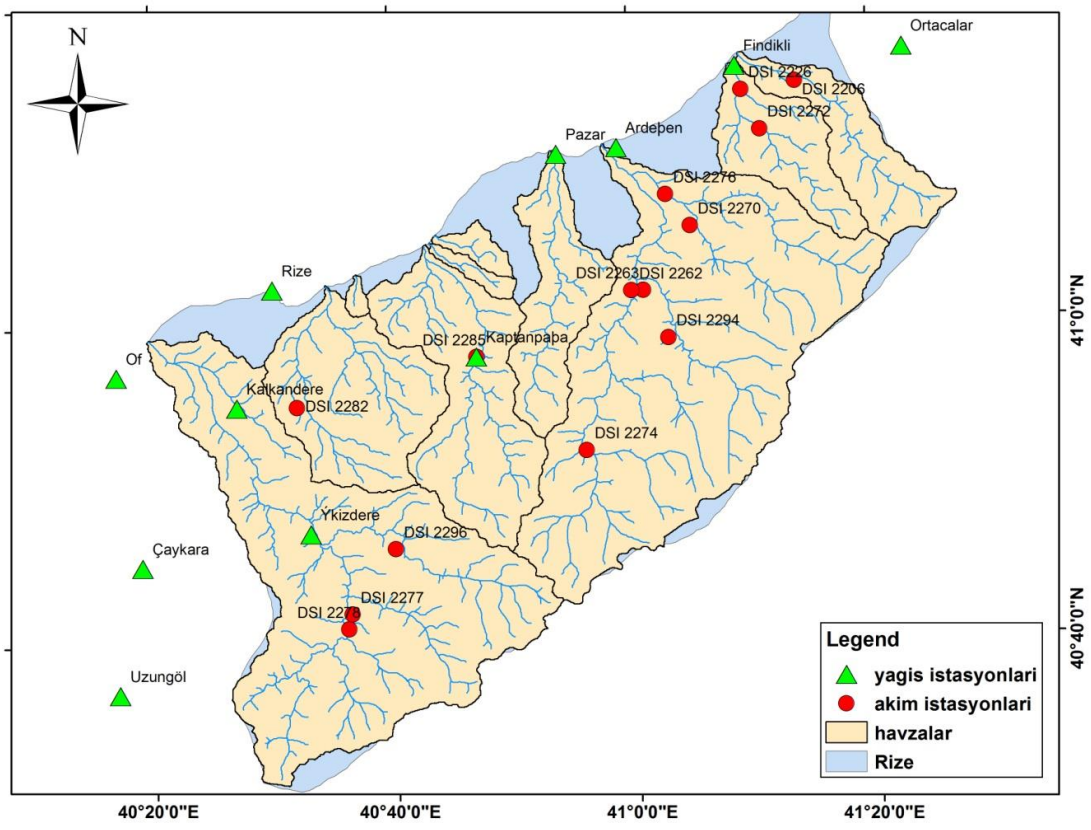
DSİ'den temin edilen akım verilerine ait gözlem istasyonu verileri Ek B'de sunulmuştur. Temin edilen veri setinin incelenmesi sonucunda, istasyonların bir kısmı, veri eksikliği, ölçüm periyotlarının yetersizliği ve veri türünün bu çalışmaya uygun olmaması nedeniyle çalışmadan çıkarılmıştır. Değerlendirmeler sonucu kalan gözlem istasyonlarının çalışma havzaları etrafında dağılımı Şekil 3.4'te verilmiştir.




**Şekil 3.3 :** DSİ'den temin edilen meteoroloji istasyonlarının dağılımı.

**Çizelge 3.3 :** DSİ yağış istasyonları özellikleri.

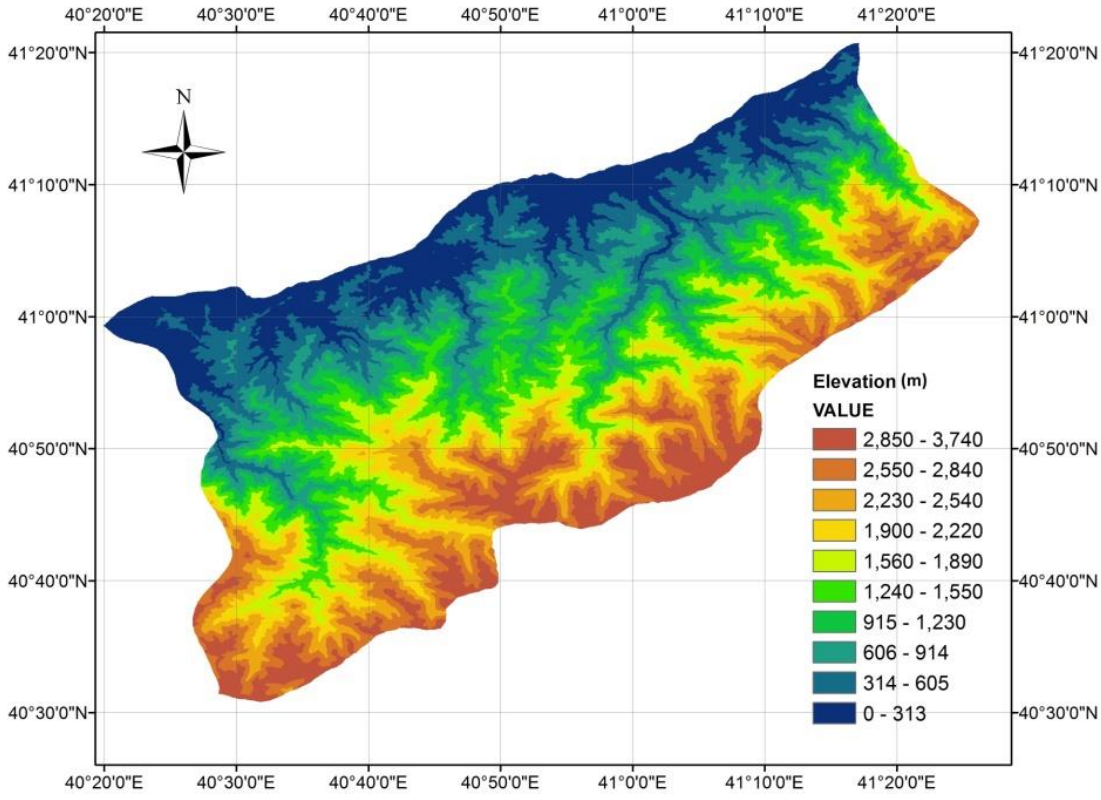
| Sıra No | İstasyon No | İstasyon Adı | İl | Durum | Derlenmiş Yıllar | Toplam Yıl Sayısı |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | D22M019 | Tunca | Rize | Kapalı | 1983 - 2009 | 27 |
| **2** | D22M009 | Hemşin | Rize | Kapalı | 1963 - 1974 | 12 |
| **3** | D22M013 | Meydan | Rize | Kapalı | 1979 - 2003 | 25 |
| **4** | D22M003 | Sivrikaya | Rize | Kapalı | 1974 - 1995 | 22 |
| **5** | D24M011 | Bozkuş | Rize | Açık | 1974 - 1998 | 25 |
| **6** | D22M016 | Köknar | Trabzon | Kapalı | 1980 - 1997 | 18 |
| **7** | D22M011 | Kayaiçi | Trabzon | Kapalı | 1977 - 2002 | 26 |
| **8** | D22M017 | Güzelyayla | Trabzon | Kapalı | 1979 - 2006 | 28 |
| **9** | D22M007 | Kalkanlı (Zıgana) | Trabzon | Kapalı | 1981 - 1982 | 2 |



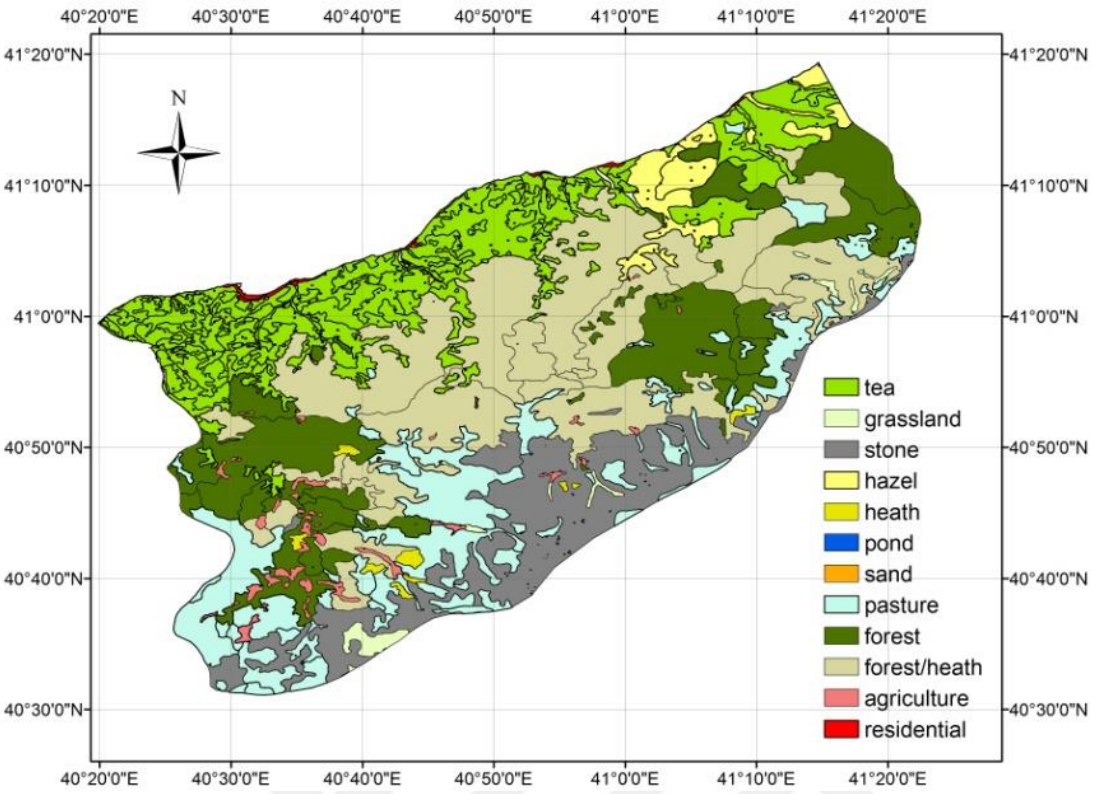

**Şekil 3.4 :** Gözlem istasyonları ve havzalar.

### 3.1.2 Topoğrafya ve arazi kullanımı verileri

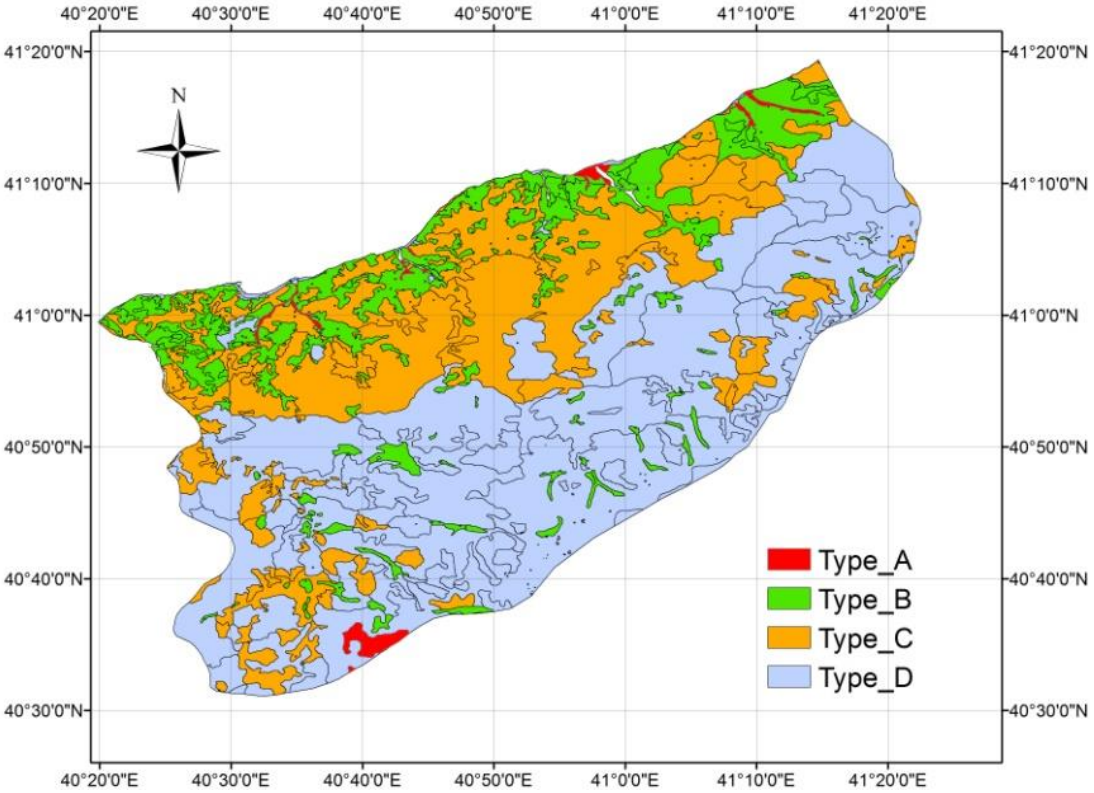
Havza modellerinde kullanılan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve arazi kullanımı verileri İTÜ Geomatik bölümünden temin edilmiştir (Şekil 3.5). SYM verisi çözünürlüğü 30 m'dir. İTÜ Geomatik Bölümü'nden temin edilen poligon türünde vektörel verilerden oluşan Toprak ve Arazi Sınıflandırması Haritası, CBS ortamına aktarılarak, her bir poligona ait arazi kullanım bilgisi tanımlanmıştır. CBS ortamında oluşturulan Rize ili arazi kullanımı haritası Şekil 3.6'da verilmiştir. Sızma parametresinin belirlenmesinde kullanılacak olan toprak türü haritası temin edilememiş olup, arazi sınıflandırması haritasında yer alan eğim sınıflarına göre türetilmiştir. Arazi kullanım haritalarında eğim sınıfları 0.00-0.02, 0.02-0.06, 0.06-0.12 ve 0.12'den büyük olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır. Eğimin yüksek olduğu bölgelerde sızma miktarının az, eğimin düşük olduğu yerlerde sızma miktarının yüksek olacağı kabulü ile eğim sınıfları sırasıyla A, B, C ve D toprak türlerine ayrılmıştır (Şekil 3.7).




**Şekil 3.5 :** Rize ili sayısal yükseklik verisi.




**Şekil 3.6 :** Rize ili arazi kullanımı haritası.




**Şekil 3.7 :** Rize ili için üretilen toprak türü haritası.

### 3.2 Taşkın Modelleme Çalışmaları

Taşkın modelleme çalışmaları için, yağış-akış modelleri gerçekleştirilen havzaların çıkış noktaları, bölgesel ve yerel resmi kurumlarla yapılan görüşmeler sonrasında temin edilebilen veriler doğrultusunda incelenmiştir. İncelenen veriler doğrultusunda, taşkın modellemesi için yeterli verisi bulunan Çizelge 3.4'te verilen güzergahlar üzerinde çalışılmıştır.

**Çizelge 3.4 :** Taşkın modellemesi çalışma alanları.

| No | Yerleşim | Dere adı | Uzunluk (m) | Mansap noktası (UTM-WGS 84) | | Havza No |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Fındıklı | Çağlayan | 1450 | 680007.68 m E | 4572025.66 m N | B_01 |
| 2 | Fındıklı | Tahiroğlu | 1500 | 679012.81 m E | 4570817.14 m N | B_02 |
| 3 | Ardeşen | Fırtına | 4500 | 664544.18 m E | 4561569.69 m N | B_03 |
| 4 | Pazar | Hemşin | 1500 | 658443.08 m E | 4560691.19 m N | B_04 |
| 5 | Çayeli | Büyük | 1400 | 643737.81 m E | 4549465.36 m N | B_07 |
| 6 | Merkez | Taşlı | 2300 | 632268.28 m E | 4544822.11 m N | B_09 |
| 7 | İyidere | İyidere | 3000 | 611849.47 m E | 4538207.19 m N | B_10 |

#### 3.2.1 Görüntü verileri

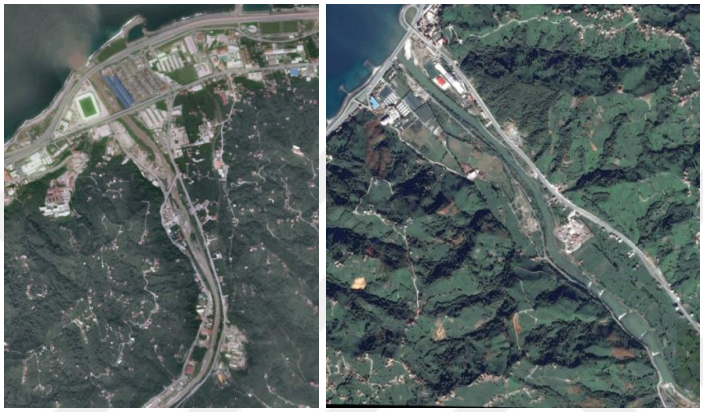
Modelleme çalışmaları esnasında, çalışma alanını detaylı olarak inceleyebilmek ve sonuçları görüntülemek amacıyla görüntü verilerine ihtiyaç bulunmaktadır. Proje yerlerine ait olarak, Rize İl Özel İdaresi'nden uçuş görüntüleri temin edilmiştir (Şekil 3.8-3.10).



**Şekil 3.8 :** Çağlayan Irmak, Tahiroğlu Irmağı, Fırtına Deresi.



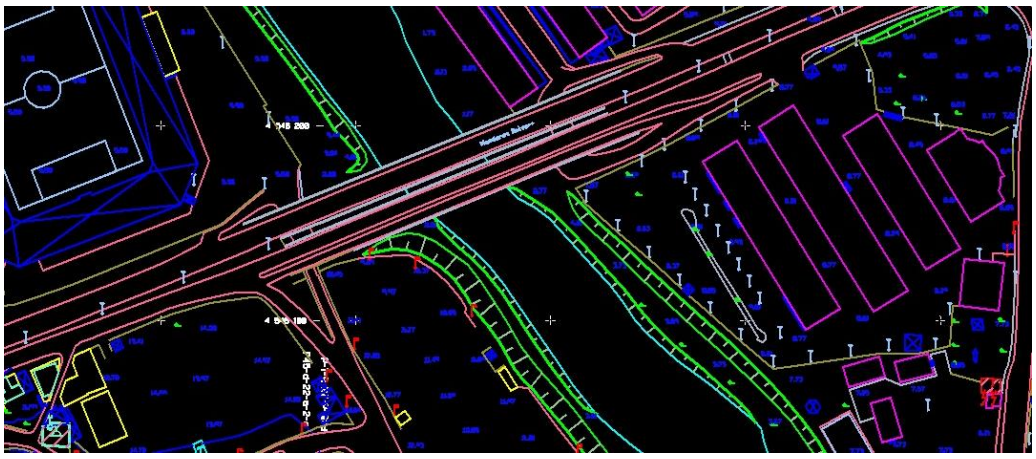
**Şekil 3.9 :** Hemşin Deresi, Büyük Çayı.



**Şekil 3.10 :** Taşlı Dere, İyidere Çayı.

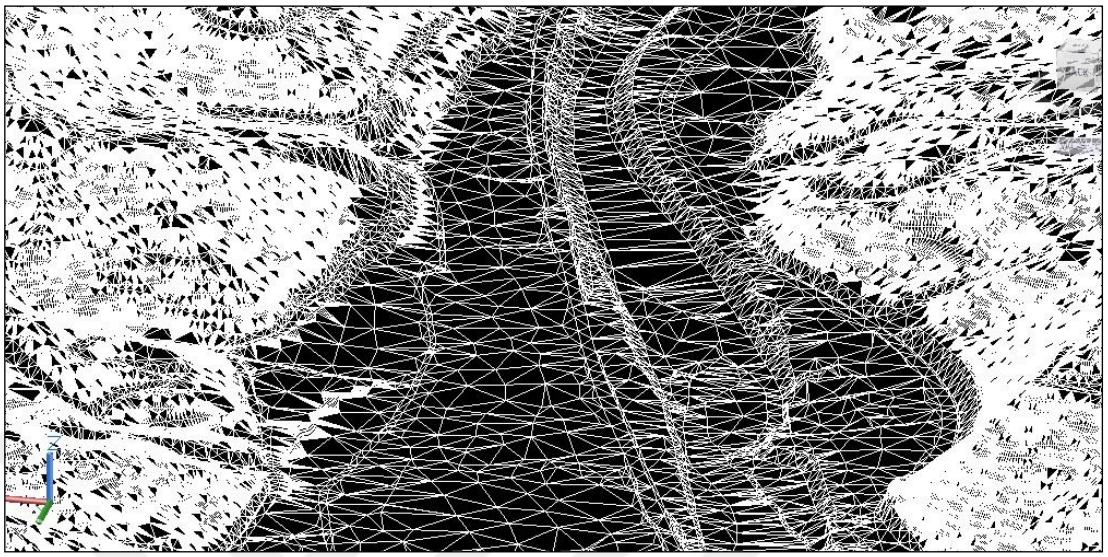
### 3.2.2 Topografya verileri

Taşkın çalışmalarında kullanılmak üzere, en detaylı olarak, 1/1000 ölçekli sayısal topografik haritalar Rize İl Özel İdaresi'nden temin edilmiştir. Temin edilen haritalara ait index üzerinden çalışma alanlarımıza ait olan 75 adet pafta belirlenmiş ve ayrı ayrı olan CAD formatındaki paftalar birleştirilerek CBS ortamına aktarılmıştır. Temin edilen haritalardan örnek bir pafta Şekil 3.11'de verilmiştir.

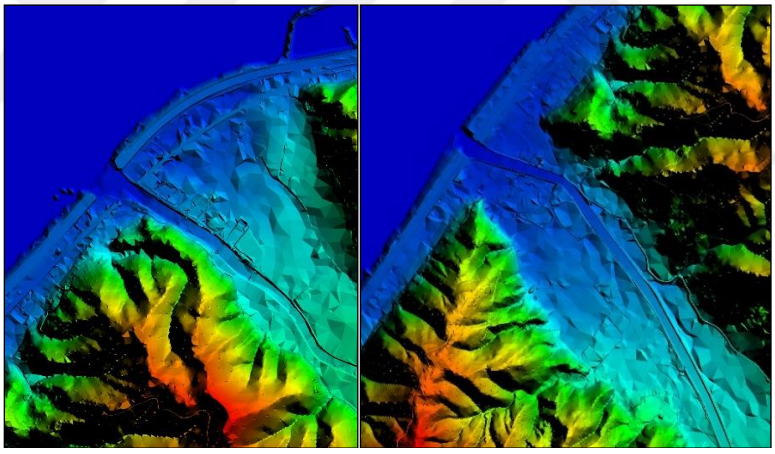


**Şekil 3.11 :** 1/1000 ölçekli sayısal harita örneği.

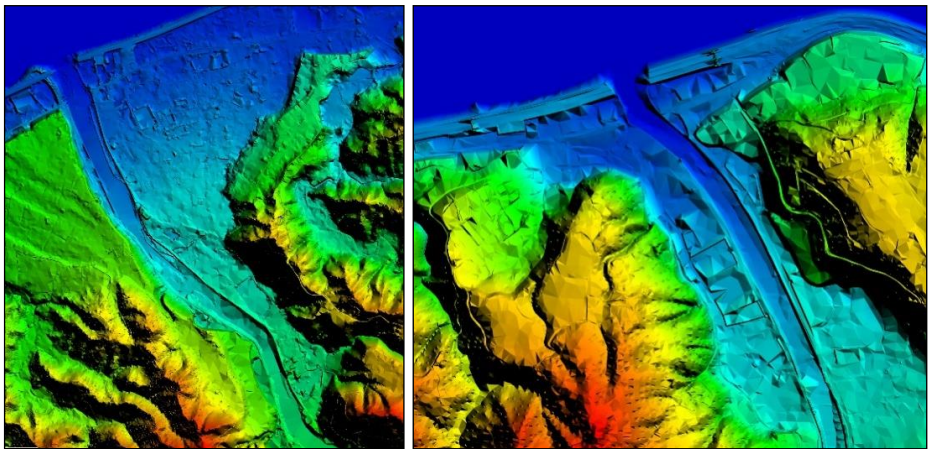
Her bir çalışma alanı için sayısal arazi modelleri oluşturularak (Şekil 3.12), topografya verileri CBS ortamında taşkın modelinde kullanılmaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.13-15).



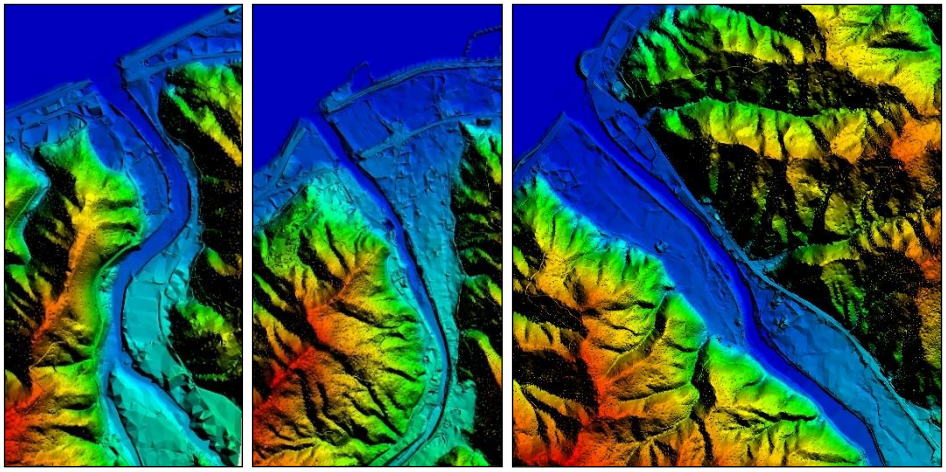
**Şekil 3.12 :** Sayısal arazi modeli örneği (Taşlı Dere).



**Şekil 3.13 :** Çağlayan Irmak, Tahiroğlu Irmağı SYM.



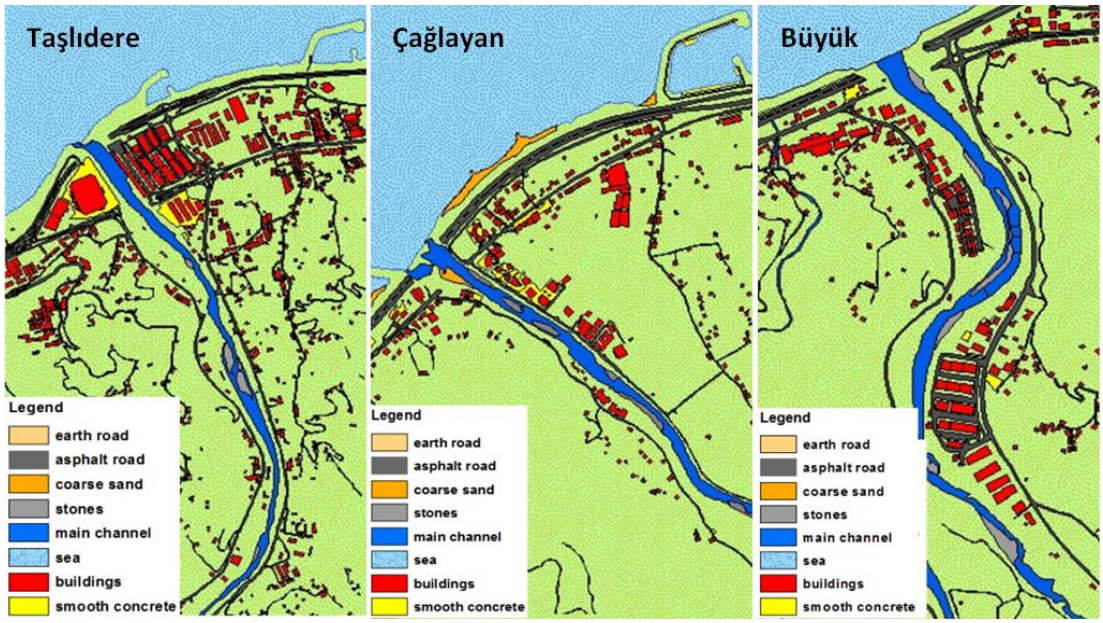
**Şekil 3.14 :** Fırtına Deresi, Hemşin Deresi SYM.



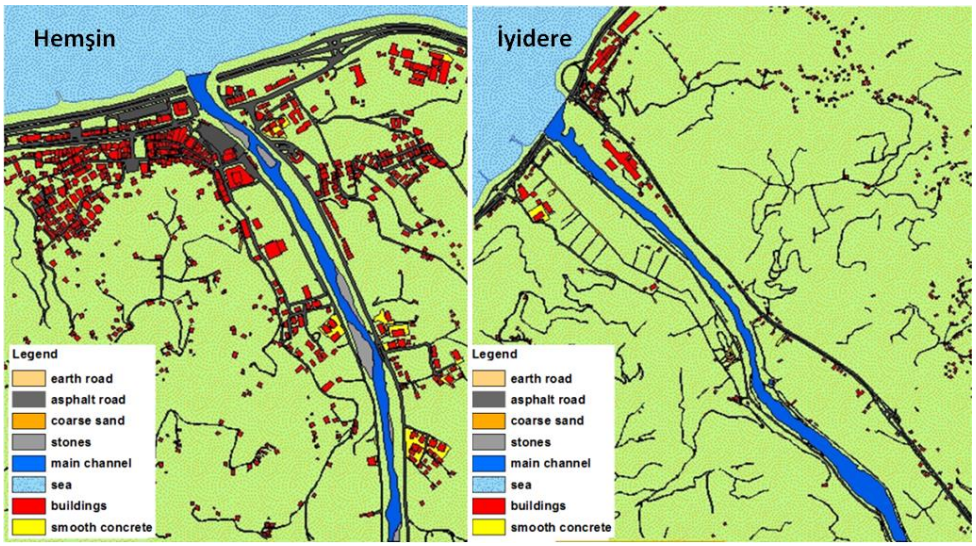
**Şekil 3.15 :** Büyük Çayı, Taşlı Dere, İyidere Çayı SYM.

### 3.2.3 Arazi kullanımı

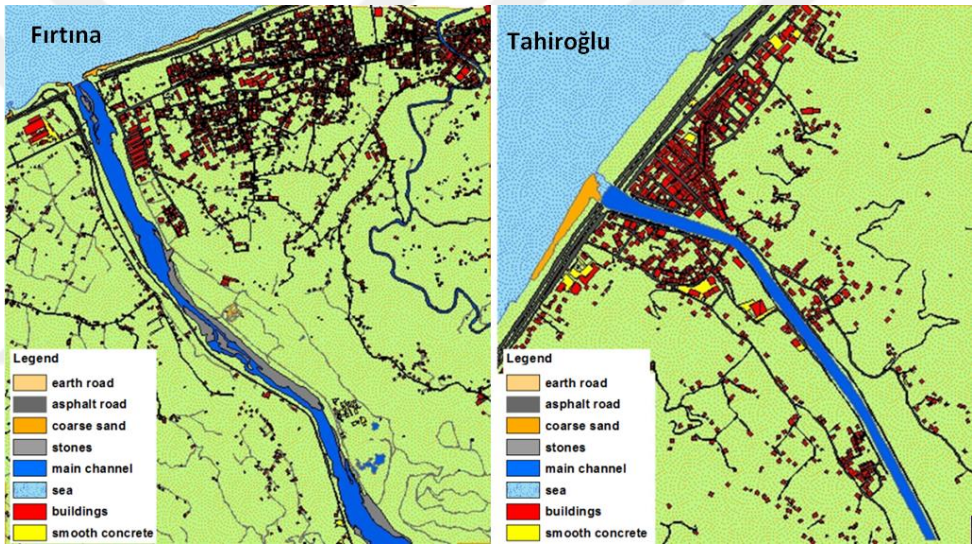
Havza modelleme çalışmalarında kullanılan arazi kullanım haritaları büyük ölçekli çalışmalar için uygun olup, küçük ölçekli çalışmalar (taşkın modelleme) için yeterli değildir. Bu nedenle, Rize İl Özel İdaresi'nden temin etmiş olduğumuz 1/1000 ölçekli CAD formatlı veriler, CBS ortamında işlenerek, her birine kullanım türüne göre Manning katsayıları verilmiş ve taşkın modelleri için detaylı arazi kullanım haritaları CBS formatlı olarak oluşturulmuştur (Şekil 3.16-18). Arazi kullanım türüne göre belirlenen Manning katsayıları Çizelge 3.5'te verilmiştir (EPA, 2008; FHWA, 1984).




**Şekil 3.16 :** Taşlı Dere, Çağlayan Irmak, Büyük Çayı arazi kullanımı.




**Şekil 3.17 :** Hemşin Deresi, İyidere Çayı arazi kullanımı.



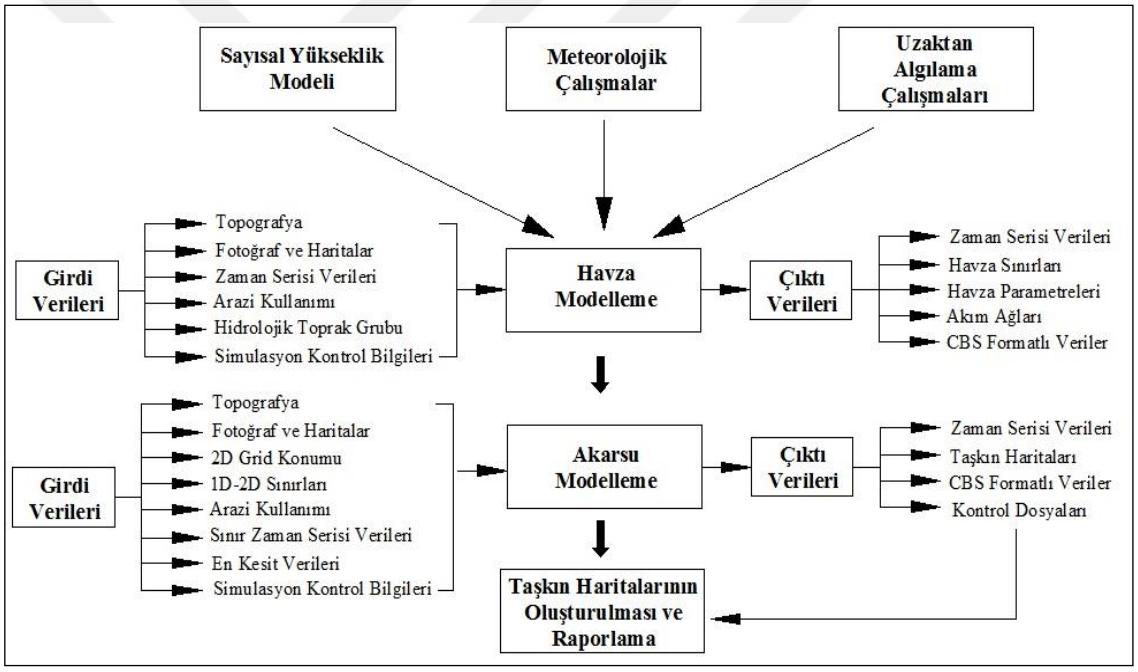

**Şekil 3.18 :** Fırtına Deresi, Tahiroğlu Irmağı arazi kullanımı.

**Çizelge 3.5 :** Arazi kullanım türüne göre Manning katsayıları.

| **Arazi kullanım türü** | **n** |
|---|---|
| Asfalt yol | 0.016 |
| Toprak yol | 0.022 |
| Beton zemin | 0.012 |
| Kumluk | 0.030 |
| Geçici göl | 0.030 |
| Katı maddeli dere yatağı | 0.040 |
| Ana kanal | 0.030 |
| Otlak alan | 0.045 |

# 4. YÖNTEM

Bu çalışmada, ECHAM5 küresel sirkülasyon modelinin A2 emisyon senaryosuna ait çıktılarının dinamik olarak küçültülmesiyle elde edilen, iklim değişikliği etkisindeki yağış projeksiyon verileri kullanılarak, CBS ve Uzaktan Algılama ile üretilen verilerle uyumlu hidrolojik modeller oluşturulmuştur. Hidrolojik modeli oluşturulan havza çıkış noktalarında, yine CBS tabanlı taşkın yayılım modelleri oluşturularak, iki modelleme yaklaşımının birbirine kombinasyonu sağlanmıştır. Bu çalışmada takip edilen yaklaşımın adımları Şekil 4.1'de verilen akış diyagramı ile özetlenebilir.




**Şekil 4.1 :** Çalışma akış diyagramı.

## 4.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) meteorolojik, jeomorfolojik, topografik veriler üretilmesini sağlayarak, taşkın riski altındaki bölgelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Bera ve diğ, 2012). CBS ile geniş çalışma alanlarına ait yüksek boyutlu verilerin daha kolay ve hızlı bir şekilde entegrasyon ve analiz işlemleri gerçekleştirilebilir. Taşkın, yeraltı suyu ve su kalitesi gibi havza tabanlı çalışmalarda

arazi kullanımı, bitki örtüsü, jeolojik bilgiler ve uydu görüntüleri gibi birçok veri CBS yardımıyla birbirine entegre edilebilir (Jordan, 2004).

Temel olarak, CBS'de kullanılabilecek 2 farklı veri grubu vardır. Bunlar raster (tarama) veriler ve vektör verilerdir. Raster veriler piksellerden oluşan, grid yapılı verilerdir. Uydu görüntüleri ve Sayısal Yükseklik Modeli verileri raster veri grubuna girmektedir. Nokta, çizgi ve poligonlardan oluşan veri tipleri ise vektör verilerdir. Arazi kullanım poligonları, akım çizgileri, gözlem istasyonu noktaları gibi veriler ise vektör veri grubuna girmektedir.

Taşkın risk haritalarının oluşturulmasında temel olarak kullanılacak veriler Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), jeoloji, arazi kullanımı ve toprak verisidir. Taşkın risk analizi çalışmalarında, havzanın fiziksel özellikleri ve bunlara bağlı parametrelerin kısa sürede güncellenmesi zordur. Uydu görüntüleri yardımıyla hem arazi kullanım bilgisi hem de meteorolojik veri güncellemeleri yapılarak yüksek doğrulukta sonuçlar üretilebilir.

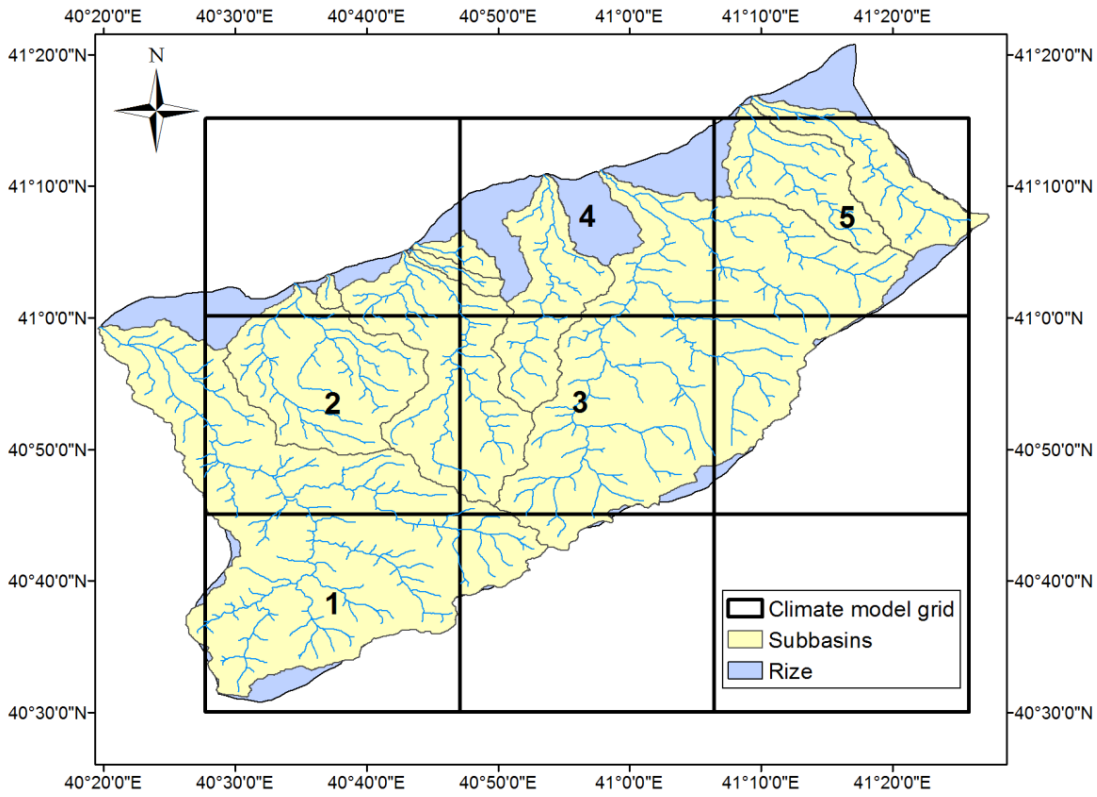
Hidrolojik modelleme uygulamasında havza parametrelerinin belirlenmesinde, grid yapılı sayısal arazi modelinden yararlanılarak havzanın drenaj ağı çıkarılmış ve havza sınırı belirlenerek geometrik veriler oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki aşırı akış değerine göre muhtemel akım modeli ve taşkın modeli oluşturularak muhtemel taşkın alanları belirlenebilmiştir. Arazi kullanım sınıfları SPOT uydu görüntüsü ve arazi çalışmalarıyla elde edilmiş olup, İTÜ Geomatik Mühendisliği Bölümündeki görüntü işleme ve CBS yazılım ve donanımları kullanılmıştır.

### 4.2 İklim Değişikliği

İklim değişikliğinin dünya üzerinde etkilerinin araştırılmasında oldukça yararlı olan Genel Sirkülasyon Modellerinin (GSM) çıktıları, genel olarak düşük çözünürlükte olmaktadır. Düşük çözünürlüklü GSM çıktıları kıta ölçeğinde yapılan araştırmalar için kullanışlı olup, ülke ve havza gibi bölgesel ölçekte gerçekleştirilen çalışmalar için yetersiz kalmaktadırlar. GSM çıktılarının bölgesel ölçekte faydalı olabilmeleri için ölçek küçültülerek (downscaling) daha yüksek çözünürlüklü iklim çıktıları elde edilmekte ve elde edilen daha ayrıntılı verilerle iklim değişikliğinin bölgesel etkilerinin de araştırılması mümkün olmaktadır.

UNDP tarafından desteklenen “Enhancing the capacity of Turkey to adapt to climate change” başlıklı MDG-F-1680 projesinde, ECHAM5/MPI-OM, CCSM3 ve HadCM3 küresel sirkülasyon modellerinin değişik emisyon senaryolarına ait çıktıları RegCM3 bölgesel iklim modeli kullanılarak dinamik olarak küçültülmüştür. İlk olarak referans periyodu (1961-1990) için yapılan simülasyonlar, daha sonra değişik emisyon senaryoları için 2001-2099 yılları arasını kapsayacak şekilde yapılmıştır.

Bu tez çalışmasının da dahil olduğu, TÜBİTAK destekli 112Y204 nolu araştırma projesi kapsamında, iki farklı global model (GCM) - bölgesel model (RCM) kombinasyonunun, A2 emisyon sera gazı salınımı senaryosuna dayalı çıktıları Rize bölgesi için test edilmiştir. Söz konusu model kombinasyonları ECHAM5-RegCM3 ve CCSM3-RegCM3 modelleridir. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, yıllık maksimum yağış değerleri için ECHAM5-RegCM3 kombinasyonu çıktılarının CCSM3-RegCM3 çıktılarına göre daha yüksek performans verdiği sonucu elde edilmiştir (Kahya ve diğ, 2015). Performans analizleri sonucunda, Şekil 4.2'de verilen 5 adet RegCM3 gridi için yıllık maksimum yağış serileri elde edilmiştir. Ağ çözünürlükleri 27 km'dir.




**Şekil 4.2 :** İklim modeli gridleri.

Her bir grid için elde edilen yağış serileri farklı olasılık dağılımları için (iki parametreli lognormal (LN-2), üç parametreli lognormal (LN-3), generalized extreme value (GEV), Gumbel, ve log-Pearson type 3 (LP-3)) analiz edilmiştir. Rize'deki maksimum yağış serilerini en iyi tanımlayan olasılık dağılımının GEV dağılımı olduğu sonucuna varılmıştır (Kahya ve diğ, 2015).

En iyi dağılımın elde edilmesiyle birlikte, Rize'yi kapsayan her bir gridte, mevcut durum için iklim modelinin referans periyodunda (1961-1990) ve iklim değişikliği analizleri için ise 3 farklı gelecek zaman periyodunda (2040, 2070 ve 2099) dizayn yağışları elde edilmiştir.

Bu çalışmada, grid bazlı yağış verileri havza bazlı ortalama yağış verilerine dönüştürülmüştür. Havza ortalama yağışları, Denklem 4.1 yardımıyla Thiessen metoduna benzer şekilde elde edilmiştir. Yağış miktarının hesaplanmasında, klasik Thiessen poligonları yerine, iklim modeli grid poligonları kullanılmıştır.

$$\left(\left(\text{Pgrid1 x Agrid1}\right)+\left(\text{Pgrid2 x Agrid2}\right)+...+\left(\text{Pgrid n x Agrid n}\right)\right)/\text{Ab} \quad (4.1)$$

Bu denklemde,

Pgrid n : n nolu ağa ait yağış değeri

Agrid n : havzanın n nolu ağın içinde kalan alan değeri

Ab : toplam havza alanı

n : maksimum ağ numarasıdır.

Sonuç olarak, ECHAM5 global iklim modelinin, RegCM3 bölgesel iklim modeli ile ölçek küçültülmüş, A2 emisyon senaryosuna ait yağış verileri kullanılarak hesaplanan havza tabanlı yağış değerleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelgelerde verilen yağış değerleri sırasıyla 100 yıl ve 500 yıl dönüş aralıklı yağış verileridir.

İklim koşullarındaki değişiklikler, aşırı yağış miktarlarının değişiminin yanında, süre ve şiddet değerlerinde de değişimlere neden olacaktır. Hidrolik yapıların boyutlandırılması çalışmalarında, yağış şiddeti-süre-tekerrür analizleri büyük önem taşımaktadır. Şiddet-süre-tekerrür (ŞST) analizleri, geçmiş dönem gözlem verileri doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda, ŞST eğrilerinin, iklim değişikliği

etkisi altında, gelecek zaman için nasıl değişkenlik göstereceğinin tahmin edilmesi amacıyla çalışmalar yapılmaktadır (Sing ve diğ, 2016).

**Çizelge 4.1 :** Çalışma havzalarına ait 24 saat süreli 100 yıllık yağış değerleri (mm).

| Havza | 1961-1990 | 1961-2039 | 1961-2069 | 1961-2099 |
|---|---|---|---|---|
| **B1** | 170.0 | 113.1 | 98.7 | 130.1 |
| **B2** | 170.0 | 113.1 | 98.7 | 130.1 |
| **B3** | 160.5 | 107.8 | 95.8 | 116.6 |
| **B4** | 163.9 | 109.7 | 96.8 | 121.5 |
| **B5** | 170.0 | 113.1 | 98.7 | 130.1 |
| **B6** | 170.0 | 113.1 | 98.7 | 130.1 |
| **B7** | 155.9 | 122.2 | 111.8 | 125.2 |
| **B8** | 170.0 | 113.1 | 98.7 | 130.1 |
| **B9** | 147.8 | 145.8 | 138.1 | 138.9 |
| **B10** | 139.0 | 137.1 | 129.9 | 130.6 |

**Çizelge 4.2 :** Çalışma havzalarına ait 24 saat süreli 500 yıllık yağış değerleri (mm).

| Havza | 1961-1990 | 1961-2039 | 1961-2069 | 1961-2099 |
|---|---|---|---|---|
| **B1** | 209.2 | 136.9 | 110.5 | 165.8 |
| **B2** | 209.2 | 136.9 | 110.5 | 165.8 |
| **B3** | 213.5 | 131.7 | 110.4 | 147.6 |
| **B4** | 211.9 | 133.6 | 110.5 | 154.2 |
| **B5** | 209.2 | 136.9 | 110.5 | 165.8 |
| **B6** | 209.2 | 136.9 | 110.5 | 165.8 |
| **B7** | 199.0 | 143.0 | 125.1 | 149.2 |
| **B8** | 209.2 | 136.9 | 110.5 | 165.8 |
| **B9** | 175.1 | 161.4 | 149.5 | 151.1 |
| **B10** | 164.7 | 151.8 | 140.6 | 142.1 |

Bu tez çalışmasında, Rize'ye ait ŞST eğrilerinin iklim değişikliği etkisiyle gelecek zaman periyotlarında nasıl değişkenlik göstereceğinin belirlenmesi için, Eşdeğer Kuantil Eşleştirme (EKE) metodu kullanılmıştır. EKE metodu uygulama adımları aşağıda verilmiştir:

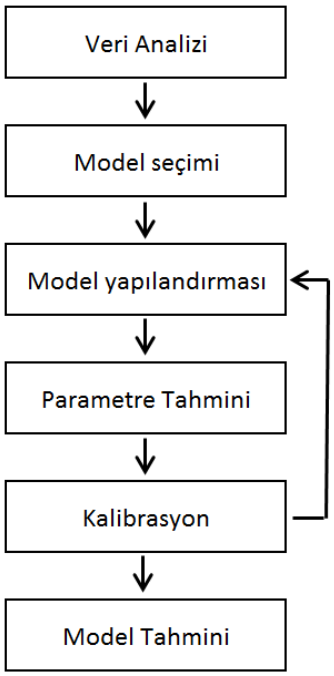
i. İklim modeli referans dönemine ait günlük yağış verileri kullanılarak, yıllık maksimum yağış değerleri elde edilir.
ii. Ölçülmüş yağış verileri kullanılarak, 24 saat ve altındaki her yağış süresi için (30dk, 1 saat, 3 saat gibi) yıllık maksimum yağış değerleri elde edilir.
iii. İklim modeli gelecek dönemine ait günlük yağış verileri kullanılarak, yıllık maksimum yağış değerleri elde edilir.
iv. İklim modeli referans dönemi, iklim modeli gelecek dönemi ve ölçülmüş verilerin her bir yağış süresi için elde edilen zaman serilerinin olasılık dağılımı belirlenir.
v. İklim modeli referans dönemi kümülatif dağılım fonksiyonu ile ölçülmüş 24 saat ve altındaki sürelere ait kümülatif dağılım fonksiyonları (KDF) arasında istatistiksel ilişki kurulur. Lineer ilişki kabulü ile uygun denklemler elde edilir.
vi. İklim değişikliği gelecek dönem yıllık maksimum zaman serisindeki her bir verinin, gelecek dönem KDF'sindeki olasılık değerleri belirlenir. Belirlenen olasılık değerlerinin referans dönemi KDF'sinde karşılık geldiği yağış değerleri bulunur.
vii. Referans dönemi KDF'sinden bulunan yağış değerleri ile orjinal gelecek dönem yağış verileri oranı elde edilir.
viii. Altıncı adımda elde edilen yağış değerleri, beşinci adımda elde edilen denklemlerde yerine konarak, gelecek dönem için 24 saat altı yağış miktarları elde edilir. Elde edilen 24 saat altı yağış verileri, yedinci adımdaki düzeltme oranıyla çarpılarak, gelecek dönemdeki her bir yıla ait 24 saat altı süreler için yağış yükseklikleri bulunmuş olur.
ix. Sekizinci adım sonunda, her bir süre için elde edilen yıllık maksimum yağış serilerinin olasılık dağılımı belirlenerek, iklim değişikliği etkisinde güncellenen ŞST eğrisi elde edilir (Srivastav ve diğ, 2014; Sing ve diğ, 2016; Schardong ve diğ, 2017).

### 4.3 Hidrolojik Modelleme

Taşkın, yeraltı suyu, su kalitesi, tarım, iklim değişikliği gibi birçok hidrolojik araştırma konusunda önemli rol oynayan hidrolojik modeller, hidrolojik döngünün basitleştirilmiş ifadeleridir. Hidrolojik modeller, bir takım değişkenler arası ilişkileri

tanımlayan denklemlerden oluşmaktadır. Modelleme çalışmaları genel olarak, Şekil 4.3'te verilmiş olan aşamaları içermektedir.

Modelleme çalışmaları sırasında, öncelikle çalışma alanında ne tür verilen mevcut olduğunun ve var olan verilerin kalite analizleri yapılmalıdır. Mevcut verilerin belirlenmesi ile birlikte model seçimi ve yapılandırması gerçekleştirilir. Modellemesi yapılan sistemin karakteristiklerini belirten parametreler, eldeki veriler doğrultusunda öngörülerek, yapılandırılan modelde tanımlanır. Öngörülen parametreler, ölçüm sonuçları doğrultusunda kalibre edilerek tahmin çalışmaları gerçekleştirilir (Solomatine ve Wagener, 2016).




**Şekil 4.3 :** Modelleme aşamaları.

### 4.3.1 Hidrolojik modellerin sınıflandırılması

Hidrolojik modeller farklı kriterlere göre çok çeşitli sınıflara ayrılabilir. Sistem, işlem, alan ve zaman kriterlerine göre genel hidrolojik model sınıfları aşağıdaki başlıklarda verilmiştir.

#### 4.3.1.1 Sistem kriterlerine göre sınıflandırma

Hidrolojik modeller, sistem kriterlerine göre, stokastik ve deterministik olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Deterministik modeller rastgelelik içermezler ve bir girdi her zaman aynı çıktıyı üretir. İçerdiği parametrelerin rastgele değişiminin olmadığı ve şansa bağlı bir dağılım göstermediği modeller deterministiktir.

Stokastik model ise kısmen de olsa rastgele çıktılar üretir. Değişkenlerinden herhangi birinin belirli bir olasılık dağılımına sahip rastgele bir değişken olması durumuna model stokastiktir. Deterministik model her zaman aynı girdilerle aynı sonucu verirken, stokastik model daima farklı sonuçlar üretir.

Yaygın olarak kullanılan hidrolojik modellerin çoğunluğu deterministik modellerdir. Ancak rastgele üretilen girdilerin deterministik modellerde kullanımıyla birlikte stokastik yaklaşım, araştırma çalışmalarında daha çok kullanılmaya başlanmıştır (Rochester, 2010).

#### 4.3.1.2 İşlem kriterlerine göre sınıflandırma

Hidrolojik modeller, işlem kriterlerine göre, ampirik, kavramsal ve fiziksel tabanlı olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Ampirik modeller, modellenen olayın fiziğinin anlaşılmasını sağlamaz. Ampirik modeller eş zamanlı girdi ve çıktı ölçümlerini kullanarak tahmin edilebilecek parametreleri içerirler. İçerdikleri parametrelerin fiziksel önemi yüksek olmayabilir. Ampirik modeller genel olarak kullanışlı olmalarına rağmen, belirli bir zaman periyoduna bağlı sonuçlar verirler. Kullanıldıkları havza sistemi üzerinde olabilecek bir değişim (arazi kullanımı değişimi gibi), oluşturulan ampirik modeli geçersiz kılabilir.

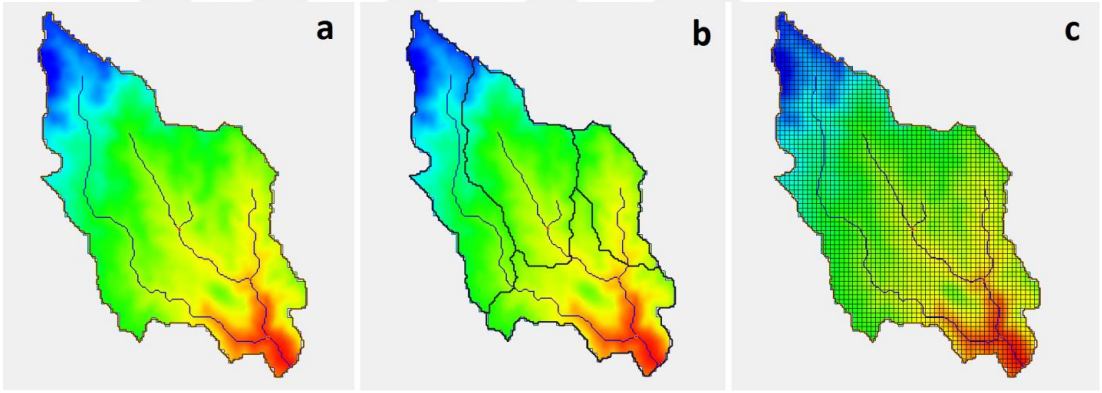
Kavramsal modeller fiziksel kuralları basitleştirilmiş şekilde dikkate almaktadır. Kavramsal modeller, gözlemlenen yağış-akış verilerinden türetilmemiş olup, modelleyici tarafından önceden belirlenmiş bir yapıya sahiptir. Ampirik modellerden farkı, model yapısının modelleyicinin hidrolojik sistemi anlayışına göre oluşmasıdır. Kavramsal modeller içindeki denklemlerin çoğunun gerçek bir fiziksel anlamı yoktur. Parametre değerleri saha ölçümleri ile elde edilemez. Bu durum, kavramsal modellerin saha ölçümleri ile kalibrasyon edilmesi ihtiyacını doğurur (Rochester, 2010).

Fiziksel tabanlı modeller, fiziksel süreçlerin çok daha detaylı şekilde temsil edilmesini sağlayan, kütle, momentum ve enerjinin korunumu yasalarına dayanan modellerdir. Bu tip modellerde sahada ölçülebilen, zaman ve mekana bağlı değişkenler kullanılır. Su hareketinin hidrolojik süreci sonlu farklar denklemleri ile ortaya konur. Fiziksel tabanlı yaklaşımda, havzanın toprak nem içeriği, başlangıç su derinliği, hidrolik geçirgenlik, nehir ağının boyutları gibi çok miktarda veri gereklidir (Devia ve diğ, 2015). Yüksek miktarda veri ihtiyacı ve gözlem ölçekleri ile ilgili

problemler, fiziksel tabanlı modellerin kullanımında problem olarak ortaya çıkmaktadır.

#### 4.3.1.3 Alan kriterlerine göre sınıflandırma

Hidrolojik modeller, alansal kriterlere göre, toplu, yarı yayılı ve yayılı olmak üzere üç sınıfa ayrılır (Şekil 4.4). Havzaya ait parametrelerin alanda değişmediği, havza üzerinde üniform olarak dağıldığı modeller toplu modellerdir. Havzanın, her biri kendi içerisinde üniform özelliklere sahip parçalara ayrılmış olduğu modeller yarı yayılı modellerdir. Havza üzerinde parametrelerin alanda değişkenlik gösterdiği modeller ise yayılı model olarak adlandırılır (Ponce, 1989). Yayılı modeller genel olarak, fiziksel tabanlı modellerdir. Bu tip modelleme yaklaşımında, havza ağ ile çok sayıda elemana bölünerek, her bir ağ için denklemler bağımsız olarak çözülmektedir (Beven, 2002). Yayılı modellerin anlamlı sonuçlar üretebilmesi için eldeki verilerin nitelik ve nicelik bakımından yüksek ayrıntıda olması gerekmektedir.




**Şekil 4.4 :** Alan kriterlerine göre model sınıfları; a) toplu, b) yarı yayılı, c) yayılı.

Yukarıda belirtilen sınıflandırmalar dışında, olay tabanlı ve sürekli, zamanla değişken ve kararlı hidrolojik model sınıflandırmaları da bulunmaktadır. Olay tabanlı modellerde yağış-akış olayları ayrı ayrı, kendine özgü olarak kısa süreli incelenir. Sürekli modeller ise aylık, yıllık gibi uzun süreli akış hacmi tahminlerinde kullanılmaktadır. Kararlı modellerde model parametreleri zamanla sabit olup, çıktılar girdilere göre şekil almaktadır. Zamanla değişken modellerde ise havza parametreleri zaman içinde değişime uğramaktadır. Birçok hidrolojik sistem yıl boyunca meydana gelen mevsimlik değişiklikler nedeniyle zamanla değişkendir, fakat pratikte kararlı olarak tanımlanırlar (Xu, 2002).

### 4.3.2 Model seçimi

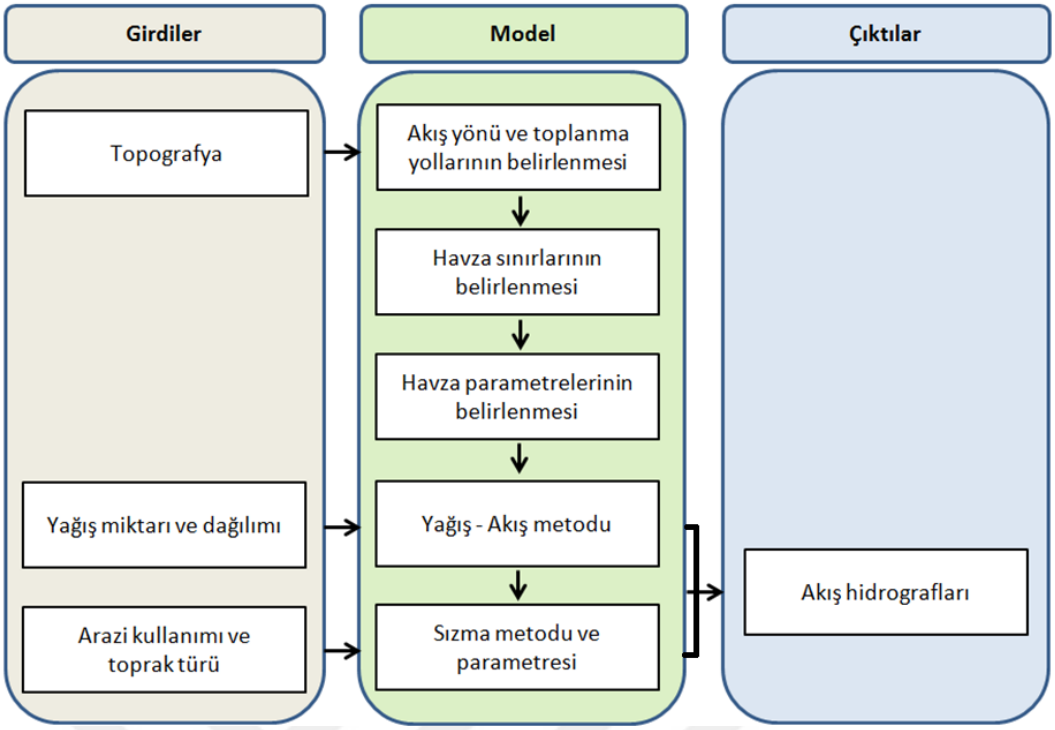
Bu çalışmada, hidrolojik model olarak, çalışma alanındaki veriler nitelik ve nicelik bakımından yeterli olmadığından dolayı, yüklü miktarda yeterli veriye ihtiyaç duyulan fiziksel tabanlı ve yayılı modelleme yaklaşımları yerine, toplu model yaklaşımı seçilmiştir. Çalışma alanında gelecek zamandaki değişimin tahmin edilebilmesi için ampirik yaklaşımlar yerine, kavramsal yaklaşımların kullanılması uygun görülmüştür.

Bu çalışmada, Watershed Modeling System (WMS) yazılımı içinde yer alan, kavramsal, toplu modelleme yaklaşımlarını içeren, her türlü büyüklükteki havzada taşkın konusuna uygun olarak olay tabanlı modelleme imkanı sunan HEC-1 modeli kullanılmıştır. U.S. Army Corps of Engineers tarafından geliştirilen HEC-1 modeli, havzayı hidrolojik ve hidrolik bileşenlerin birbirine bağlı bir sistemi olarak temsil ederek, bir havzada yağış etkisiyle oluşan yüzey akışını modellemek üzere tasarlanmıştır (USACE, 1998).

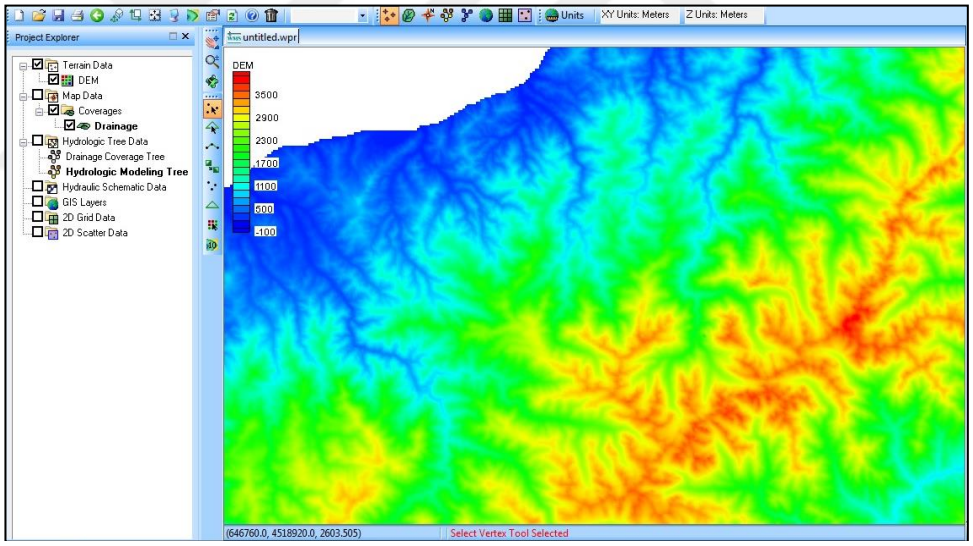
### 4.3.3 Model yapılandırması

Bu çalışmada gerçekleştirilen model yapılandırma çalışmaları Şekil 4.5'te verilen akış şeması ile özetlenmiştir. Havza modelleme çalışmalarında, model yapılandırma aşamasında Watershed Modeling System (WMS) yazılımı kullanılmıştır. WMS yazılımı Bringham Young Universitesi ile USACE tarafından ortak olarak geliştirilen bir yazılım olup, CBS destekli veriler ile yağış-akış modeli oluşturmaya imkan sunmaktadır (Boss International, 2000). WMS yazılımı, HEC-1, TR20, TR55, GSSHA gibi çeşitli toplu ve yayılı hidrolojik modellerin yapılandırılmasında kullanılmaktadır.

Havza modelleme çalışmalarında ilk olarak, İTÜ Geomatik Mühendisliği Bölümü arşivinden temin edilen 30 metre çözünürlüklü SYM verisi, gerekli koordinat dönüşüm işlemleri yapılarak modele girdi olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.6).

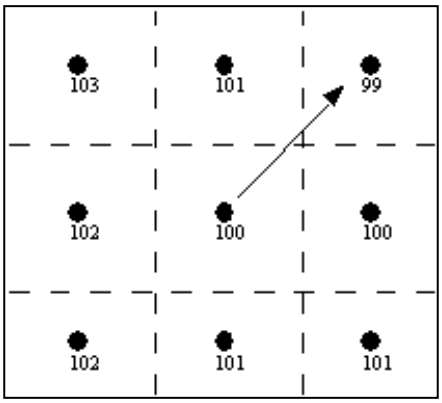



**Şekil 4.5 :** Hidrolojik model yapılandırması.

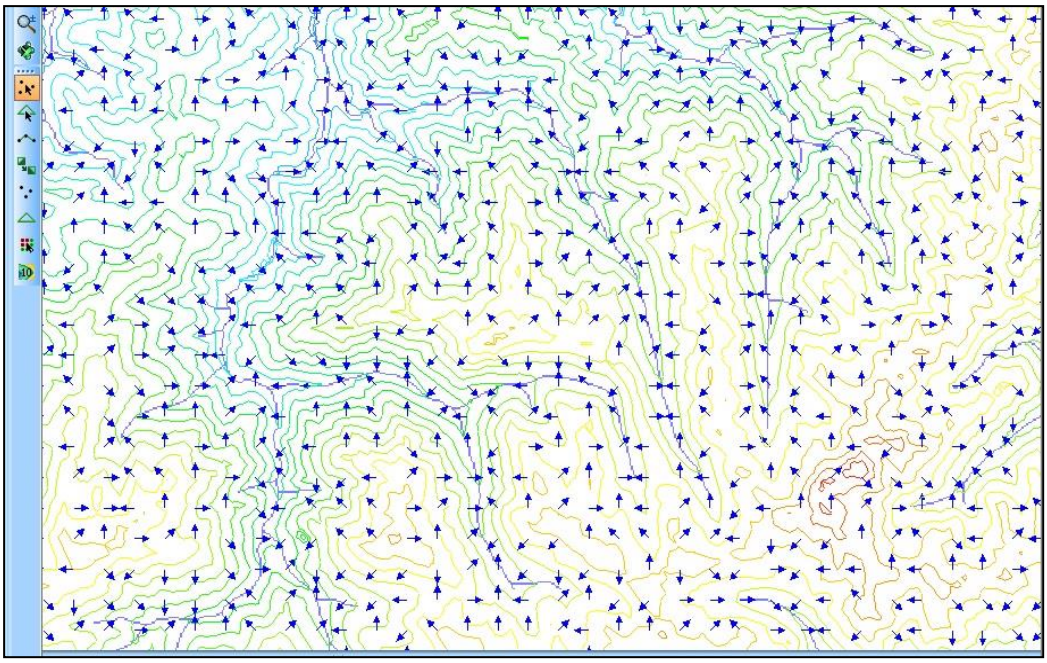



**Şekil 4.6 :** Model üzerinde SYM verisi.

Topografik veri yardımıyla havzaya düşecek olan yağışın izleyeceği yönler ve toplanacağı su yolları belirlenmiştir. Akım yönü, SYM verisindeki her bir komşu grid arasında daha küçük yüksekliğe sahip olan gride doğru belirlenir. Bu yön ve toplanma bilgisinin elde edilebilmesi için ArcView, Grass, TOPAZ gibi programlar kullanılır. Bu programlar Eight Point Pour modelini kullanmaktadır (Şekil 4.7). TOPAZ yazılımı yardımıyla havza üzerinde akış yönleri ve su yolları belirlenmiştir (Şekil 4.8).




**Şekil 4.7 :** Eight point pour model.



**Şekil 4.8 :** Akım yönleri ve toplanma çizgileri.

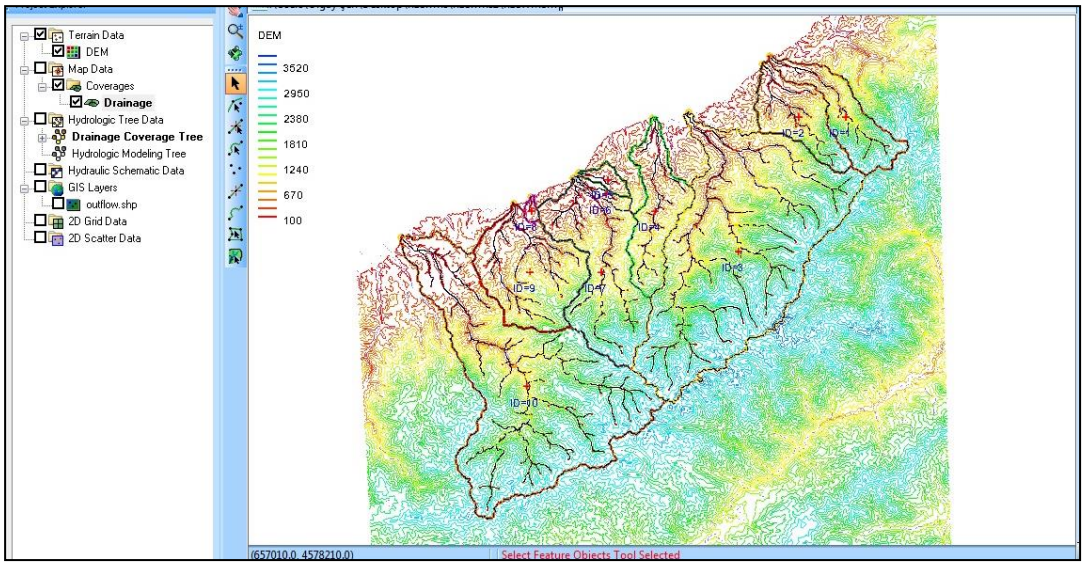
Hidrolojik analizleri gerçekleştirilecek olan havzaların çıkış noktalarının konumları modelde tanımlanarak, havza parametreleri (Çizelge 4.3) ve sınırları (Şekil 4.9) belirlenmiştir.

Çizelge 4.3'te yer alan parametreler aşağıda verilmiştir:

Havza alanı (A); Havza eğimi (BS); Ağrlık merkezi çıkışa uzaklığı (Lc); Maksimum akım uzunluğu (MSL) Maksimum akım çizgisi eğimi (MSS); Havza uzunluğu (BL); Şekil faktörü (SF); Kıvrımlılık (Sin); Havza çevresi (BP); Ortalama havza kotu (ME); Kuzey yönlü aspekt yüzdesi (Pnorth); Güney yönlü aspekt yüzdesi (Psouth).

**Çizelge 4.3 :** Çalışma havzalarının fiziksel parametreleri.

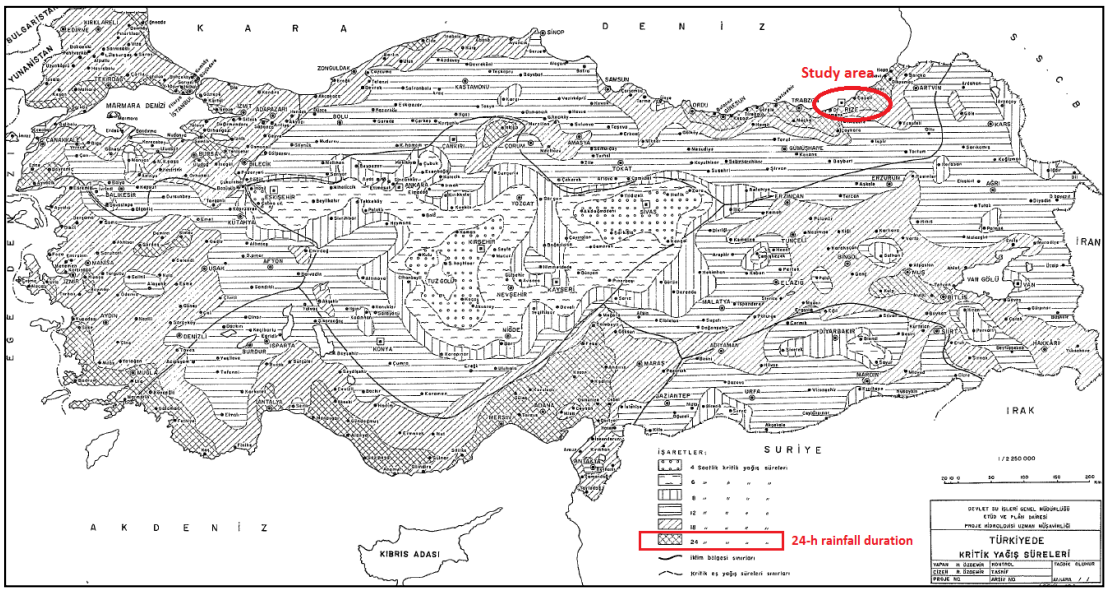
| Havza No | A ($km^2$) | BS | Lc (km) | Psouth | Pnorth | MSL (km) | MSS | BL (km) | SF | Sin | BP (km) | ME (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 175.7 | 0.50 | 21.35 | 39.36% | 60.64% | 33.08 | 0.069 | 30.89 | 5.43 | 1.07 | 106.9 | 1557.4 |
| 2 | 173.2 | 0.45 | 14.46 | 38.73% | 61.27% | 29.05 | 0.078 | 25.28 | 3.69 | 1.15 | 87.0 | 1016.6 |
| 3 | 1154.8 | 0.49 | 38.46 | 40.22% | 59.78% | 67.84 | 0.041 | 54.07 | 2.53 | 1.25 | 243.5 | 1914.1 |
| 4 | 204.2 | 0.42 | 20.33 | 39.11% | 60.89% | 37.19 | 0.036 | 33.31 | 5.43 | 1.12 | 113.9 | 836.9 |
| 5 | 26.9 | 0.30 | 5.67 | 50.18% | 49.82% | 9.18 | 0.031 | 10.60 | 4.18 | 0.87 | 34.9 | 355.4 |
| 6 | 21.8 | 0.34 | 7.55 | 41.72% | 58.28% | 9.75 | 0.047 | 11.60 | 6.18 | 0.84 | 35.6 | 493.0 |
| 7 | 378.3 | 0.45 | 24.52 | 38.18% | 61.82% | 45.59 | 0.054 | 37.09 | 3.64 | 1.23 | 142.6 | 1324.4 |
| 8 | 9.1 | 0.31 | 2.73 | 33.30% | 66.70% | 2.73 | 0.037 | 4.71 | 2.44 | 0.58 | 17.1 | 256.9 |
| 9 | 325.8 | 0.42 | 20.96 | 39.04% | 60.96% | 32.12 | 0.045 | 25.54 | 2.00 | 1.26 | 105.6 | 841.4 |
| 10 | 1054.7 | 0.43 | 44.51 | 43.97% | 56.03% | 77.27 | 0.034 | 57.85 | 3.17 | 1.34 | 250.7 | 1823.3 |



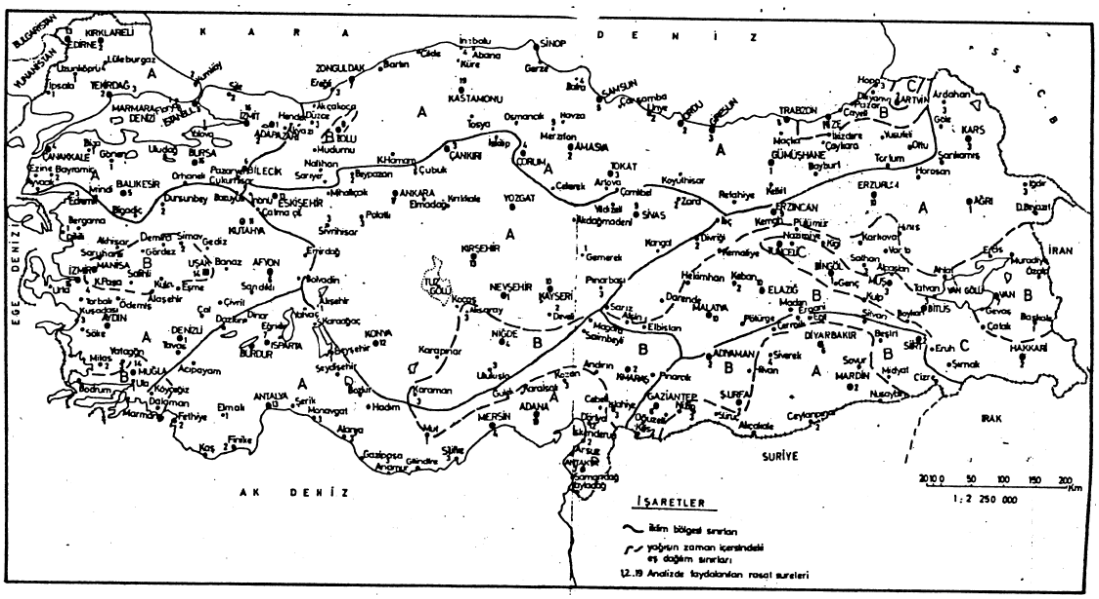

**Şekil 4.9 :** Havza sınırları.

### 4.3.3.1 Yağış dağılımı ve süresi

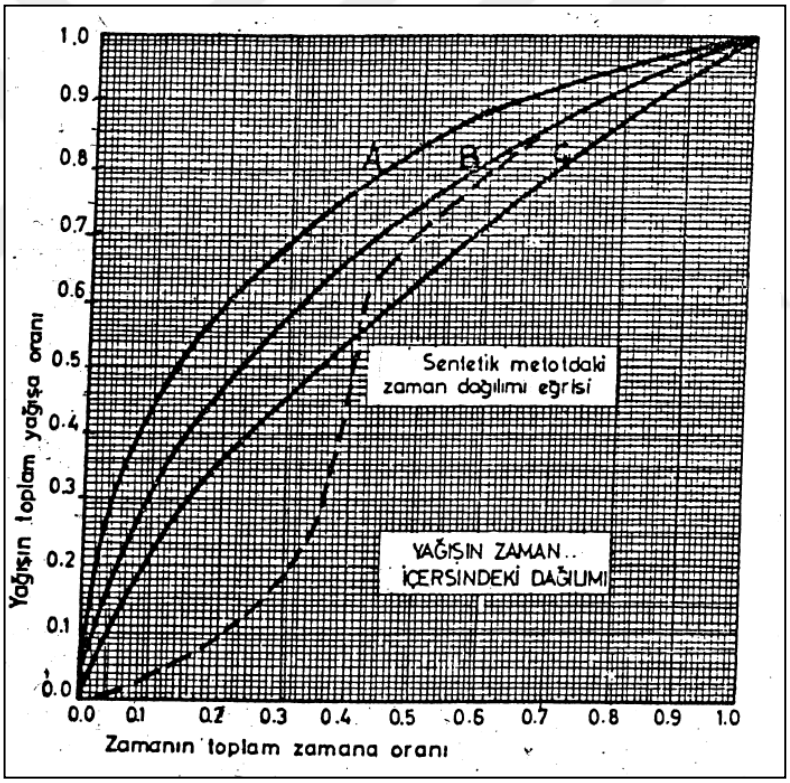
Türkiye'de kritik yağış süreleri haritasına göre çalışma alanı için kritik yağış süresi 24 saattir (Şekil 4.10). Temin edilen iklim modeli çıktıları da 24 saatlik toplam yağış verileridir. Bu nedenle, bu çalışmada 24 saatlik yağış verilerinin zaman dağılımı dikkate alınmıştır. Yağış süreleri ve miktarları dikkate alınarak elde edilen, Türkiye'de yağışın zamana göre dağılımı haritasına göre, çalışma alanı B bölgesi içerisinde yer almaktadır (Şekil 4.11). 24 saatlik toplam yağış miktarı, Şekil 4.12'de verilmiş olan B bölgesi eğrisine göre gün içinde zamana yayılmıştır.




**Şekil 4.10 :** Türkiye'de kritik yağış süreleri (Özdemir, 1978).




**Şekil 4.11 :** Türkiye'de yağışın zamana göre dağılımı haritası (Kızılkaya, 1988).




**Şekil 4.12 :** Yağışın zamana göre dağılımları (Kızılkaya, 1988).

### 4.3.3.2 Yağış-akış simülasyonları

Hidrolojik modellerde, yağış-akış simülasyonları için Soil Conservation Service (SCS), Snyder, Mockus ve DSİ Sentetik birim hidrograf yöntemleri kullanılmıştır.

**Soil Conservation Service (SCS) Birim Hidrograf Yöntemi**

Amerikan Toprak Muhafaza Servisi tarafından çok sayıda farklı büyüklük ve coğrafi konumdaki havzaların hidrograflarına dayanılarak boyutsuz bir hidrograf üretilmiştir (Ponce, 1989). Boyutsuz birim hidrograf q/qp (debi / pik debi) ve t/tp (zaman / pik zamanı) oranlarından oluşmaktadır (Şekil 4.13). SCS birim hidrograf metodunda pik debi ve pik debinin zamanı Denklem 4.2 - 4.4 ile elde edilmektedir (Ponce, 1989).

$$t_l = 0.6t_c \tag{4.2}$$

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_l \tag{4.3}$$

$$Q_p = \frac{2.08A}{T_p} \tag{4.4}$$

Burada;

$t_c$: havza geçiş süresi (saat)

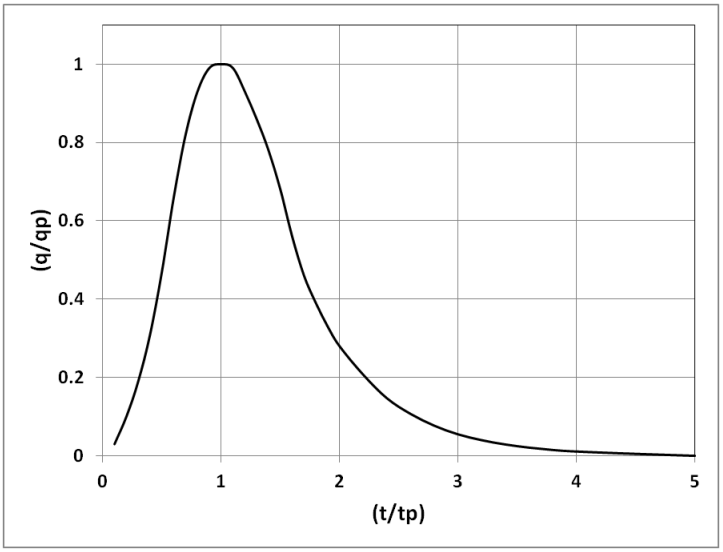
$t_l$: havza gecikme süresi (saat)

$t_r$: birim hidrograf süresi (saat)

A: Havza alanı ($km^2$)

$T_p$: pik debiye ulaşma süresi (saat)

$Q_p$: pik debi ($m^3/s$).




**Şekil 4.13 :** SCS boyutsuz birim hidrograf.

**Snyder Birim Hidrograf Yöntemi**

Snyder yönteminde havzanın birim hidrografının elde edilmesi için gerekli parametreler ve kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir (Denklem 4.5 - 4.12).

$$t_l = 0.752 C_t (LL_c)^{0.3} \tag{4.5}$$

$$t_b = 3 + \frac{3t_l}{24} \tag{4.6}$$

$$t_r = t_l / 5.5 \tag{4.7}$$

$$t_p = t_l + \frac{t_r}{2} \tag{4.8}$$

$$q_p = 2760 \frac{c_p}{t_l} \tag{4.9}$$

$$Q_p = A.q_p 10^{-3} \tag{4.10}$$

$$W_{50} = \frac{5.87}{(Q_p / A)^{1.08}} \tag{4.11}$$

$$W_{75} = \frac{3.35}{(Q_p / A)^{1.08}} \tag{4.12}$$

Burada;

$t_l$: gecikme süresi (saat)

L: en uzun akarsu boyu (km)

Lc: havza ağırlık merkezinin çıkış noktasına uzaklığı (km)

$C_t$: havza eğimi ve birikme ile ilgili katsayı

$C_p$: tutma ve birikme ile ilgili katsayı

$t_b$: birim hidrograf taban süresi (saat)

$t_r$: birim hidrograf yağış süresi (saat)

$t_p$: birim hidrograf pik debi süresi

$Q_p$: birim hidrograf pik debisi ($m^3/s$).

A: havza alanı ($km^2$)

$W_{50}$, $W_{75}$: Pik debinin %50 ve %75 oranındaki birim hidrograf genişliği

$W_{50}$ ve $W_{75}$ zaman genişliklerinin 1/3'ü hidrografın yükselme tarafında, 2/3'ü alçalma tarafında alınmaktadır (Ponce, 1989).

**Mockus Birim Hidrograf Yöntemi**

Mockus yönteminde havzanın birim hidrografının elde edilmesi için gerekli parametreler ve kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir (Denklem 4.13 - 4.18).

$$D = 2\sqrt{T_c} \tag{4.13}$$

$$\Delta D = T_c / 5 \tag{4.14}$$

$$T_p = 0.5\Delta D + 0.6T_c \tag{4.15}$$

$$T_r = 1.67T_p \tag{4.16}$$

$$T_b = T_p + T_r \tag{4.17}$$

$$Q_p = \frac{K.A.ha}{T_p} \tag{4.18}$$

Burada;

$T_c$: havza geçiş süresi (saat)

$T_p$: birim hidrograf yükselme süresi (saat)

$T_r$: birim hidrograf alçalma süresi (saat)

$T_b$: birim hidrograf taban süresi (saat)

D: taşkını meydana getiren yağış süresi (saat)

$\Delta$D: birim sağanak süresi (saat)

ha: akış yüksekliği (mm)

K: havza katsayısı

A: havza alanı ($km^2$)

$Q_p$: birim hidrograf pik debisi ($m^3/s$).

Mockus yönteminde birim sağanak süresi, Tc'nin 3 saatten az olması durumunda 0.5, Tc'nin 10-15 saat arasında olması durumunda 2.0, Tc'nin 15-30 arasında olması durumunda ise 3.0 saat olarak alınması önerilmektedir (Özdemir, 1978).

**DSİ Sentetik Birim Hidrograf Yöntemi**

DSİ sentetik yönteminde havzanın birim hidrografının elde edilmesi için gerekli parametreler ve kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir (Denklem 4.19 - 4.23).

$$q_v = \frac{414}{\mathrm{A}^{0.225} \times (\frac{L \times L_c}{\sqrt{S}})^{0.16}} \tag{4.19}$$

$$Q_p = A.q_v.10^{-3} \tag{4.20}$$

$$V_b = A.ha.10^3 \tag{4.21}$$

$$T = 3.65\frac{V_b}{Q_p} \tag{4.22}$$

$$T_p = T / 5 \tag{4.23}$$

Burada;

L: en uzun akarsu boyu (km)

Lc: havza ağırlık merkezinin çıkış noktasına uzaklığı (km)

S: harmonik eğim

A: havza alanı ($km^2$)

$q_v$: 1mm'lik akış için verim ($lt/km^2/mm$)

$Q_p$: birim hidrograf pik debisi ($m^3/s$)

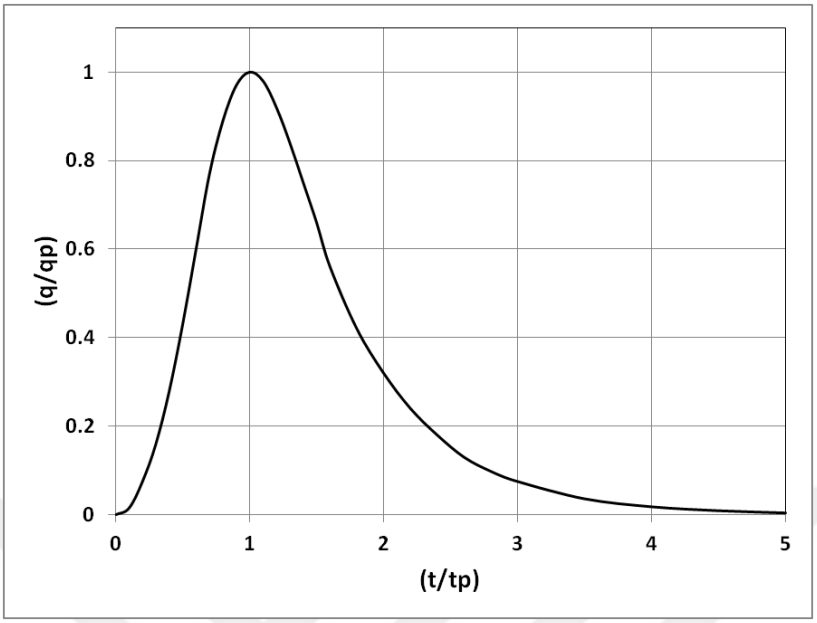
$V_b$: birim hacim ($m^3$)

T: birim hidrograf süresi

$T_p$: birim hidrograf yükselme süresi (saat).

Elde edilen Qp ve Tp değerleri ile q/qp (debi / pik debi) ve t/tp (zaman / pik zamanı) oranlarından oluşan DSİ boyutsuz birim hidrografı kullanılarak birim hidrograf elde

edilir (Şekil 4.14). DSİ sentetik yönteminde $T_p$'nin 2 saatten az olması durumunda, birim sağanak süresinin $T_p$ süresi kadar alınması önerilmektedir (Özdemir, 1978).




**Şekil 4.14 :** DSİ boyutsuz birim hidrograf.

**Kayıp Yöntemi**

Yağıştan akışa geçerken yüzeyde tutulma ve sızmadan dolayı kayıplar oluşmaktadır. Kayıpların hesaplanması için SCS eğri numarası metodu kullanılmıştır. SCS eğri numarası metodunda kayıplar, toprak türü ve arazi kullanımına bağlı olarak belirlenen bir eğri numarası kullanılarak hesaplanmaktadır (Denklem 4.24 - 4.25).

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \tag{4.24}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{4.25}$$

Burada;

S: potansiyel maksimum yağış tutulması (mm)

Q: yüzey akış miktarı (mm)

P: yağış miktarı

CN: yüzey akış eğri numarası.

Bu çalışmada Bölüm 3'te verilen arazi kullanımı ve toprak türü haritaları CBS ortamında üst üste yerleştirilerek veri kombinasyonları sağlanmış ve Rize ili için

değişken CN bölgeleri oluşturulmuştur. Her bir havza içinde kalan CN bölgelerinin ağırlıklı ortalamaları alınarak, Çizelge 4.4'te verilen değerler elde edilmiştir.

**Çizelge 4.4 :** Havzalara ait CN değerleri.

| Havza | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | B9 | B10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CN | 76.05 | 76.97 | 81.85 | 77.25 | 76.5 | 76.35 | 80.39 | 72.91 | 75.82 | 81.57 |

## 4.4 Hidrolik Modelleme

Geniş ölçekli projelerin senaryo analizlerini fiziksel modeller ile gerçekleştirmek oldukça zor ve maliyeti yüksek bir çalışma gerektirmektedir. Bu nedenle, bilgisayar destekli modeller daha hızlı uygulanabilirliği ve daha uygun maliyetler gerektirdiği için yaygınlaşmıştır. Hesaplama teknolojilerindeki maliyet düşmesi, hesaplama ve veri depolama kapasitelerinin artması, karmaşık taşkın modellerinin bilgisayar destekli oluşturulmasına olanak sağlamıştır (Mukolwe, 2016). Modeller gerçek doğa sisteminin yaklaşık temsilidir. Nümerik modellerin doğal bir sistemi temsil etmedeki yeterliliği, veri kalitesine, modelin nümerik kapasitesine ve modelleyicilerin sistemi kurma kabiliyetine bağlıdır.

### 4.4.1 Hidrolik modellerin sınıflandırılması

Hidrolik modeller 1 boyutlu (1B), 2 boyutlu (2B) ve 3 boyutlu (3B) çözüm yapma özelliklerine göre üç sınıfa ayrılırlar. Ayrıca 1B ve 2B kombinasyonlu karma modellerde mevcuttur.

1B modelleme yaklaşımında, akımın ana yatağın orta çizgisinde olduğu kabul edilir. Modelin geometrisi, nehir orta çizgisinde bir yatak ve bu yatağa dik enkesitlerle temsil edilir (Şekil 4.15). Enkesitler arası mesafeler de modele verilmelidir. Akış hızları akış yönünde kesitsel ortalama olarak hesaplanır. 1B çözümler açık veya kapalı şemalar kullanılarak hesaplanabilir. Açık şemalar, kapalı şemalara göre her bir zaman adımında hesaplama olarak daha verimlidirler. Ancak Courant sayısının 1'den büyük olması durumunda kararsız hale gelirler. Kapalı şemalar ise her koşulda kararlıdır. Açık şema kullanıldığı durumlarda, Courant sayısının 1'den küçük olmasını sağlamak için küçük zaman adımlarının kullanılması gerekir. 1B modeller yüksek hesaplama gücü gerektirmediğinden, bir çok 1B modelde açık şema kullanılır (Huxley, 2004).

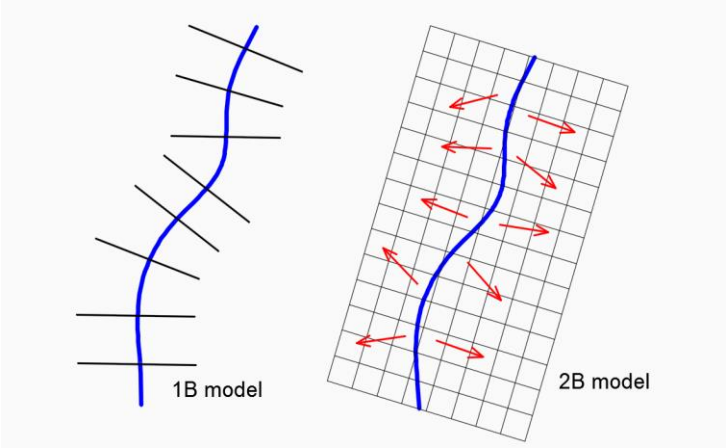
2B modelleme yaklaşımında, topografya ile uyumlu bir grid sistemi ile yatay düzlemde kanalize olmayan veya tek yönlü olmayan akımlar modellenebilir (Şekil 4.15). Akış hızı genel olarak su kolonunun derinliği boyunca ortalama olarak hesaplanır. 2B modeller, 1B modellere göre daha yüksek hesaplama gücü gerektirmektedir. 2B çözümlerde hem kapalı, hem de açık şema kullanılabilir. Ancak, kapalı şema kullanımı ile daha geniş zaman adımları kullanarak, hesaplama gücü ihtiyacı düşürülebilir (Huxley, 2004).

1B/2B kombinasyonlu modellerde ise, 2B modellemede çok küçük grid sistemi gerektirecek veya grid sistemi ile tanımlanamayacak detaylı yapılar (menfezler, drenaj boruları, dar kanallar) 1B yaklaşımı ile modellenip, 2B grid sistemi ile entegre edilmektedir. Bu yöntemle, ayrıntılı yapıların geometrisi daha sağlıklı tanımlanıp, grid sayısının artması önlenmekte ve hesap gücünden tasarruf edilmektedir.

Bu çalışmada, TUFLOW (Two-dimensional Unsteady FLOW) yazılımı kullanılmıştır. TUFLOW, CBS ile uyumlu, 1B ve 2B kombinasyonlu model oluşturulabilen bir yazılımdır. TUFLOW gelişimi, 1990 yılında WBM Pty Ltd ve University of Queensland ortak gerçekleştirdikleri proje ile başlamıştır (Jenkins, 2009).

Akarsu modellemelerinde kullanılan nümerik analizler temel hidrolik ilkelerine dayanırlar. Bu ilkeler, akım hızı ve derinliğinin fiziksel özelliklerini türetmek için çözülen matematik denklemlere yol gösterirler (Crowder, 2009).

1B modelleme yaklaşımında su seviyesindeki değişimler, aşağıdaki denklemlerle, kütlenin ve momentumun korunumu ilkesine göre elde edilir. Bu denklemler, taşkın modellemesinde sonlu farklar metodu ile çözülür (Pender ve Neelz, 2007).




**Şekil 4.15 :** 1B ve 2B hidrolik modelleme.

1 boyutlu süreklilik ve momentum denklemleri Denklem 4.26 ve 4.27'de verilmiştir (Tuflow, 2010).

1B süreklilik denklemi

$$\frac{\partial(uA)}{\partial x} + B\frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \tag{4.26}$$

1B momentum denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + g\frac{\partial \zeta}{\partial x} + k\,|u|\,u = 0 \tag{4.27}$$

Burada,

u: ortalama derinlik ve genişlikte akım hızı

$\zeta$: su seviyesi

t: zaman

x: uzaklık

A: enkesit alanı

B: akım genişliği

k: enerji kayıp katsayısı

n: Manning katsayısı

f1: enerji kayıp katsayısı

R: hidrolik yarıçap

g: yerçekimi ivmesidir.

TUFLOW, serbest yüzeyli akımlarda 1B St Venant denklemine dayanan 1B modelleme ağını içermesine rağmen, asıl olarak 2B kararsız akımlar için geliştirilmiştir. Tuflow ortalama derinlik sığ su denklemlerini çözer. Sığ su denklemleri taşkınlar, okyanus gelgitleri ve fırtına kabarması gibi uzun dalgalar için kullanılan akışkan hareket denklemleridir. Bu denklemler, yatay hızın dikey olarak üniform dağıldığı ve düşey ivmenin ihmal edilebildiği hipotezleri kullanılarak türetilmişlerdir. Bu kabuller, dalga yüksekliğinin su derinliğinden büyük olması durumu için geçerlidir. Yatay düzlemde 2B sığ su denklemleri aşağıdaki kütlenin

korunumu ve momentumun korunumu denklemleriyle verilmiştir (Denklem 4.28-4.30).

2B süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (Hu)}{\partial x} + \frac{\partial (Hv)}{\partial y} = 0 \qquad (4.28)$$

x-yönündeki momentum:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} - c_f v + g\frac{\partial \zeta}{\partial x} + g\,u\left(\frac{n^2}{H^{4/3}} + \frac{f_l}{2g\Delta x}\right)\sqrt{u^2+v^2} - \mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} = F_x \qquad (4.29)$$

y-yönündeki momentum

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + c_f u + g\frac{\partial \zeta}{\partial y} + g\,v\left(\frac{n^2}{H^{4/3}} + \frac{f_l}{2g\Delta y}\right)\sqrt{u^2+v^2} - \mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) + \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} = F_y \qquad (4.30)$$

Burada,

u, v: ortalama derinlikte x ve y yönünde akımın hız bileşenleri

$\zeta$: su seviyesi

H: su derinliği

t: zaman

x, y: x ve y yönünde uzaklık

$\Delta$x, $\Delta$y: x ve y yönünde ağ boyutları

cf: coriolis kuvveti katsayısı

n: Manning katsayısı

f1: enerji kayıp katsayısı

$\mu$: momentumun yatay difüzyon katsayısı

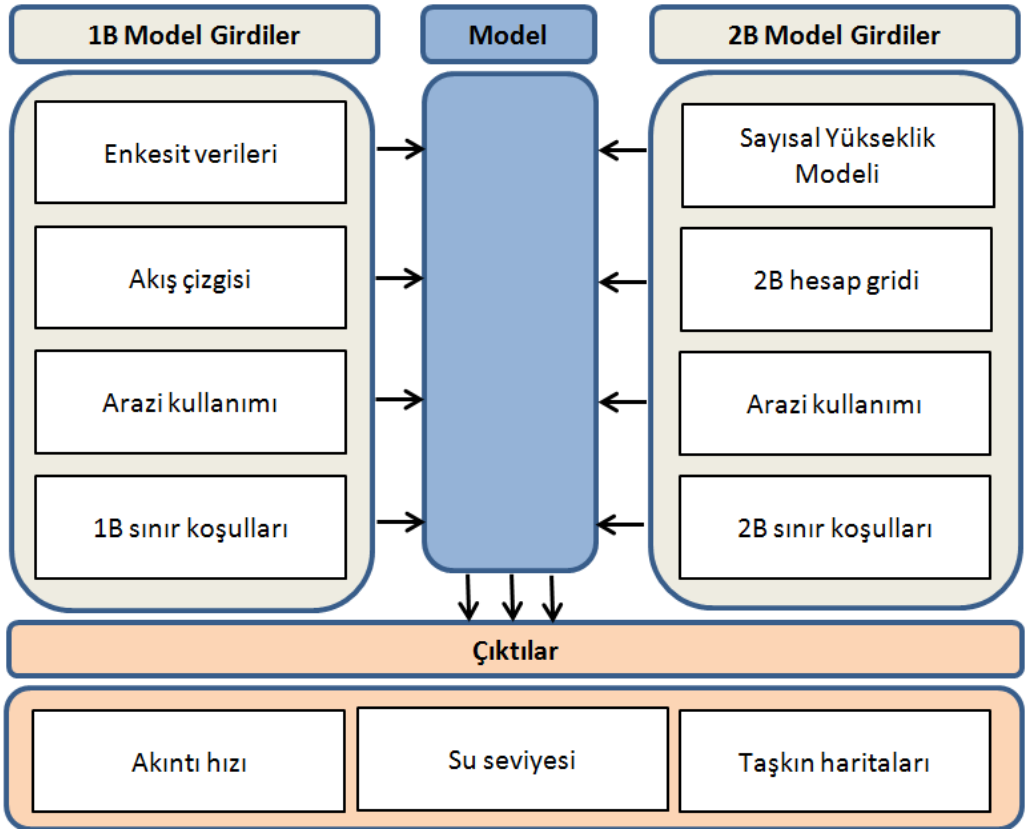
p: atmosfer basıncı

$\rho$: su yoğunluğu

Fx, Fy: x ve y yönünde dış kuvvetler (rüzgar) bileşenlerinin toplamıdır.

### 4.4.2 Model yapılandırması

Hidrolik model genel girdi ve çıktı yapıları Şekil 4.16'da verilen akış şeması ile özetlenmiştir.




**Şekil 4.16 :** Hidrolik model yapılandırması.

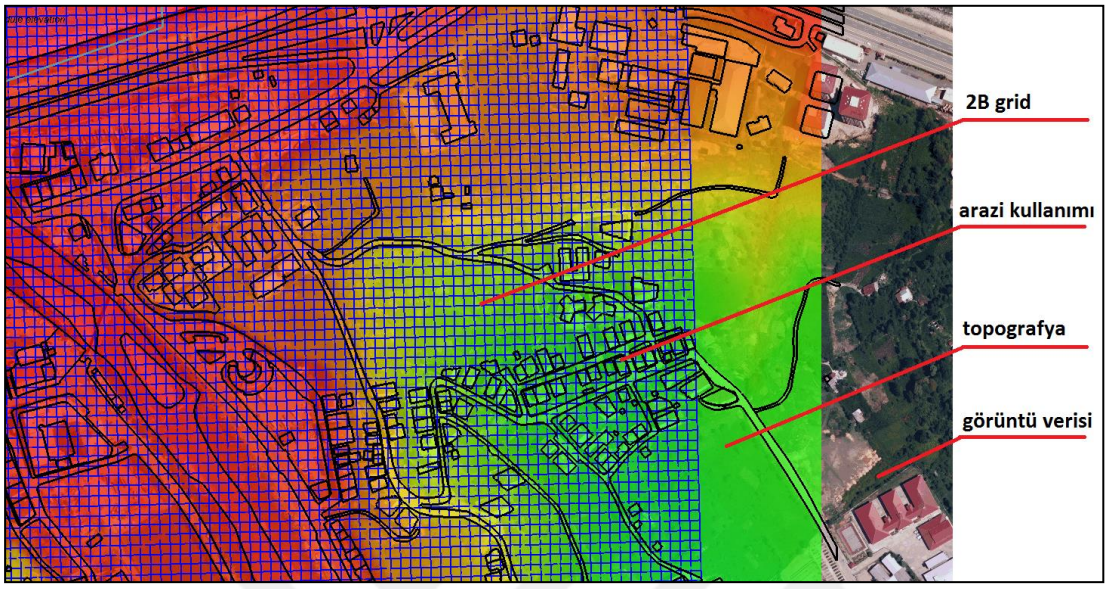
#### 4.4.2.1 Topografya, arazi kullanımı, görüntü verileri

Taşkın modelleme çalışmalarında, Bölüm 3'te ayrıntıları verilen görüntü, topografya ve arazi kullanımı verileri CBS ortamında düzenlenerek, katmanlar halinde üst üste yerleştirilmiştir. Elde edilen veri grubu üzerinde 2 boyutlu hesap ağı oluşturulmuştur. Model yapılandırma aşamasında oluşturulan katmanlar için Şekil 4.17'de Hemşin Deresi için oluşturulan modelden bir örnek verilmiştir.

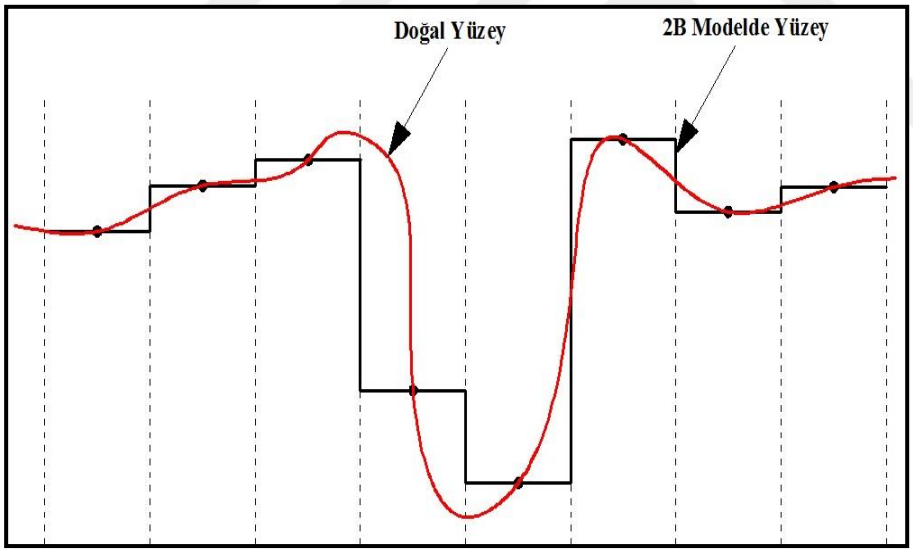
#### 4.4.2.2 2 boyutlu hesağ ağı

Modelin girdi verileri kullanarak, arazi üzerinde hidrolik denklemleri çözeceği noktaların belirlenmesi için, hazırlanan veri altlıkları üzerinde bir hesap ağı (grid) oluşturulur. Oluşturulan hesap ağının çözünürlüğü yükseldikçe, yani düğüm noktaları arasındaki uzaklık küçüldükçe, hem doğal arazi yüzeyi model tarafından daha doğru tanımlanmış olur, hem de daha ayrıntılı sonuç alınması sağlanır. Buna karşılık, ağ

çözünürlüğünün yükselmesi; oldukça yüksek hesap sürelerine ve çıktı dosyalarının boyutlarının bir hayli büyümesine yol açar. Ağ çözünürlüğünün topografya tanımlanmasına etkisi Şekil 4.18'de verilmiştir.

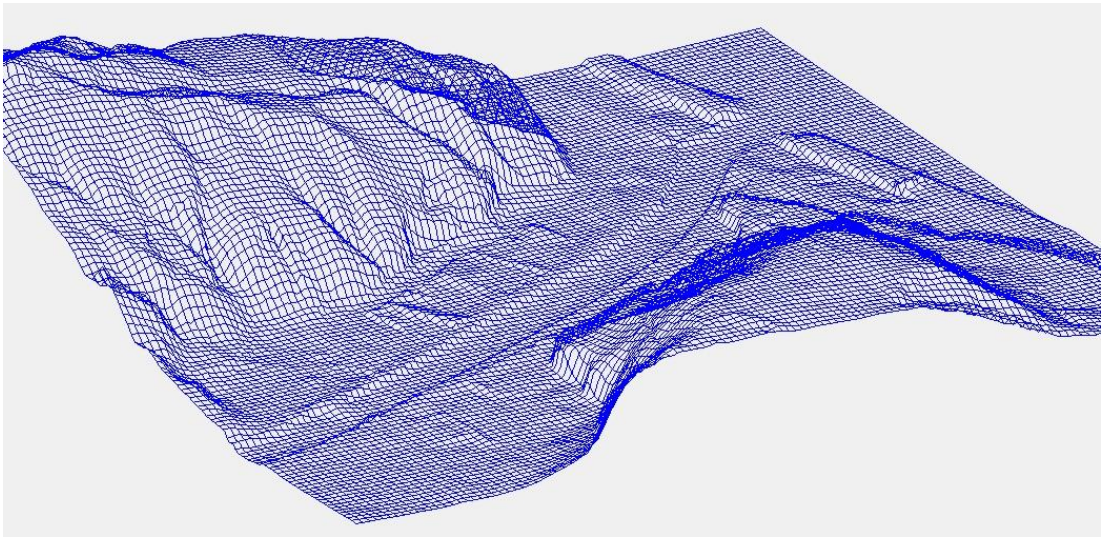



**Şekil 4.17 :** Hemşin deresi taşkın modeli katmanları.

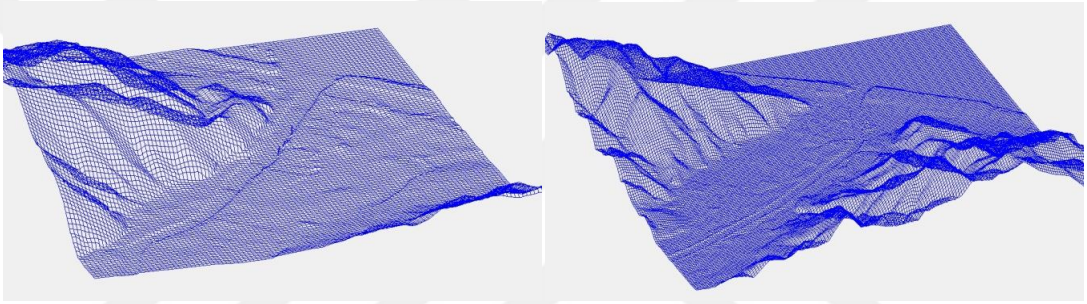



**Şekil 4.18 :** Ana kanalın 2 boyutlu modelde sunumu (Cox, 2010).

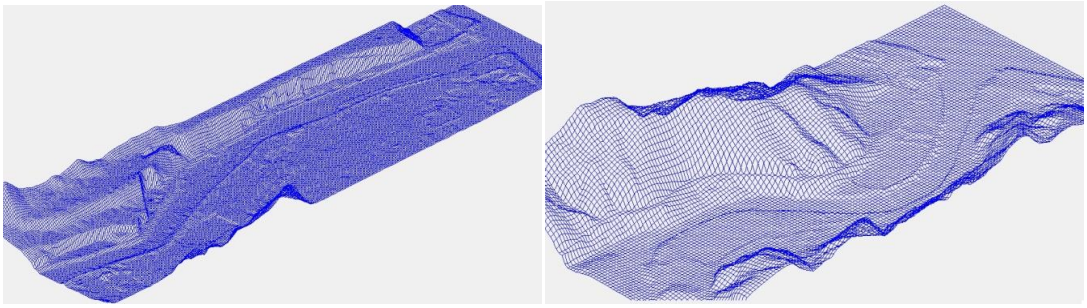
Bu çalışmada, 100 yıllık taşkın modellemelerinde, 10m çözünürlüğe sahip ağlar oluşturulmuştur (Şekil 4.19 - 4.22). 10m ağ çözünürlüğündeki modellerin sonuçlarına göre taşkın sınırları belirlenmiş ve bu sınırlara göre modelleme alanları küçültülerek, ağ çözünürlüğü arttırılmış ve 5 m çözünürlüğünde ağlar ile modelleme çalışmaları yeniden yapılmıştır. 500 yıllık taşkın modellerinde ise 10 m ağ çözünürlüğü ile çalışılmıştır.



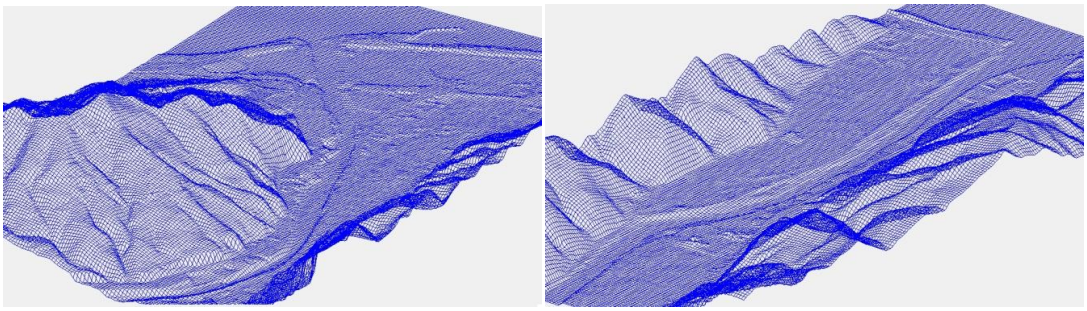
**Şekil 4.19 :** Hemşin Deresi hesap ağı.



**Şekil 4.20 :** Çağlayan Irmak ve Tahiroğlu Irmağı hesap ağı.



**Şekil 4.21 :** Fırtına Deresi, Büyük Çayı hesap ağı.

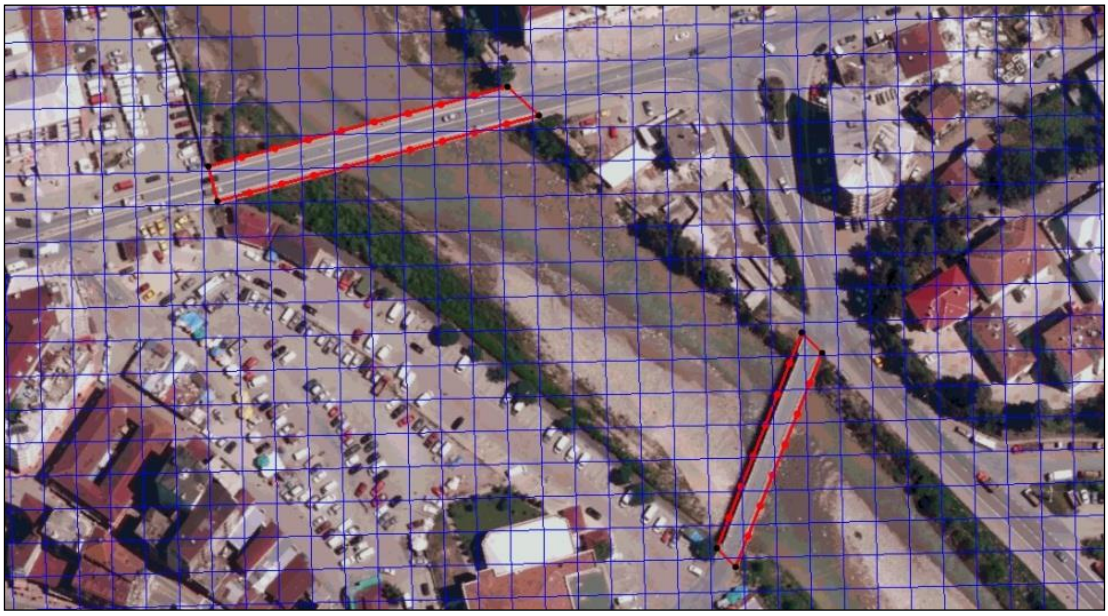


**Şekil 4.22 :** Taşlı Dere, İyidere hesap ağı.

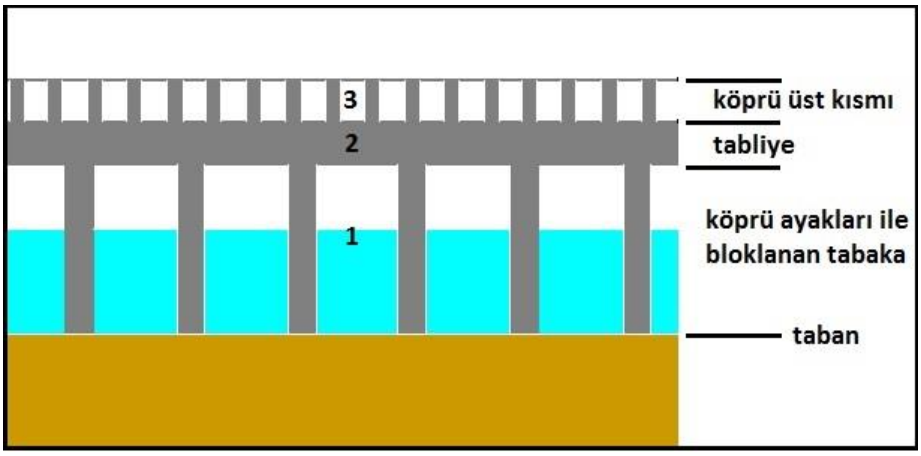
#### 4.4.2.3 Hidrolik yapılar

Çalışma alanlarında hidrolik yapı olarak sadece köprüler bulunmaktadır. Tuflow yazılımı kullanıcıya hidrolik yapıları nokta, çizgi veya poligon olarak tanımlama imkanı sağlayarak, hidrolik yapıların bulunduğu yerde, akım genişliği ve enerji kayıplarında düzenleme yapma olanağı sağlar.

TUFLOW yazılımında "katmanlı akım kısıtlama" yöntemini kullanarak her bir köprü 2 boyutlu gridler üzerinde tanımlamıştır (Şekil 4.23). Bu yöntemde yapının bulunduğu alan köprü ayaklarının bulunduğu bölüm, tabliye kısmı ve köprünün üst kısmı olmak üzere 3 farklı katmana ayrılır (Şekil 4.24). Tabliye alt kotu, tabliye kalınlığı ve köprü korkuluklarının bulunduğu üst kısmın yüksekliği tanımlanır. Tabliye kotları 1/1000'lik sayısal haritalardan okunarak modelde tanımlanmıştır. Daha sonra akışın bloklanma oranı girilir. Köprü ayaklarının bulunduğu katmanda (1.katman), mevcut haritaların incelenmesi sonucunda genel olarak köprü ayaklarının kapladığı alanın, kesit alanına oranının yaklaşık olarak %2-8 arasında olduğu görülmüş ve modelde belirtilmiştir. Tabliye katmanında (2.katman) bloklanma oranı %100 olarak tanımlanmıştır. Köprü üst kısmında (3.katman) akışın bloklanma oranı %25 olarak modele girilmiştir.



**Şekil 4.23 :** Hesap ağı üzerinde yapıların tanımlanması.




**Şekil 4.24 :** Modelde tanımlanan köprü katmanları (Url-1).

Köprünün bulunduğu yerde her bir tabaka için enerji kaybı tanımlanır (Denklem 4.31).

$$\Delta h = k(v^2 / 2g) \tag{4.31}$$

Burada,

$\Delta$h: Enerji kaybı, v: hız, g: yer çekimi ivmesi, k: enerji kaybı katsayısıdır.

Enerji kaybı katsayısı, birinci katman için 0.1, ikinci katman için 0.5, üçüncü katman için 0.3 olarak alınmıştır (TUFLOW, 2010).

Her bir katmana ait kayıp katsayıları $k_1$, $k_2$ ve $k_3$ olarak, suyun katmanlardaki seviyesinin katman kalınlıklarına oranı $p_1$, $p_2$ ve $p_3$ olarak tanımlandığında uygulanacak kayıp katsayısı;

- Akışın tamamı birinci katmanda ise; $k_1$
- Akış ikinci katmana ulaşmışsa; $k_1+(k_2 \times p_2)$
- Akış tabliyeyi de aşıp üçüncü katmana ulaşmışsa; $k_1+k_2+(k_3 \times p_3)$ olur.

#### 4.4.2.4 Sınır koşulları

Taşkın modellerinde memba sınır koşulu olarak, havza modelleme çalışmalarında elde edilen taşkın hidrografları konulmuş ve zamana bağlı modeller oluşturulması sağlanmıştır. Mevcut durum ve iklim değişikliği senaryoları (30-60-90 yıl sonraki durumlar) olmak üzere 4 farklı senaryoya ait, 100 yıllık ve 500 yıllık tekerrür aralıkları kullanılarak, 7 farklı dere üzerinde 56 adet sınır koşulu kullanılmıştır.

Mansap sınır koşulu olarak ise, her bir dere yatağının boykesiti alınarak, mansaptaki eğimleri belirlenmiş ve modelde tanımlanarak arazi kullanım altlığındaki Manning

katsayıları yardımı ile mansap su yüksekliklerinin yaklaşık olarak model tarafından hesaplanması sağlanmıştır. Mansap sınır koşulları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.5 :** Mansap sınır koşulu eğim değerleri.

| No. | Dere İsmi | Mansap Eğim |
|---|---|---|
| 1 | Çağlayan | 0.0066 |
| 2 | Tahiroğlu | 0.0083 |
| 3 | Fırtına | 0.0097 |
| 4 | Hemşin | 0.0026 |
| 5 | Büyük Ç. | 0.0047 |
| 6 | Taşlı D. | 0.0024 |
| 7 | İyidere | 0.0009 |

#### 4.4.2.5 Model kontrol bilgileri

Model kontrol bilgileri; simülasyon süresi, zaman adımı, girdi ve çıktı dosyaları ile ilgili bilgileri içerir. Tüm taşkın modellerinde simülasyon süresi 30 saat olarak tanımlanmıştır.

2 boyutlu modellerde zaman adımı Courant stabilite kriterine göre belirlenir. Courant sayısı Denklem 4.32'de belirtildiği gibi hesaplanır.

$$C_r = \frac{\Delta t \sqrt{2gH}}{\Delta x} \tag{4.32}$$

Burada, $C_r$: Courant sayısı, $\Delta t$: zaman adımı, g: yerçekimi ivmesi, H: su derinliği, $\Delta x$: ağ elemanlarının boyutudur.

Courant sayısı büyüdükçe model stabilitesi düşer ve belirli bir limiti aştığında model anlamsız sonuçlar verebilir. Zaman aralığı genel olarak ağ boyutunun yarısı olarak alınır. Daha dik arazilerde daha da düşük alınabilir (TUFLOW, 2010).

Zaman aralığı, 10 m çözünürlüğündeki ağlarda 3 s, 5 m çözünürlüğündeki ağlarda ise 2 s olarak alınmıştır. Modellerde başlangıç su seviyesi olarak 0.2 m tanımlanmıştır. Çıktı dosyaları olarak, her 15 dakikada bir zamana bağlı su derinlikleri, su seviyeleri ve iki yönde akış hızları (Vx, Vy) ile çıktıların maksimum değerlerinin zamandan bağımsız olarak aynı haritada görüntülenmesi modele belirtilmiştir.

# 5. UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

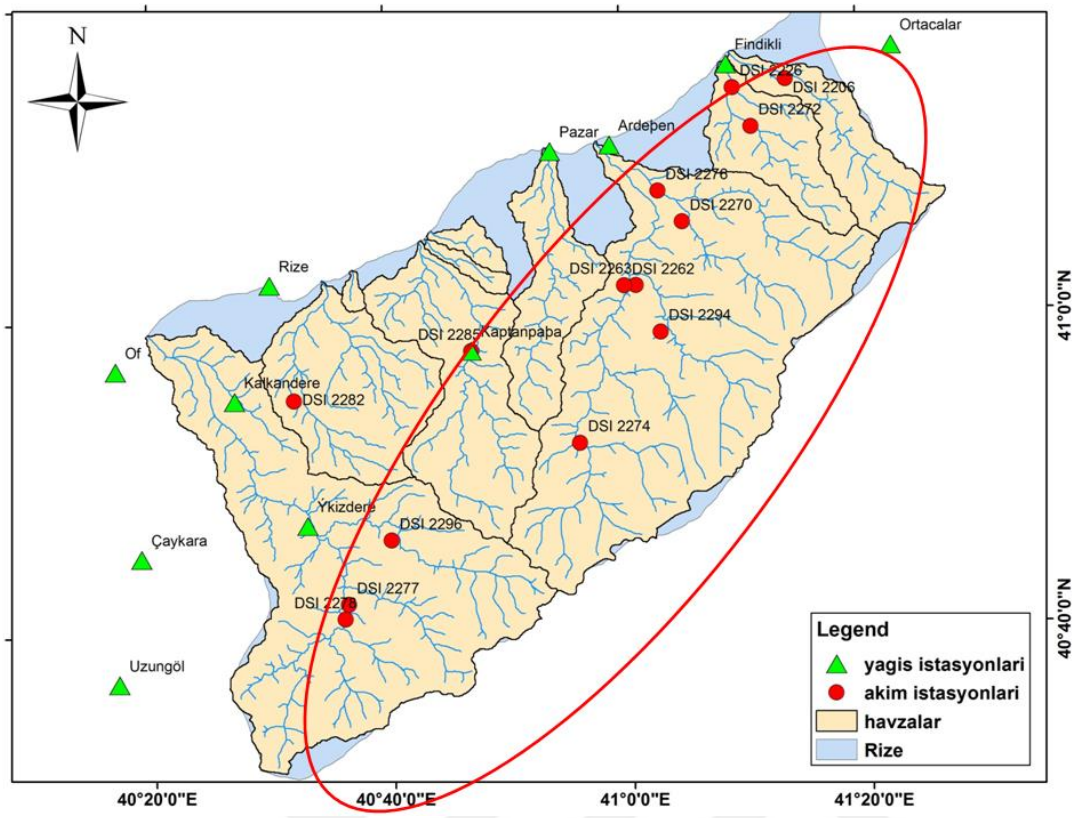
Bu çalışmada, Rize ili sınırları içerisinde yer alan 10 farklı havzada hidrolojik modelleme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. İklim modeli referans dönemi (1961-1990) ve iklim değişikliği projeksiyon dönemleri (2013-2039, 2040-2069, 2070-2099) verileri kullanılarak, mevcut durum ve 3 farklı iklim değişikliği senaryosu etkisi altında oluşabilecek 100 yıl ve 500 yıl dönüş aralıklı taşkın debileri elde edilmiştir.

Akım tahmini gerçekleştirilen 10 havzadan 7'sinin çıkışında, uzunlukları 1.5 km - 4.5 km arasında değişen dere güzergahları boyunca, 2 boyutlu taşkın modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Taşkın modelleme uygulamaları sonucunda, her bir dere için olası maksimum su yükseklikleri, akım hızları ve taşkın sınırlarını içeren haritalar elde edilmiştir.

## 5.1 Hidrolojik Model Kalibrasyon Çalışmaları

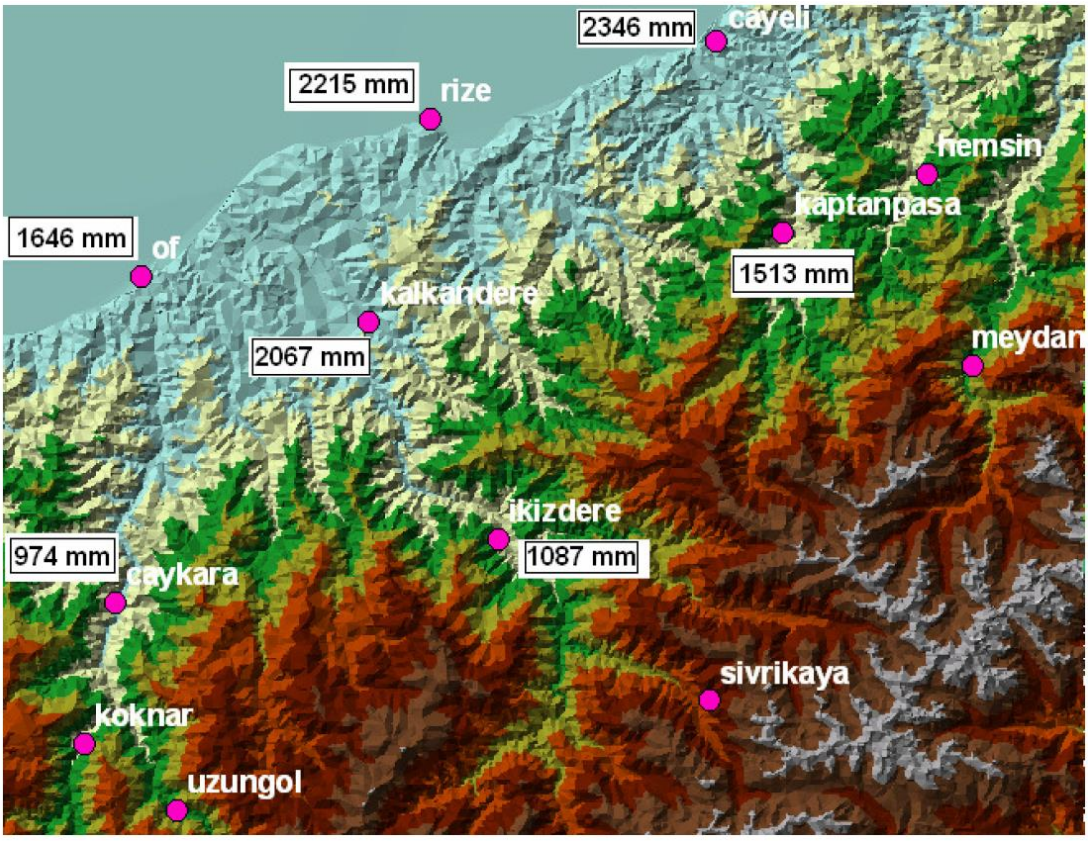
Hidrolojik model kalibrasyon çalışmalarında, 2 farklı modelleme yaklaşımı (toplu, yarı yayılı), 4 farklı sentetik birim hidrograf yöntemi (SCS, Snyder, Mockus, DSİ) ve 2 farklı yağış dağıtım yöntemi (Thiessen, izohiyet) kullanılarak, farklı akış eğri numaraları (CN) senaryoları ile ölçülmüş akım değerlerinin tahmin edilmesi için analizler gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanında yer alan akım gözlem istasyonları (AGİ) ve yağış gözlem istasyonlarının (YGİ) konumları incelendiğinde, uzun süreli günlük toplam yağış kayıtları bulunan YGİ'lerin sayı ve dağılımının oldukça yetersiz olduğu görülmüştür. Genel olarak, kullanılabilir YGİ'lerin konumları kıyıya yakın kesimlerde olup, havzaların yüksek kotlarında yeterli sayıda YGİ yer almamaktadır. Şekil 5.1'de görülen kırmızı sınırla çevrilmiş alanda bulunan AGİ'lerin havzaları üzerinde YGİ bulunmadığı görülmektedir.




**Şekil 5.1 :** Çalışma alanı havzaları üzerinde YGİ ve AGİ konumları.

Rize ili gibi dağlık ve aynı zamanda deniz etkisine açık bölgelerde, yağış gözlem istasyonlarının sayıca az ve kayıtlarının kısa süreli olması, yağışın alan ve zaman dağılımlarının belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu durum, akış tahmini konusunda gerçekleştirilen hidrolojik çalışmalarda karşılaşılan problemlerin başında gelmektedir. Dağlık bölgelerde, dağların havanın akışını değiştirmesi ve düşük eğimli bölgelere göre güneş radyasyonuna farklı tepkiler vermesi nedeniyle, atmosferin orografiye göre verdiği tepkiler, yağışın alan ve zaman dağılımını önemli derecede etkilemektedir. Bu tip çalışma alanlarında, yağış karakteristikleri yükseklik ile ilişkilidir (Shrestha, ve diğ, 2015). Kuzey Anadolu ve Karadeniz kıyılarında meydana gelen orografik yağışlar, bölgenin topografik yapısı nedeniyle yerelde çok farklılık göstermektedir (Durukanoğlu, 1996). Rize ili içerisinde yer alan YGİ'lerde ölçülen yıllık toplam yağış değerlerinden, bölgedeki yağış dağılımın çok değişken yapıda olduğu görülmektedir (Şekil 5.2). Çalışma alanının değişken yağış dağılımı yapısını temsil eder nitelikte veri bulunmaması, havza modeli kalibrasyon çalışmalarını olumsuz yönde etkilemiştir.

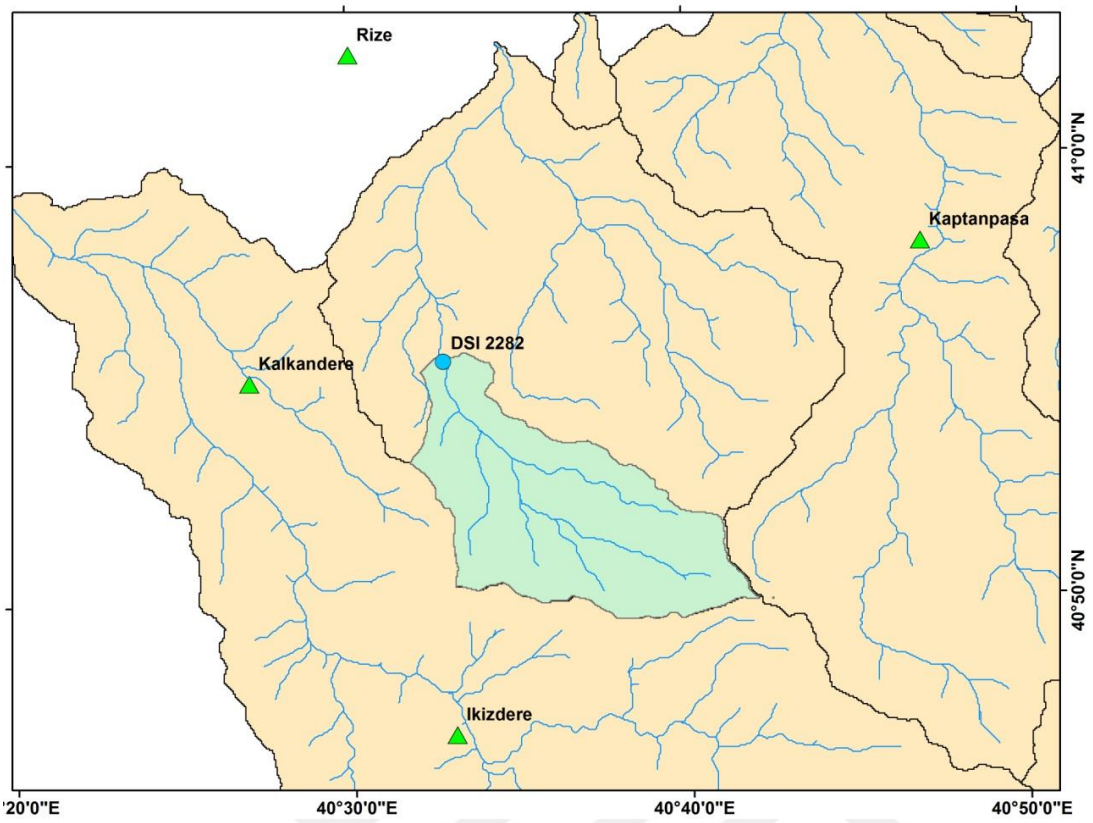



**Şekil 5.2 :** Rize ili yıllık toplam yağış miktarları (Eriş, 2011).

Hidrolojik model kalibrasyon çalışmalarında kullanılmak üzere, bölgede yer alan diğer AGİ'lere göre yağış alanına yakın konumda nispeten daha fazla YGİ bulunan, DSİ 2282 nolu Salarha Deresi - Kömürcüler AGİ seçilmiştir. DSİ 2282 nolu AGİ, 290 m kotunda olup, 83 $km^2$ yağış alanına sahiptir. Yağış alanı etrafında, günlük toplam yağış verisi bulunan Rize, Kalkandere, İkizdere ve Kaptanpaşa yağış gözlem istasyonları bulunmaktadır (Şekil 5.3). İstasyonlara ait gözlem aralığı bilgileri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Kalibrasyon çalışmalarında, YGİ'lere ait günlük toplam yağış verileri kullanılarak, DSİ 2282 AGİ'nin yıllık anlık maksimum akım değerlerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

DSİ 2282 AGİ'de ölçülen yıllık anlık maksimum akış değerleri ve akışın oluştuğu günlerde YGİ'lerde ölçülen toplam yağış değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir. Yanında "-" işareti bulunan günler veri eksikliği nedeniyle çalışmadan çıkarılmıştır. Veri eksikliği dışında, YGİ'lerde çok düşük yağış değerleri ölçülmesine rağmen, AGİ'de pik debinin oluştuğu günler de çalışmaya dahil edilmemiştir. Sonuç olarak 8 gün için akım tahmin çalışmaları yapılmıştır.




**Şekil 5.3 :** DSİ 2282 nolu AGİ yağış alanı ve YGİ konumları.

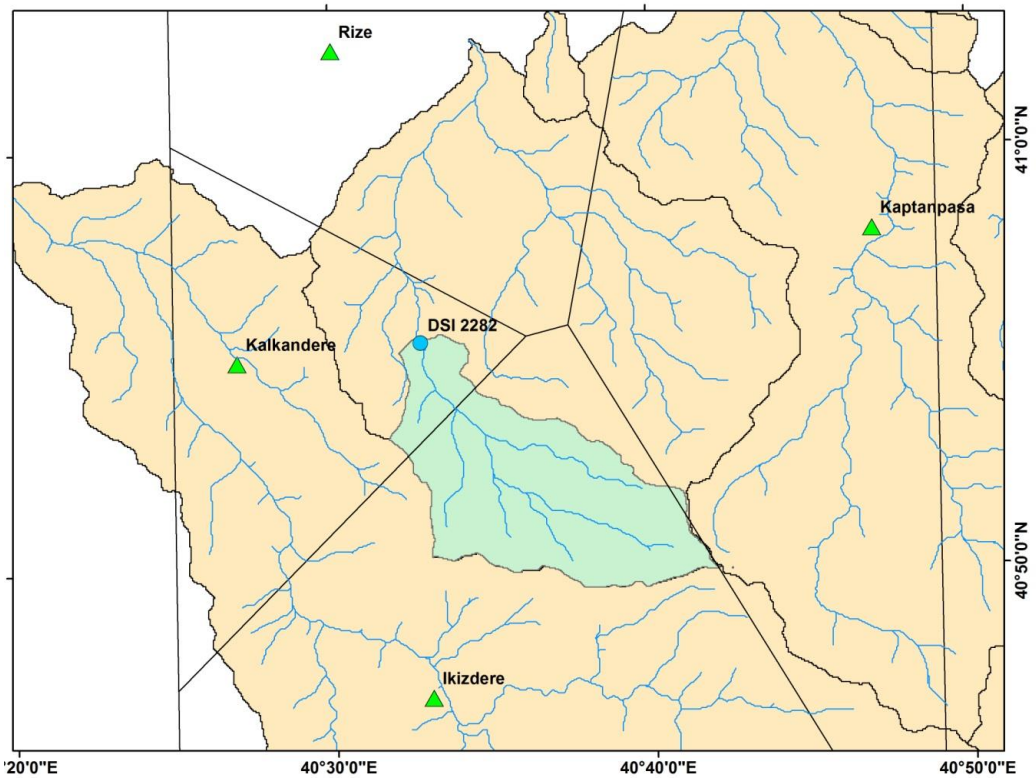
**Çizelge 5.1 :** Gözlem istasyonları veri aralığı.

| No | İsim | Kot (m) | Gözlem aralığı | Veri türü |
|---|---|---|---|---|
| D2282 | Kömürcüler | 290.0 | 1982-2015 | günlük ort ve yıllık anlık maksimum akım |
| 17040 | Rize | 3.0 | 1960 - 2012 | günlük toplam yağış |
| 1476 | Kalkandere | 138.0 | 1964 – 1967, 1975 -1996 | günlük toplam yağış |
| 1803 | İkizdere | 800.0 | 1970 - 1996 | günlük toplam yağış |
| 1480 | Kaptanpaşa | 483.0 | 1965 - 1986 | günlük toplam yağış |

Kalibrasyon çalışmalarında ilk olarak, Thiessen poligonları yardımıyla, havzaya ait ortalama yağış yüksekliği değerleri elde edilmiştir. Thiessen poligonları yöntemine göre havzadaki yağışları %86 oranında İkizdere, %14 oranında Kalkandere istasyonu temsil etmektedir (Şekil 5.4). Elde edilen havza ortalama yağış değerleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

**Çizelge 5.2 :** DSİ 2282 AGİ'de maksimum akışın gözlemlendiği günler.

| Tarih | Debi($m^3/s$) | Toplam yağış (mm) | | | | Uygunluk |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | D2282 | Rize | Kaptanpaşa | İkizdere | Kalkandere | |
| 30/09/2000 | 78.20 | 26.60 | x | x | x | - |
| 15/09/1999 | 75.80 | 49.60 | x | x | x | - |
| 25/09/1998 | 83.60 | 30.20 | x | x | x | - |
| 03/07/1997 | 75.20 | 30.20 | x | x | x | - |
| 08/08/1996 | 100.00 | 9.30 | x | 62.30 | x | - |
| 06/07/1995 | 458.00 | 0.00 | x | 0.00 | 0.00 | - |
| 10/11/1993 | 101.00 | 29.80 | x | 19.20 | 18.40 | + |
| 26/10/1992 | 186.00 | 30.40 | x | 48.60 | 40.70 | + |
| 10/07/1992 | 180.00 | 65.40 | x | 38.80 | 84.80 | + |
| 27/05/1991 | 124.00 | 4.30 | x | 0.00 | 3.90 | - |
| 14/09/1990 | 65.00 | 112.70 | x | 17.60 | 38.70 | + |
| 23/05/1989 | 78.00 | 0.00 | x | 0.00 | 0.00 | - |
| 29/07/1988 | 125.00 | 2.20 | x | 0.00 | 1.20 | - |
| 31/07/1987 | 125.00 | 55.70 | x | 42.90 | 60.40 | + |
| 17/06/1986 | 140.00 | 11.60 | 57.40 | 56.50 | 8.00 | + |
| 08/06/1985 | 54.00 | 13.50 | 6.50 | 4.80 | 6.80 | - |
| 29/08/1984 | 59.00 | 25.00 | 29.90 | 12.10 | 39.60 | + |
| 25/09/1983 | 110.00 | 89.10 | 61.70 | 46.20 | 34.10 | + |

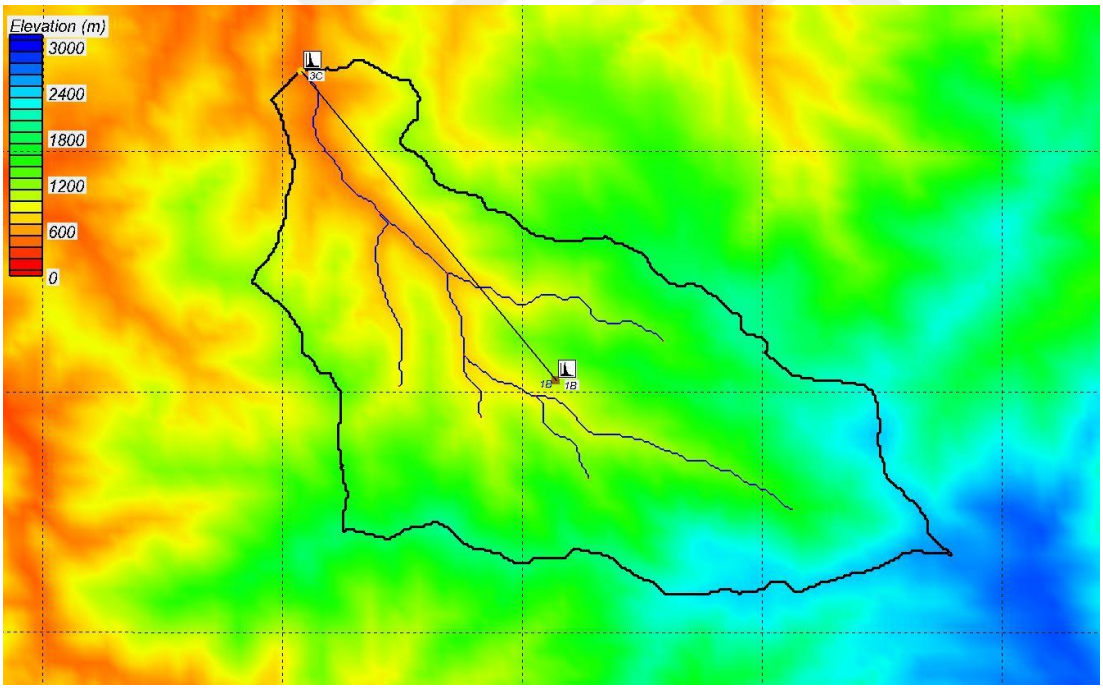



**Şekil 5.4 :** DSİ 2282 AGİ havzası ve Thiessen poligonları.

**Çizelge 5.3 :** DSİ 2282 havza ortalama yağış değerleri (mm).

| Tarih | P (mm) |
|---|---|
| 10/11/1993 | 19.32 |
| 26/10/1992 | 48.08 |
| 10/07/1992 | 45.78 |
| 14/09/1990 | 20.80 |
| 31/07/1987 | 45.90 |
| 17/06/1986 | 50.33 |
| 29/08/1984 | 16.14 |
| 25/09/1983 | 45.05 |

Yağış değerlerinin belirlenmesinden sonra, DSİ 2282 nolu AGİ için WMS ortamında toplu yapıda model oluşturulmuştur (Şekil 5.5). Oluşturulan modelde 4 farklı birim hidrograf (BH) metodu, 70-100 arasında değişen 7 farklı CN değeri için 8 güne ait olaylar simüle edilmiştir.




**Şekil 5.5 :** DSİ 2282 AGİ için toplu model çalışması.

DSİ-B tipi yağış dağılımının kullanıldığı çalışmalarda, toplam 224 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Her bir gün için elde edilen hidrograflara, bir önceki güne ait ortalama debi değerleri taban akışı olarak ilave edilmiştir. Elde edilen debi değerleri, 6 farklı değerlendirme kriteriyle birlikte Çizelge 5.4 - 5.7'de verilmiştir.

**Çizelge 5.4 :** Toplu model SCS yöntemi sonuçları ($m^3/s$).

| Tarih | Ölçüm | Akış eğri numaraları | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CN 70 | CN 75 | CN 80 | CN 85 | CN 90 | CN 95 | CN 100 |
| 10/11/1993 | 101 | 2.80 | 3.14 | 4.36 | 6.33 | 8.95 | 16.62 | 54.54 |
| 26/10/1992 | 186 | 19.73 | 23.32 | 27.56 | 36.20 | 50.13 | 80.90 | 139.37 |
| 10/07/1992 | 180 | 16.16 | 19.53 | 23.27 | 30.94 | 43.59 | 71.42 | 129.03 |
| 14/09/1990 | 65 | 1.90 | 2.51 | 4.02 | 6.16 | 8.95 | 17.79 | 57.61 |
| 31/07/1987 | 125 | 16.68 | 20.12 | 23.91 | 31.95 | 44.98 | 73.66 | 131.54 |
| 17/06/1986 | 140 | 23.74 | 27.49 | 32.43 | 41.45 | 56.33 | 89.26 | 148.30 |
| 29/08/1984 | 59 | 3.60 | 3.60 | 4.17 | 5.69 | 7.90 | 13.20 | 46.83 |
| 25/09/1983 | 110 | 11.98 | 15.36 | 19.10 | 26.79 | 39.46 | 67.34 | 124.96 |
| $R^2$ | | 0.664 | 0.674 | 0.674 | 0.677 | 0.675 | 0.671 | 0.672 |
| R | | 0.815 | 0.821 | 0.821 | 0.823 | 0.821 | 0.819 | 0.820 |
| RMSE | | 115.13 | 112.57 | 109.42 | 103.21 | 93.32 | 71.86 | 30.56 |
| % RMSE | | 95.35 | 93.23 | 90.62 | 85.47 | 77.29 | 59.51 | 25.30 |
| MAE | | 108.68 | 106.37 | 103.40 | 97.56 | 88.21 | 66.98 | 24.18 |
| % MAE | | 90.00 | 88.09 | 85.63 | 80.80 | 73.05 | 55.47 | 20.02 |

**Çizelge 5.5 :** Toplu model Snyder yöntemi sonuçları ($m^3/s$).

| Tarih | Ölçüm | Akış eğri numaraları | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CN 70 | CN 75 | CN 80 | CN 85 | CN 90 | CN 95 | CN 100 |
| 10/11/1993 | 101 | 2.80 | 3.02 | 4.02 | 5.58 | 7.92 | 13.36 | 30.33 |
| 26/10/1992 | 186 | 17.81 | 20.95 | 24.59 | 30.88 | 40.12 | 54.77 | 79.12 |
| 10/07/1992 | 180 | 14.81 | 17.75 | 21.25 | 26.85 | 35.64 | 49.78 | 73.74 |
| 14/09/1990 | 65 | 1.90 | 2.38 | 3.54 | 5.27 | 7.81 | 13.89 | 31.54 |
| 31/07/1987 | 125 | 14.96 | 17.91 | 21.41 | 27.05 | 35.86 | 50.03 | 74.01 |
| 17/06/1986 | 140 | 21.61 | 24.95 | 28.74 | 35.70 | 45.45 | 60.50 | 85.22 |
| 29/08/1984 | 59 | 3.60 | 3.60 | 4.07 | 5.22 | 7.10 | 11.21 | 26.60 |
| 25/09/1983 | 110 | 10.33 | 13.21 | 16.65 | 22.05 | 30.72 | 44.67 | 68.50 |
| $R^2$ | | 0.667 | 0.678 | 0.687 | 0.687 | 0.687 | 0.688 | 0.688 |
| R | | 0.817 | 0.824 | 0.829 | 0.829 | 0.829 | 0.830 | 0.829 |
| RMSE | | 116.37 | 114.15 | 111.40 | 106.82 | 99.95 | 88.72 | 68.19 |
| % RMSE | | 96.37 | 94.53 | 92.26 | 88.47 | 82.77 | 73.47 | 56.47 |
| MAE | | 109.77 | 107.78 | 105.22 | 100.93 | 94.42 | 83.47 | 62.12 |
| % MAE | | 90.91 | 89.26 | 87.14 | 83.58 | 78.20 | 69.13 | 51.44 |

**Çizelge 5.6 :** Toplu model Mockus yöntemi sonuçları ($m^3/s$).

| Tarih | Ölçüm | Akış eğri numaraları | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CN 70 | CN 75 | CN 80 | CN 85 | CN 90 | CN 95 | CN 100 |
| 10/11/1993 | 101 | 2.80 | 3.14 | 4.34 | 6.30 | 8.91 | 16.31 | 55.68 |
| 26/10/1992 | 186 | 19.66 | 23.23 | 27.14 | 35.63 | 49.07 | 78.78 | 142.19 |
| 10/07/1992 | 180 | 16.46 | 19.86 | 23.63 | 31.22 | 43.71 | 71.62 | 133.80 |
| 14/09/1990 | 65 | 1.90 | 2.51 | 4.00 | 6.12 | 8.90 | 17.38 | 58.83 |
| 31/07/1987 | 125 | 16.62 | 20.03 | 23.80 | 31.44 | 43.97 | 71.98 | 134.22 |
| 17/06/1986 | 140 | 23.67 | 27.38 | 32.00 | 40.83 | 55.23 | 87.09 | 151.25 |
| 29/08/1984 | 59 | 3.60 | 3.60 | 4.16 | 5.67 | 7.87 | 13.06 | 47.77 |
| 25/09/1983 | 110 | 11.92 | 15.27 | 18.99 | 26.30 | 38.52 | 65.82 | 127.60 |
| $R^2$ | | 0.672 | 0.683 | 0.682 | 0.687 | 0.685 | 0.681 | 0.681 |
| R | | 0.820 | 0.826 | 0.826 | 0.829 | 0.828 | 0.825 | 0.825 |
| RMSE | | 115.11 | 112.56 | 109.51 | 103.45 | 93.83 | 72.76 | 29.14 |
| % RMSE | | 95.33 | 93.22 | 90.70 | 85.67 | 77.71 | 60.26 | 24.13 |
| MAE | | 108.67 | 106.37 | 103.49 | 97.81 | 88.73 | 67.99 | 23.85 |
| % MAE | | 90.00 | 88.09 | 85.71 | 81.00 | 73.48 | 56.31 | 19.75 |

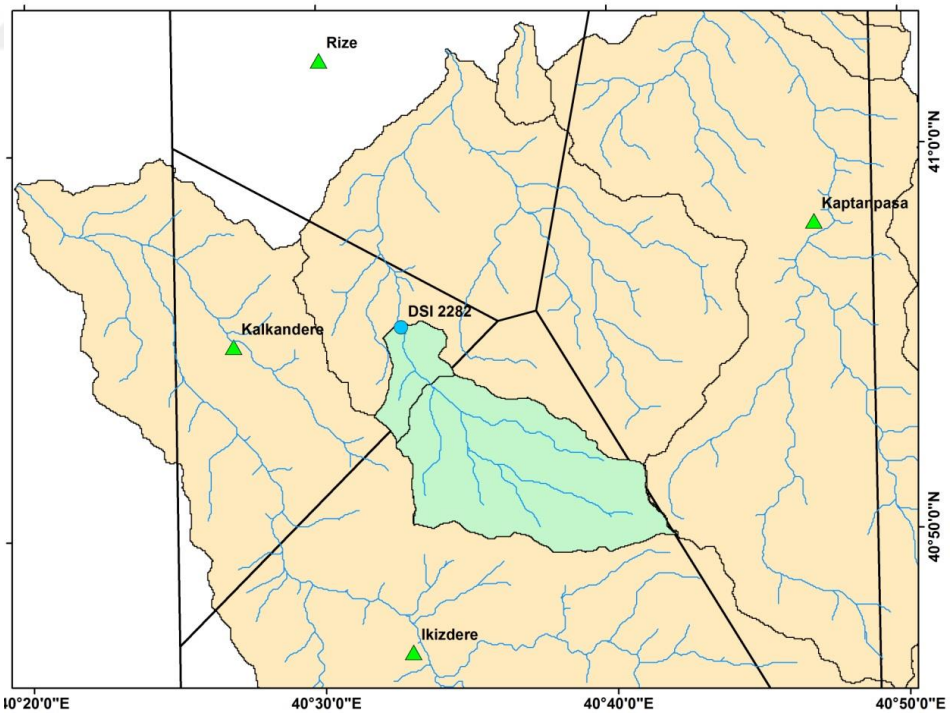
**Çizelge 5.7 :** Toplu model DSİ sentetik yöntemi sonuçları ($m^3/s$).

| Tarih | Ölçüm | Akış eğri numaraları | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CN 70 | CN 75 | CN 80 | CN 85 | CN 90 | CN 95 | CN 100 |
| 10/11/1993 | 101 | 2.80 | 3.01 | 4.09 | 5.66 | 7.85 | 14.10 | 33.36 |
| 26/10/1992 | 186 | 18.01 | 21.01 | 25.05 | 32.19 | 42.09 | 57.88 | 86.64 |
| 10/07/1992 | 180 | 15.00 | 17.86 | 21.37 | 28.01 | 37.55 | 52.69 | 80.90 |
| 14/09/1990 | 65 | 1.90 | 2.39 | 3.61 | 5.36 | 7.93 | 14.73 | 34.80 |
| 31/07/1987 | 125 | 15.15 | 18.01 | 21.55 | 28.22 | 37.77 | 52.96 | 81.19 |
| 17/06/1986 | 140 | 21.83 | 24.95 | 29.55 | 37.18 | 47.44 | 63.82 | 93.10 |
| 29/08/1984 | 59 | 3.60 | 3.60 | 4.08 | 5.28 | 7.12 | 11.73 | 29.13 |
| 25/09/1983 | 110 | 10.52 | 13.33 | 16.67 | 23.16 | 32.58 | 47.52 | 75.55 |
| $R^2$ | | 0.668 | 0.679 | 0.682 | 0.686 | 0.687 | 0.688 | 0.687 |
| R | | 0.817 | 0.824 | 0.826 | 0.828 | 0.829 | 0.829 | 0.829 |
| RMSE | | 116.23 | 114.09 | 111.16 | 105.93 | 98.61 | 86.48 | 62.63 |
| % RMSE | | 96.25 | 94.49 | 92.06 | 87.73 | 81.67 | 71.62 | 51.87 |
| MAE | | 109.65 | 107.73 | 105.00 | 100.12 | 93.21 | 81.32 | 56.42 |
| % MAE | | 90.81 | 89.22 | 86.96 | 82.91 | 77.19 | 67.35 | 46.72 |

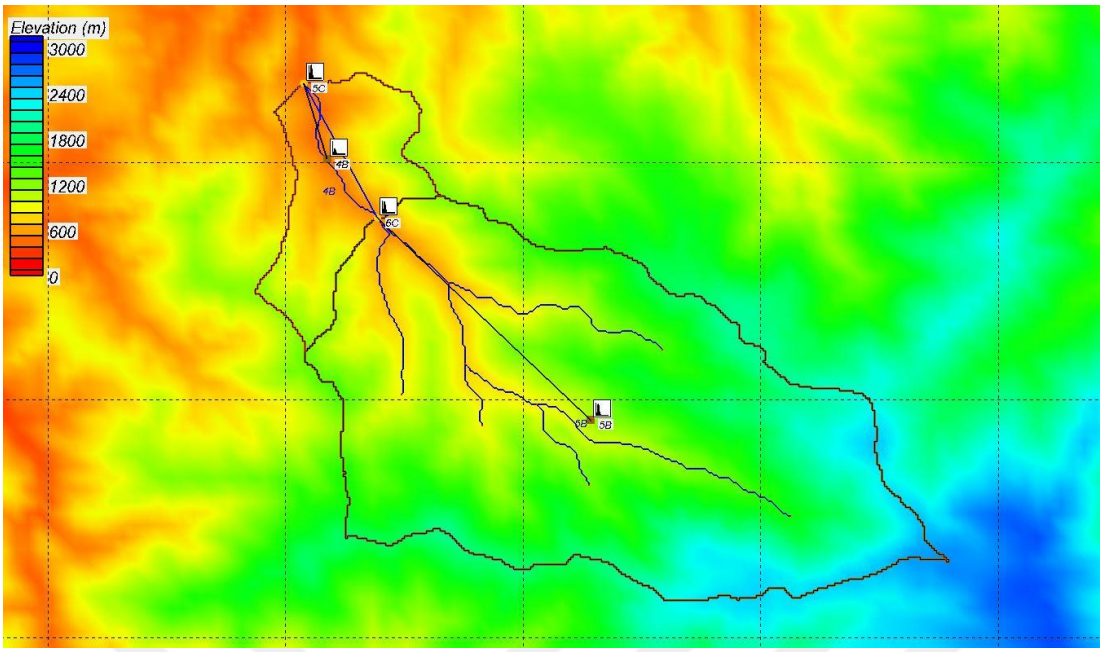
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, hata oranlarının CN değerinin 100 olması durumunda bile %50 oranını bulduğu görülmektedir. Bu durum, gözlem değerlerinin tahmini için CN değerinin 100'den çok daha büyük olması gerektiği gibi anlamsız bir sonucu ortaya çıkarmaktadır.

Kalibrasyon çalışmalarında ikinci aşamada, yarı yayılı modelleme yaklaşımı kullanılarak sonuçlara etkisi incelenmiştir. Daha önceki çalışmada, özellikle CN değeri arttıkça SCS ile Mockus yönteminin, Snyder ile de DSİ yönteminin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu nedenle, yarı yayılı yaklaşımı çalışmalarında, her iki yöntem çiftinden biri (SCS ve DSİ sentetik) seçilerek analizlere devam edilmiştir.

Yarı yayılı model yaklaşımıyla gerçekleştirilen çalışmalarda ilk olarak, havza Thiessen poligonlarının havzayı kestiği yerden iki parçaya ayrılarak WMS ortamında modellenmiştir (Şekil 5.6 - 5.7). Bu yöntemle havza üzerine üniform olarak ortalama bir yağış vermek yerine, memba tarafındaki parçaya İkizdere YGİ'nin, mansap tarafındaki parçaya ise Kalkandere YGİ'nin tahmin yapılan güne ait toplam yağışları aynen verilmiştir.




**Şekil 5.6 :** Thiessen poligonlarına göre parçalanmış havza.




**Şekil 5.7 :** Yarı yayılı model çalışması (Thiessen poligonları dikkate alınarak).

Oluşturulan modelde 2 farklı birim hidrograf (BH) metodu, 70-100 arasında değişen 7 farklı CN değeri için 8 güne ait olaylar simüle edilmiştir. Çalışmalarda toplam 112 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Her bir gün için elde edilen hidrograflara, bir önceki güne ait ortalama debi değerleri taban akışı olarak ilave edilmiştir. Elde edilen debi değerleri, 6 farklı değerlendirme kriteriyle birlikte Çizelge 5.8 - 5.9'da verilmiştir.

**Çizelge 5.8 :** Yarı yayılı model SCS yöntemi sonuçları ($m^3/s$).

| Tarih | Ölçüm | Akış eğri numaraları | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CN 70 | CN 75 | CN 80 | CN 85 | CN 90 | CN 95 | CN 100 |
| 10/11/1993 | 101 | 2.80 | 3.07 | 4.24 | 6.17 | 8.79 | 16.25 | 54.92 |
| 26/10/1992 | 186 | 19.35 | 22.91 | 26.92 | 35.25 | 49.14 | 82.58 | 140.23 |
| 10/07/1992 | 180 | 16.61 | 19.84 | 23.41 | 31.10 | 43.62 | 73.94 | 130.98 |
| 14/09/1990 | 65 | 2.55 | 2.94 | 4.05 | 6.04 | 8.69 | 17.00 | 56.86 |
| 31/07/1987 | 125 | 16.26 | 19.62 | 23.35 | 30.82 | 43.57 | 74.21 | 131.35 |
| 17/06/1986 | 140 | 25.08 | 28.69 | 34.70 | 44.08 | 58.62 | 95.60 | 150.34 |
| 29/08/1984 | 59 | 4.31 | 4.71 | 5.17 | 6.15 | 8.11 | 13.62 | 47.07 |
| 25/09/1983 | 110 | 11.87 | 15.24 | 18.98 | 26.45 | 39.23 | 69.96 | 126.91 |
| $R^2$ | | 0.630 | 0.644 | 0.630 | 0.647 | 0.658 | 0.657 | 0.675 |
| R | | 0.794 | 0.803 | 0.794 | 0.804 | 0.811 | 0.811 | 0.821 |
| RMSE | | 114.93 | 112.42 | 109.26 | 103.21 | 93.44 | 70.40 | 30.13 |
| % RMSE | | 95.18 | 93.10 | 90.49 | 85.47 | 77.39 | 58.30 | 24.95 |
| MAE | | 108.40 | 106.12 | 103.15 | 97.49 | 88.28 | 65.35 | 24.32 |
| % MAE | | 89.77 | 87.89 | 85.42 | 80.74 | 73.11 | 54.12 | 20.14 |

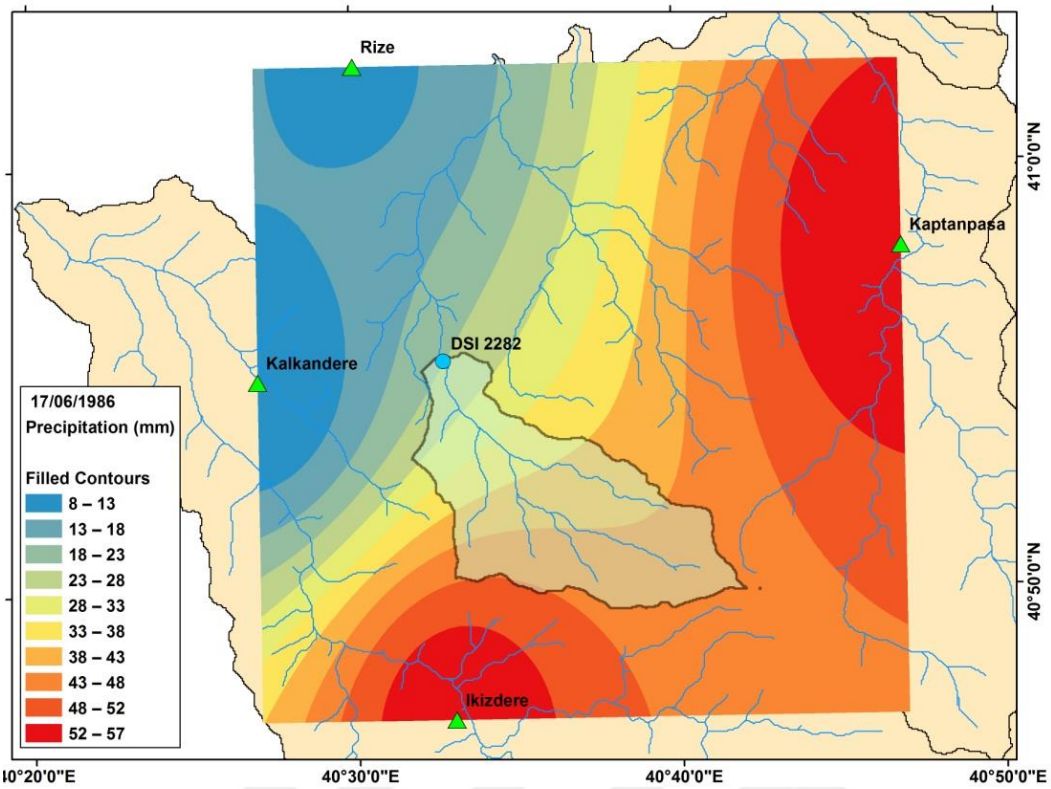
**Çizelge 5.9 :** Yarı yayılı model DSİ sentetik yöntemi sonuçları ($m^3/s$).

| Tarih | Ölçüm | Akış eğri numaraları | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CN 70 | CN 75 | CN 80 | CN 85 | CN 90 | CN 95 | CN 100 |
| 10/11/1993 | 101 | 2.80 | 2.97 | 3.97 | 5.51 | 7.62 | 13.85 | 34.64 |
| 26/10/1992 | 186 | 17.64 | 20.46 | 24.42 | 31.62 | 41.97 | 57.72 | 89.69 |
| 10/07/1992 | 180 | 14.89 | 17.57 | 20.77 | 26.99 | 36.53 | 51.41 | 83.95 |
| 14/09/1990 | 65 | 2.44 | 2.77 | 3.56 | 5.18 | 7.49 | 13.99 | 35.76 |
| 31/07/1987 | 125 | 14.64 | 17.33 | 20.61 | 27.20 | 36.88 | 51.92 | 83.94 |
| 17/06/1986 | 140 | 22.85 | 25.75 | 31.39 | 38.94 | 49.85 | 65.69 | 96.29 |
| 29/08/1984 | 59 | 4.19 | 4.53 | 4.92 | 5.65 | 7.25 | 11.65 | 30.48 |
| 25/09/1983 | 110 | 10.41 | 13.09 | 16.53 | 23.18 | 32.84 | 47.77 | 79.03 |
| $R^2$ | | 0.625 | 0.641 | 0.631 | 0.647 | 0.657 | 0.669 | 0.685 |
| R | | 0.791 | 0.801 | 0.794 | 0.804 | 0.810 | 0.818 | 0.828 |
| RMSE | | 116.19 | 114.17 | 111.25 | 106.13 | 98.67 | 86.72 | 60.34 |
| % RMSE | | 96.22 | 94.55 | 92.13 | 87.89 | 81.71 | 71.82 | 49.97 |
| MAE | | 109.52 | 107.69 | 104.98 | 100.22 | 93.20 | 81.50 | 54.03 |
| % MAE | | 90.70 | 89.18 | 86.94 | 83.00 | 77.18 | 67.50 | 44.74 |

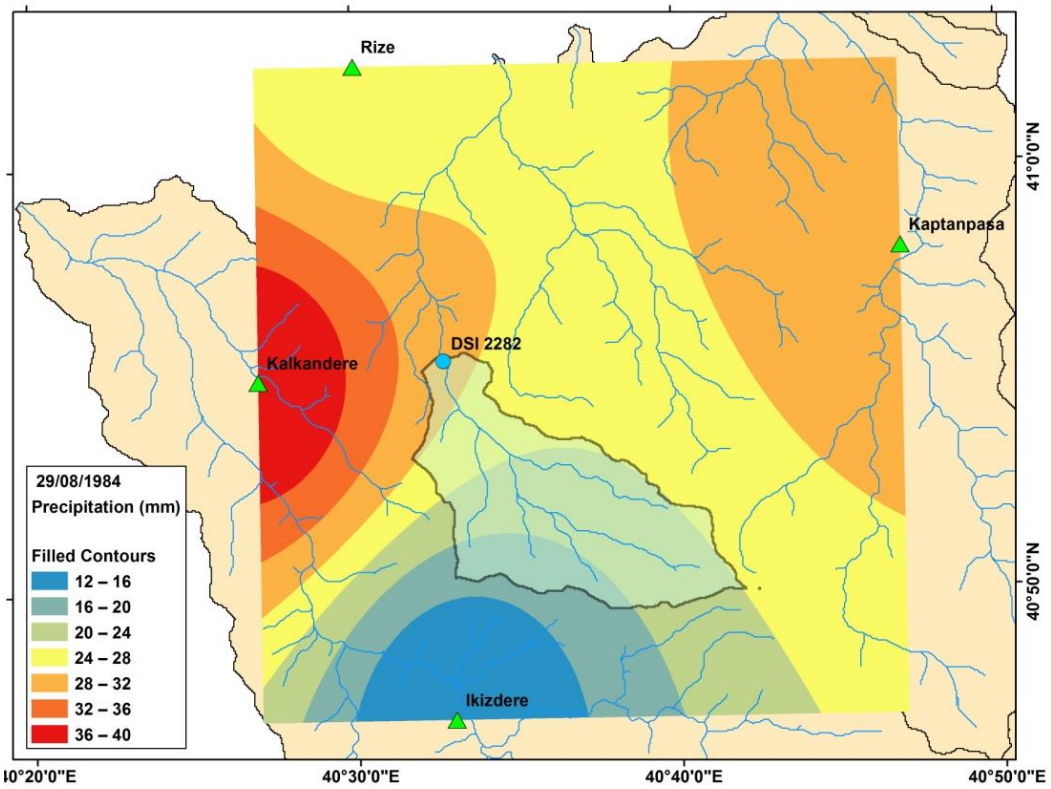
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, toplu model çalışmalarına benzer şekilde, hata oranlarının CN değerinin 100 olması durumunda bile %50 oranını bulduğu görülmektedir. Thiessen poligonları dikkate alınarak gerçekleştirilen yarı yayılı modelleme çalışmalarının tahmin değerlerini iyileştirmediği görülmüştür.

Kalibrasyon çalışmalarında üçüncü aşamada, yıllık anlık maksimum akım değerinin oluştuğu günlerde, havza etrafındaki 4 YGİ'ye ait günlük yağış değerlerinden izohiyet eğrileri oluşturularak, bu eğriler doğrultusunda havza parçalara ayrılmıştır. Bu çalışmada, kalibrasyon çalışmalarının önceki aşamalarında DSİ sentetik yöntemine göre az da olsa daha iyi sonuç veren SCS yöntemi kullanılmıştır. Daha önce Çizelge 5.2'de görüldüğü gibi DSİ 2282 AGİ'de maksimum yıllık anlık akım ölçüldüğü günlerde, 4 YGİ'nin ortak ölçümünün bulunduğu gün sayısı 3'tür. Söz konusu 3 gün için elde edilen günlük izohiyet eğrileri Şekil 5.8 - 5.10'da verilmiştir.

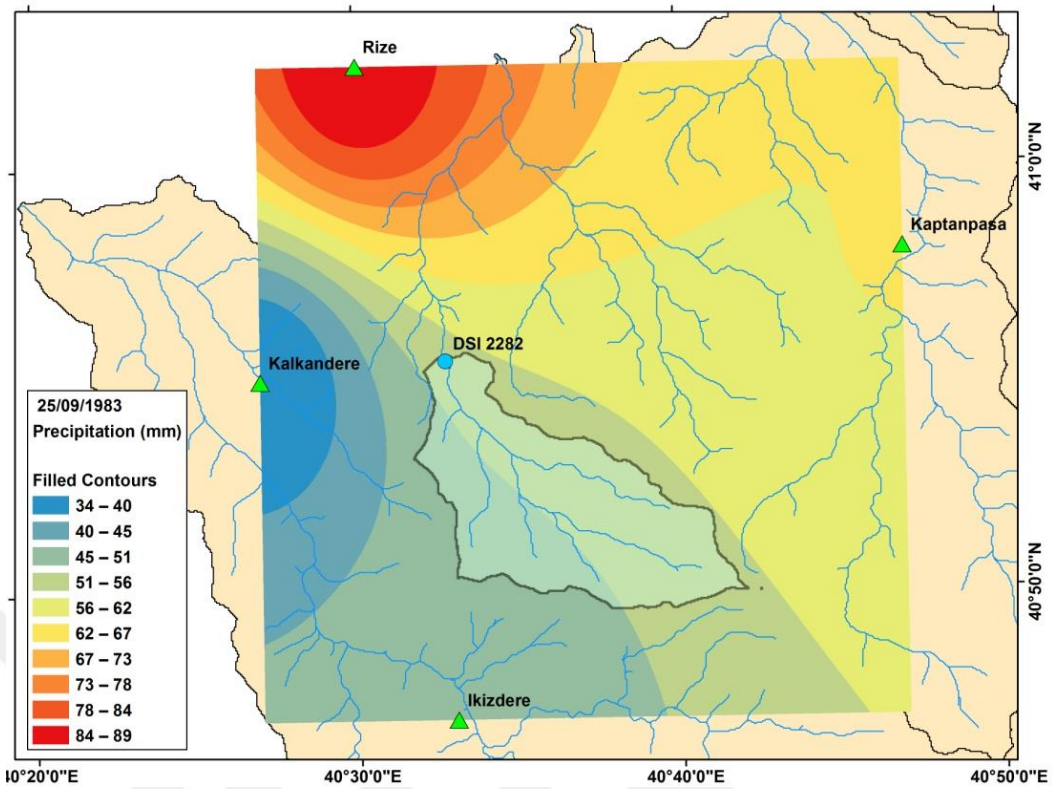
İzohiyet eğrileri dikkate alınarak yarı yayılı model yaklaşımıyla gerçekleştirilen çalışmalarda ilk olarak, havza eş yağış eğrilerinin havzayı kestiği yerlerden parçalara ayrılarak WMS ortamında modellenmiştir. Bu yöntemle her iki eğrinin arasında kalan alt havzalara, o eğrilerin temsil ettiği yağış değerleri verilmiştir. DSİ 2282 AGİ havzası 3 gün için sırasıyla 12, 7 ve 5 alt havzaya bölünmüştür (Şekil 5.11 - 5.13). WMS ortamında model yapıları Şekil 5.14'te verilmiştir.



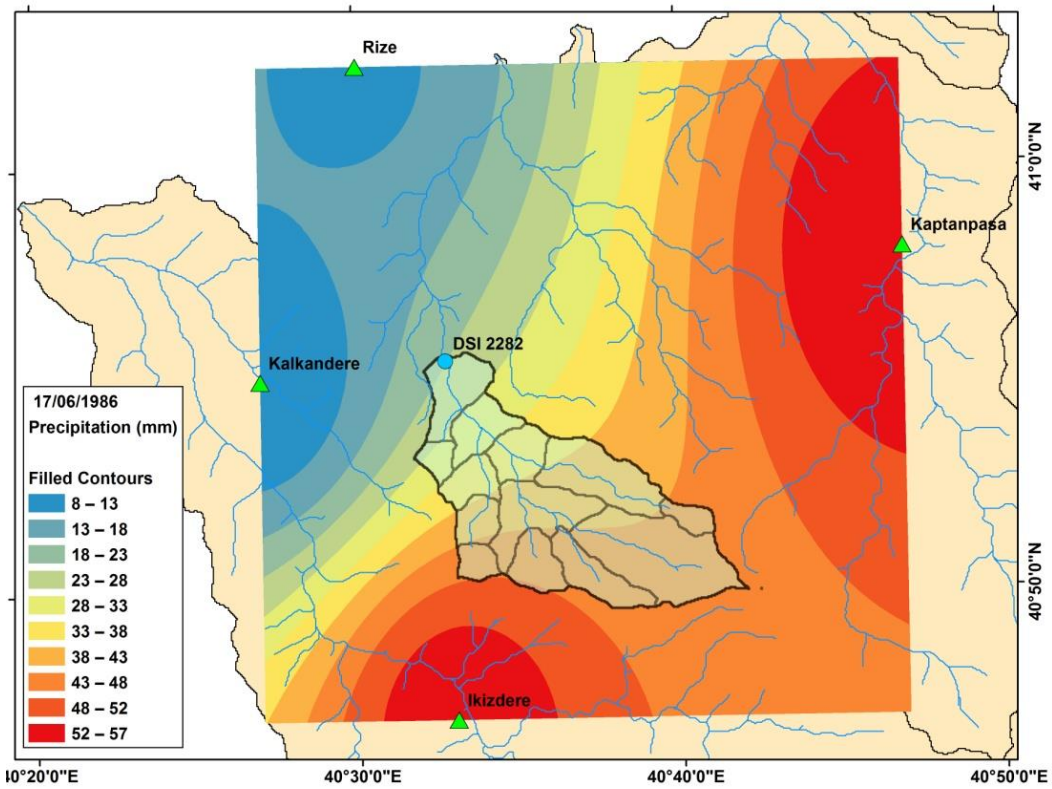

**Şekil 5.8 :** 17.06.1986 günü için izohiyet eğrileri.



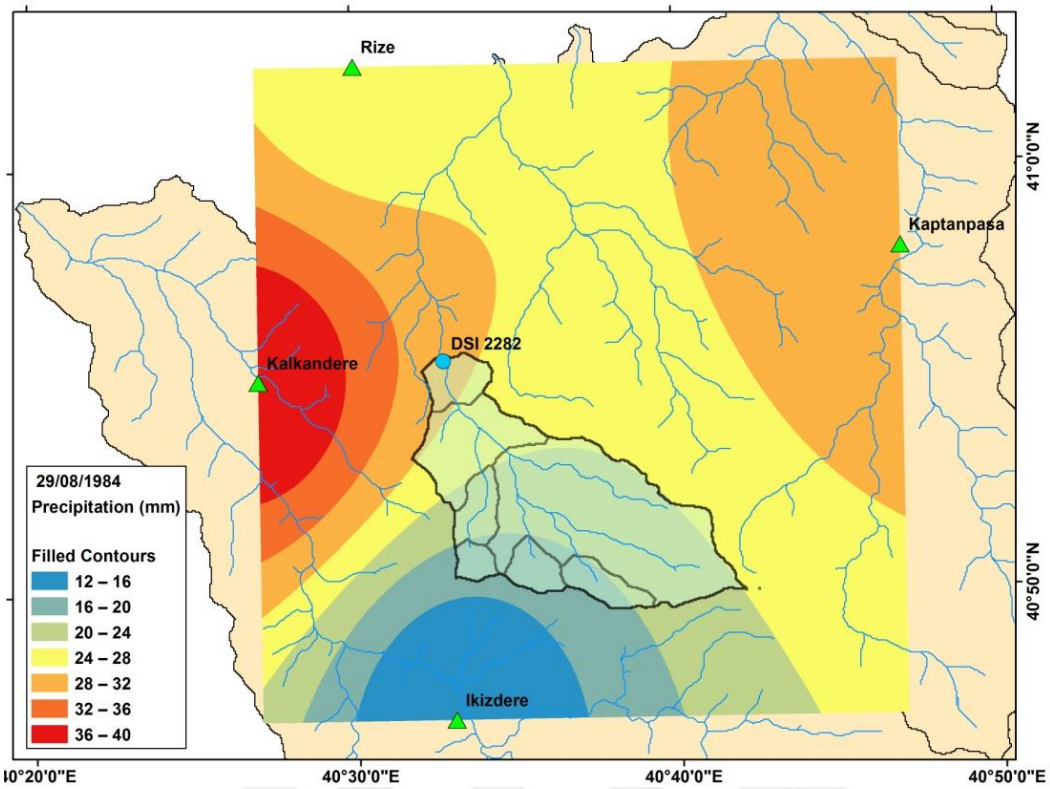

**Şekil 5.9 :** 29.08.1984 günü için izohiyet eğrileri.



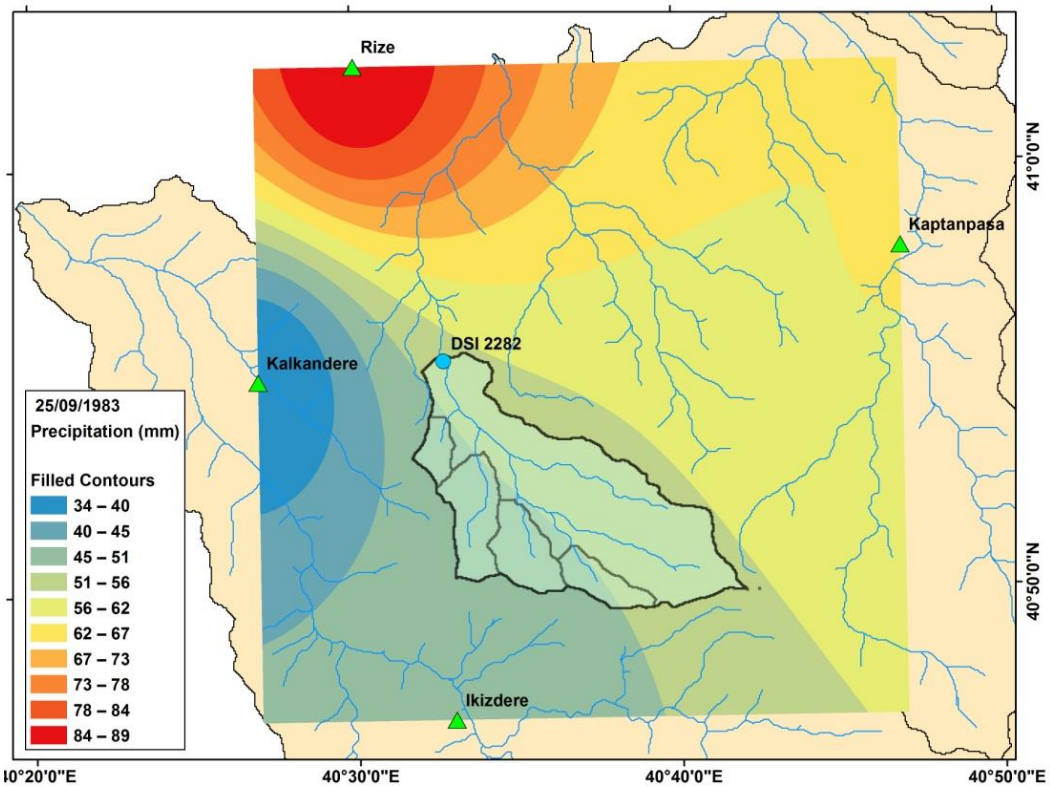

**Şekil 5.10 :** 25.09.1983 günü için izohiyet eğrileri.



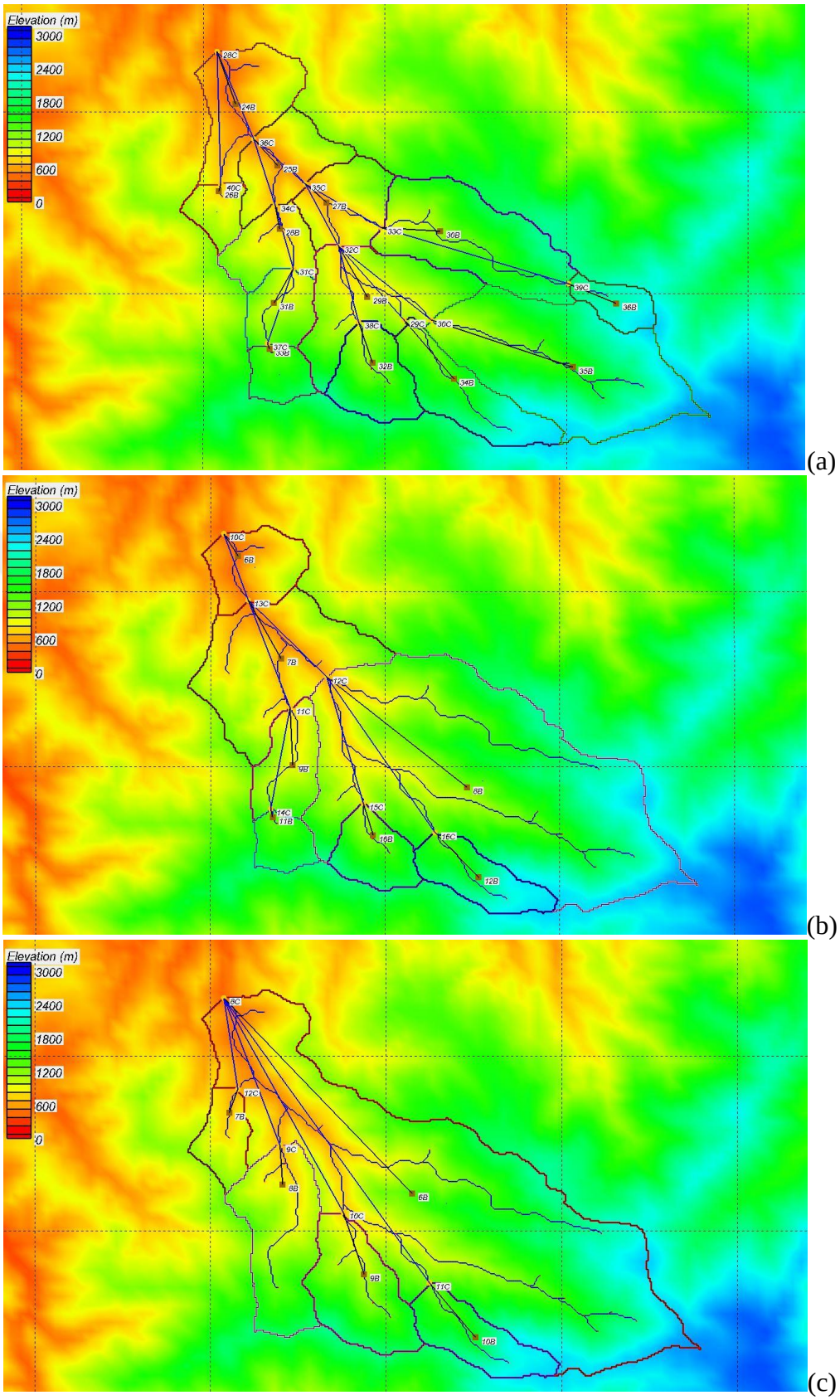

**Şekil 5.11 :** 17.06.1986 günü için alt havzalar.




**Şekil 5.12 :** 29.08.1984 günü için alt havzalar.




**Şekil 5.13 :** 25.09.1983 günü için alt havzalar.




**Şekil 5.14 :** Modelleme çalışmaları: (a)17/6/86. (b) 29/8/84. (c) 25/9/83.

Oluşturulan modellerde SCS BH metodu, 70-100 arasında değişen 7 farklı CN değeri için 3 güne ait olaylar simüle edilmiştir. Çalışmalarda toplam 21 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Her bir gün için elde edilen hidrograflara, bir önceki güne ait ortalama debi değerleri taban akışı olarak ilave edilmiştir. Elde edilen debi değerleri, 6 farklı değerlendirme kriteriyle birlikte Çizelge 5.10'da verilmiştir.

**Çizelge 5.10 :** İzohiyet eğrilerine göre yarı yayılı model sonuçları ($m^3/s$).

| Tarih | Ölçüm | Akış eğri numaraları | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **CN 70** | **CN 75** | **CN 80** | **CN 85** | **CN 90** | **CN 95** | **CN 100** |
| 17/06/1986 | 140 | 22.85 | 25.75 | 31.39 | 38.94 | 49.85 | 65.69 | 96.29 |
| 29/08/1984 | 59 | 4.19 | 4.53 | 4.92 | 5.65 | 7.25 | 11.65 | 30.48 |
| 25/09/1983 | 110 | 10.41 | 13.09 | 16.53 | 23.18 | 32.84 | 47.77 | 79.03 |
| $R^2$ | | 0.625 | 0.641 | 0.631 | 0.647 | 0.657 | 0.669 | 0.685 |
| R | | 0.791 | 0.801 | 0.794 | 0.804 | 0.810 | 0.818 | 0.828 |
| RMSE | | 116.19 | 114.17 | 111.25 | 106.13 | 98.67 | 86.72 | 60.34 |
| % RMSE | | 96.22 | 94.55 | 92.13 | 87.89 | 81.71 | 71.82 | 49.97 |
| MAE | | 109.52 | 107.69 | 104.98 | 100.22 | 93.20 | 81.50 | 54.03 |
| % MAE | | 90.70 | 89.18 | 86.94 | 83.00 | 77.18 | 67.50 | 44.74 |

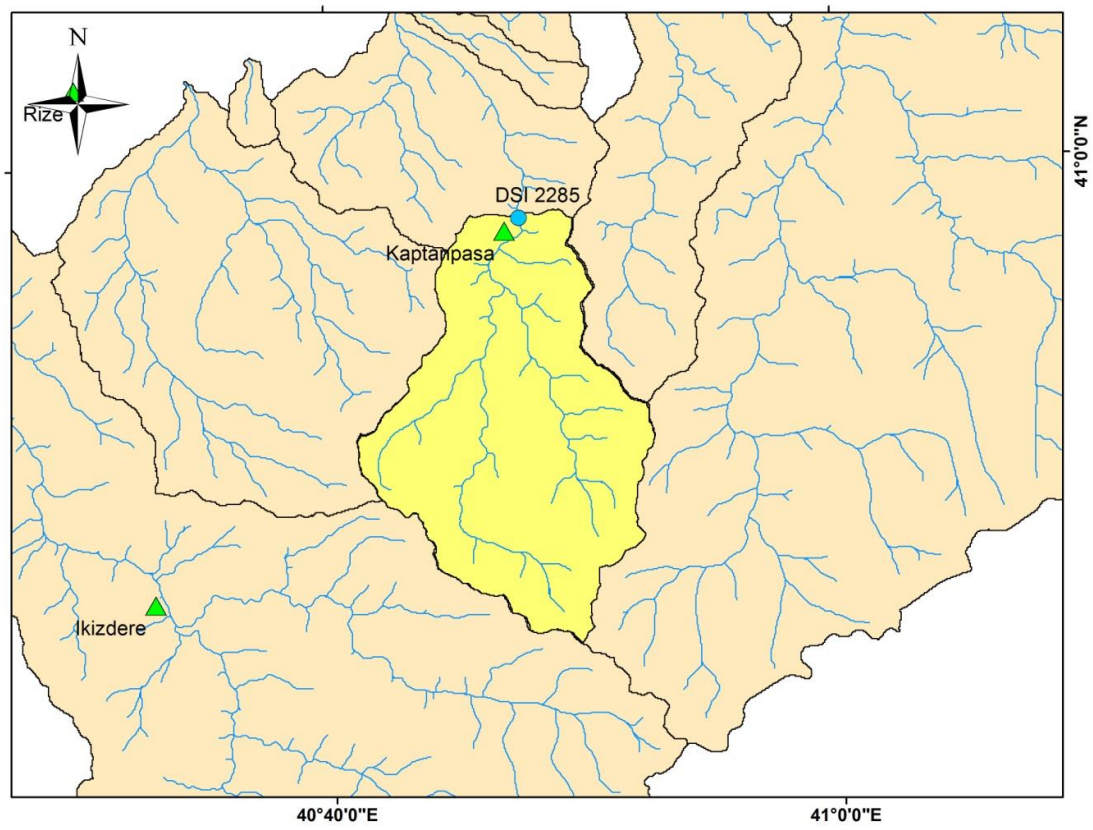
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, debilerde bir miktar yükselme olmasına rağmen, daha önceki çalışma sonuçlarına benzer şekilde, izohiyet eğrileri dikkate alınarak gerçekleştirilen yarı yayılı modelleme çalışmalarının da tahmin değerlerini iyileştirmediği görülmüştür.

Deniz etkisi altında dağlık bir bölge olan çalışma alanında, yağış istasyonlarının az sayıda olması ve konumlarının homojen dağılmaması nedeniyle, tahmin edilen akım değerleri yeterli sonuç vermemiştir. Eriş ve Ağıralioğlu (2017) Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yağışın yersel dağılımı üzerine yaptıkları incelemeler sonucu, mevcut YGİ'lerin bölgedeki yağış dağılımını temsil etmekte yetersiz olduğunu ve mevcut YGİ'lerle kurulan modellerin genel olarak olması gerekenden daha düşük yağış tahmini verdiğini belirtmişlerdir. Elde ettikleri yağış dağılımlarının kontrolü için, bölgedeki AGİ'lerin ortalama yıllık akımlarını kullanarak akış katsayıları tahmininde bulunmuşlardır. Çalışma sonucunda elde ettikleri yıllık bazlı akış katsayılarının önemli bir kısmı 1'den büyük çıkmıştır. Bu sonuç doğrultusunda çalışma bölgesi için doğru bir yağış dağılımı tespitinin doğrudan mevcut YGİler üzerinden kurulan modellerle mümkün olamayacağını belirtmişlerdir. Eriş ve Ağıralioğlu (2017) tarafından mevcut YGİ'ler kullanılarak elde edilen akış katsayılarının 1'den büyük

çıkması ile bu çalışmada elde edilen CN değerinin 100'ün üzerinde olması durumunda pik debilerin yakalanabileceği sonucu birbiriyle örtüşmektedir.

Eriş ve Ağıralioğlu (2017) çeşitli yöntemlerle mevcut YGİ'ler ile elde edilen yıllık yağış dağılımlarını düzeltme çalışmaları gerçekleştirerek 40 farklı AGİ üzerinde yeniden akış katsayıları hesaplamış ve bir AGİ (DSİ 2282) dışında sonuçlar 1'in altında çıkmıştır. Benzer şekilde, bu çalışmada da farklı yöntemler uygulanarak DSİ 2282 AGİ ile gerçekleştirilen kalibrasyon çalışmalarından uygun sonuç alınamamıştır.

DSİ 2282 AGİ kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalardan sonuç alınamaması üzerine, yağış alanında yakın bir konumda YGİ bulunan DSİ 2285 nolu Şenöz Deresi - Kaptanpaşa AGİ kullanılarak yıllık anlık maksimum akım değerlerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. DSİ 2285 nolu AGİ, 400 m kotunda olup, 231 km$^2$ yağış alanına sahiptir. Yağış alanı etrafında, günlük toplam yağış verisi bulunan Kaptanpaşa yağış gözlem istasyonu bulunmaktadır (Şekil 5.15). İstasyonlara ait gözlem aralığı bilgileri Çizelge 5.11'de verilmiştir.




**Şekil 5.15 :** DSİ 2285 nolu AGİ yağış alanı ve YGİ konumları.

**Çizelge 5.11 :** DSİ 2285 AGİ ve YGİ 1480 Gözlem istasyonları veri aralığı.

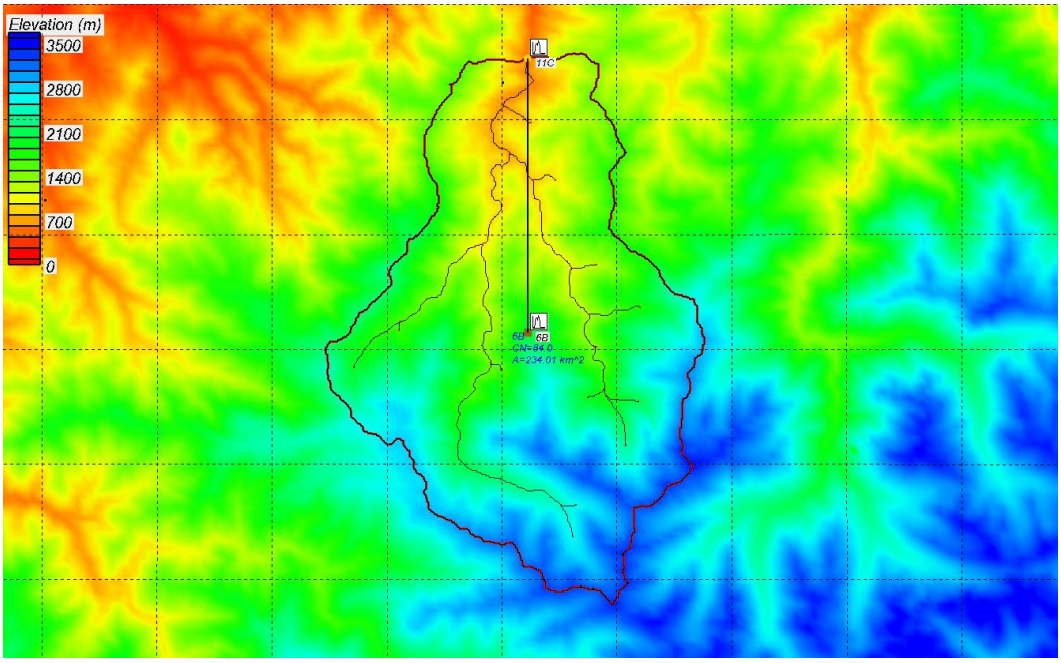
| No | İsim | Kot (m) | Gözlem aralığı | Veri türü |
|---|---|---|---|---|
| 2285 | DSİ 2285 | 290.0 | 1983 - 2015 | günlük ort ve yıllık anlık maks. akım |
| 1480 | Kaptanpaşa | 483.0 | 1965 - 1986 | günlük toplam yağış |

DSİ 2285 AGİ'de ölçülen yıllık anlık maksimum akış değerleri ve akışın oluştuğu günlerde YGİ'de ölçülen toplam yağış değerleri Çizelge 5.12'de verilmiştir. Çalışmada bazı günler veri eksikliği nedeniyle çalışmadan çıkarılmıştır. Veri eksikliği dışında, YGİ'de çok düşük yağış değerleri ölçülmesine rağmen, AGİ'de pik debinin oluştuğu günler de çalışmaya dahil edilmemiştir. Sonuç olarak 4 gün için akım tahmin çalışmaları yapılmıştır.

**Çizelge 5.12 :** DSİ 2285 AGİ'de maksimum akışın gözlemlendiği günler.

| Tarih | Debi ($m^3/s$) | Toplam yağış (mm) |
|---|---|---|
| | D2285 | Kaptanpaşa |
| 04/08/1988 | 94.00 | 56.77 |
| 22/09/1987 | 46.00 | 31.86 |
| 17/06/1986 | 91.00 | 57.40 |
| 27/05/1984 | 43.00 | 23.70 |

Yağış değerlerinin belirlenmesinden sonra, DSİ 2285 nolu AGİ için WMS ortamında toplu yapıda model oluşturulmuştur (Şekil 5.16).




**Şekil 5.16 :** DSİ 2285 AGİ için toplu model çalışması.

Oluşturulan modelde 4 farklı birim hidrograf (BH) metodu, 70-100 arasında değişen 16 farklı CN değeri için 4 güne ait olaylar simüle edilmiştir. DSİ-B tipi yağış dağılımının kullanıldığı çalışmalarda, toplam 256 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Her bir gün için elde edilen hidrograflara, bir önceki güne ait ortalama debi değerleri taban akışı olarak ilave edilmiştir. Elde edilen debi değerleri Çizelge 5.13 - 5.16'da verilmiştir.

**Çizelge 5.13 :** 04/08/1988 tarihi için elde edilen debi değerleri ($m^3/s$).

| CN | SCS | Snyder | Mockus | DSİ |
|---|---|---|---|---|
| 70 | 76.54 | 68.72 | 75.83 | 69.80 |
| 72 | 80.96 | 72.68 | 80.14 | 73.61 |
| 74 | 85.50 | 76.85 | 84.59 | 77.55 |
| 76 | 90.16 | 81.31 | 89.19 | 81.63 |
| 78 | **98.17** | 86.12 | **98.00** | 86.87 |
| 80 | 108.26 | 91.18 | 108.11 | **94.27** |
| 82 | 119.36 | **96.46** | 119.05 | 102.20 |
| 84 | 131.24 | 104.23 | 131.49 | 110.71 |
| 86 | 144.28 | 112.94 | 145.33 | 121.29 |
| 88 | 162.30 | 123.31 | 163.90 | 132.83 |
| 90 | 183.29 | 135.00 | 186.63 | 145.37 |
| 92 | 207.34 | 148.02 | 213.51 | 159.84 |
| 94 | 240.72 | 162.64 | 246.18 | 177.98 |
| 96 | 289.76 | 180.90 | 289.40 | 198.02 |
| 98 | 352.57 | 201.74 | 347.90 | 221.18 |
| 100 | 423.47 | 224.69 | 420.70 | 255.54 |

**Çizelge 5.14 :** 22/09/1987 tarihi için elde edilen debi değerleri ($m^3/s$).

| CN | SCS | Snyder | Mockus | DSİ |
|---|---|---|---|---|
| 70 | 10.23 | 8.65 | 10.26 | 8.86 |
| 72 | 12.58 | 10.38 | 12.55 | 10.69 |
| 74 | 15.09 | 12.30 | 15.01 | 12.78 |
| 76 | 17.80 | 14.41 | 17.64 | 15.05 |
| 78 | 20.70 | 16.84 | 20.45 | 17.51 |
| 80 | 23.82 | 19.54 | 23.45 | 20.17 |
| 82 | 27.14 | 22.51 | 26.68 | 23.04 |
| 84 | 30.69 | 25.78 | 30.16 | 26.12 |
| 86 | 35.63 | 29.52 | 35.59 | 29.65 |
| 88 | **43.97** | 33.68 | **43.88** | 35.73 |
| 90 | 53.70 | 39.14 | 53.76 | **42.69** |
| 92 | 65.54 | **46.83** | 66.37 | 51.76 |
| 94 | 83.40 | 56.89 | 85.16 | 62.66 |
| 96 | 106.75 | 69.27 | 111.42 | 76.96 |
| 98 | 152.27 | 86.10 | 151.93 | 95.90 |
| 100 | 219.51 | 107.95 | 217.95 | 125.27 |

**Çizelge 5.15 :** 17/06/1986 tarihi için elde edilen debi değerleri ($m^3/s$).

| CN | SCS | Snyder | Mockus | DSİ |
|---|---|---|---|---|
| 70 | 50.46 | 42.49 | 49.72 | 43.57 |
| 72 | 54.92 | 46.50 | 54.08 | 47.42 |
| 74 | 59.50 | 50.72 | 58.56 | 51.40 |
| 76 | 64.19 | 55.25 | 63.53 | 55.51 |
| 78 | 72.75 | 60.10 | 72.53 | 61.08 |
| 80 | 82.96 | 65.21 | 82.81 | 68.55 |
| 82 | **94.18** | 70.58 | **93.91** | 76.57 |
| 84 | 106.20 | 78.56 | 106.46 | 85.24 |
| 86 | 119.42 | **87.36** | 120.70 | **95.93** |
| 88 | 137.80 | 97.89 | 139.42 | 107.57 |
| 90 | 158.99 | 109.67 | 162.47 | 120.19 |
| 92 | 183.25 | 122.79 | 189.70 | 134.88 |
| 94 | 217.32 | 137.49 | 222.65 | 153.11 |
| 96 | 266.71 | 155.88 | 266.33 | 173.22 |
| 98 | 329.80 | 176.78 | 324.99 | 196.54 |
| 100 | 400.72 | 199.74 | 397.92 | 230.93 |

**Çizelge 5.16 :** 27/05/1984 tarihi için elde edilen debi değerleri ($m^3/s$).

| CN | SCS | Snyder | Mockus | DSİ |
|---|---|---|---|---|
| 70 | 29.60 | 29.27 | 29.58 | 29.25 |
| 72 | 30.66 | 30.01 | 30.66 | 30.06 |
| 74 | 31.91 | 31.07 | 31.91 | 31.19 |
| 76 | 33.58 | 32.36 | 33.60 | 32.51 |
| 78 | 35.62 | 33.87 | 35.59 | 34.14 |
| 80 | 37.86 | 35.59 | 37.78 | 36.01 |
| 82 | 40.34 | 37.60 | 40.18 | 38.09 |
| 84 | **43.06** | 39.93 | **42.80** | 40.41 |
| 86 | 46.05 | **42.60** | 45.71 | **42.99** |
| 88 | 49.33 | 45.64 | 48.92 | 45.84 |
| 90 | 55.31 | 49.27 | 55.22 | 50.05 |
| 92 | 63.98 | 53.73 | 63.94 | 56.29 |
| 94 | 75.13 | 60.97 | 75.76 | 64.67 |
| 96 | 93.26 | 71.11 | 94.98 | 75.55 |
| 98 | 125.81 | 85.18 | 126.90 | 92.12 |
| 100 | 189.09 | 106.10 | 187.93 | 118.98 |

Elde edilen debi değerleri incelendiğinde, farklı BH yöntemlerinin, 77 - 92 arasında farklı CN değerlerinde, DSİ 2285 AGİ'de ölçülen pik debi değerlerine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür (Çizelge 5.17).

Çalışma alanında yer alan yağış istasyonlarının, bölgedeki yerel yağışları temsil edebilecek sayı ve dağılımda bulunmaması, hidrolojik model kalibrasyon çalışmalarını olumsuz etkilemiştir. Az sayıda uygun ölçüm değeri ile gerçekleştirilen

çalışmalarda, farklı modelleme yaklaşımları, BH yöntemleri ve akış eğri numaraları ile birçok yağış akış simülasyon denemesi yapılmıştır.

**Çizelge 5.17 :** BH yöntemlerinin uygun sonuç verdiği CN değerleri.

| Tarih | SCS | Snyder | Mockus | DSİ |
|---|---|---|---|---|
| 04/08/1988 | 77 | 81 | 77 | 80 |
| 22/09/1987 | 88 | 92 | 88 | 91 |
| 17/06/1986 | 82 | 87 | 82 | 86 |
| 27/05/1984 | 84 | 86 | 84 | 86 |

Çalışma alanında önemli bir bölümün orman ve çay bahçeleri ile kaplı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, akış eğri numarasının 90 değerine yakın olması beklenmemektedir. Das ve diğ. (2014) Kuzey Hindistan'da yer alan dağlık bir havzada (Brahmaputra havzası), izleyici deneylerini kullanarak akış eğri numaralarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Yoğun bir bitki örtüsüyle kaplı, dağlık yapıdaki Brahmaputra havzasının nemli bir iklime sahip olup, yıllık 2300 mm yağış aldığını, ani taşkın ve toprak kayması gibi olayların sık olarak gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Brahmaputra havzası söz konusu özellikleriyle Rize'de yer alan havzalarla benzerlik göstermektedir. Das ve diğ. (2014) çalışmalarının sonucunda CN değerlerini, Rize bitki örtüsünde de yer alan çay bitkisi ile kaplı alanlarda 77, fundalık ile kaplı alanlarda 84, Alpin çayırlarıyla kaplı alanlarda 82, geniş yapraklı ormanlar içeren alanlarda ise 82 olarak elde etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları 30 yıllık meteorolojik veriyle doğrulamışlardır.

Kalibrasyon çalışmaları ve literatür araştırması sonucunda, nihai havza modelleme çalışmalarında, Rize bölgesine uygun CN değerleriyle sonuç veren SCS yönteminin kullanılması uygun görülmüştür.

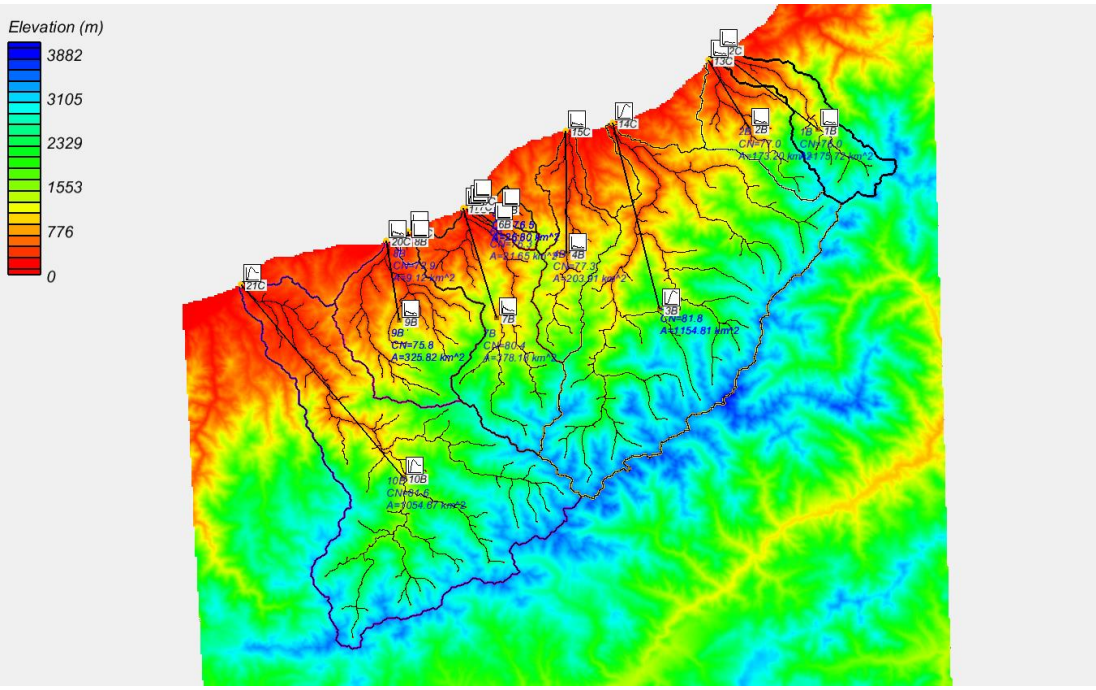
Bölüm 3'te ayrıntıları verilen CBS altlıklarıyla oluşturulan CN değerlerinin, kalibrasyon çalışmalarında yağış-akış modellerinden elde edilen CN değerleriyle uyum gösterdiği tespit edilmiştir. Nihai modellerde çalışma havzaları için CBS altlıklarıyla elde edilmiş olan CN değerleri kullanılmıştır (Çizelge 5.18).

**Çizelge 5.18 :** Havza modellerinde kullanılan CN değerleri.

| Havza No. | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | B9 | B10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CN | 76.05 | 76.97 | 81.85 | 77.25 | 76.5 | 76.35 | 80.39 | 72.91 | 75.82 | 81.57 |

## 5.2 Çalışma Havzalarının Taşkın Hidrografları

Hidrolojik model kalibrasyon çalışmaları sonucunda uygun görülen yöntem ve parametreler doğrultusunda, daha önce Bölüm 3.1'de konumları, Bölüm 4.3.3'te ise özellikleri verilen havzalar için hidrolojik modeller yapılandırılmıştır (Şekil 5.17). İklim modeli yağış çıktıları kullanılarak gerçekleştirilen yağış-akış simülasyonları sonucu, 10 farklı havzada mevcut durum (1961-1990) ve 3 farklı iklim değişikliği projeksiyonu için elde edilen taşkın pik debileri Çizelge 5.19'da, taşkın hidrografları ise Ek C ve Ek D'de verilmiştir.




**Şekil 5.17 :** Çalışma havzaları hidrolojik model yapıları.

**Çizelge 5.19 :** Taşkın pik debileri ($m^3/s$).

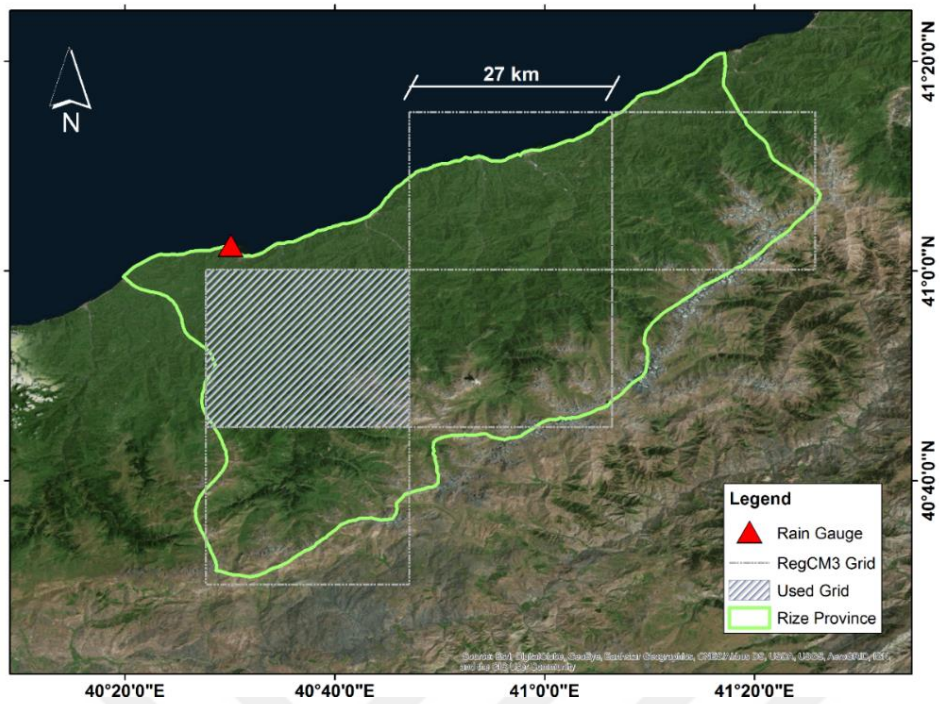
| Havza | 100 yıllık | | | | 500 yıllık | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1990 yılı | 2039 yılı | 2069 yılı | 2099 yılı | 1990 yılı | 2039 yılı | 2069 yılı | 2099 yılı |
| B1 | 324.9 | 158.2 | 121.8 | 203.6 | 454.8 | 223.5 | 151.4 | 311.7 |
| B2 | 330.7 | 162.7 | 126.1 | 209.5 | 462.7 | 229.5 | 155.9 | 317.6 |
| B3 | 2071.7 | 1110.2 | 907.0 | 1262.3 | 3124.2 | 1529.4 | 1155.4 | 1822.9 |
| B4 | 356.2 | 179.1 | 142.2 | 214.4 | 539.0 | 253.6 | 181.2 | 322.9 |
| B5 | 53.6 | 26.2 | 19.8 | 34.0 | 75.0 | 37.3 | 25.0 | 51.4 |
| B6 | 43.0 | 20.9 | 15.9 | 27.3 | 60.2 | 29.8 | 20.0 | 41.3 |
| B7 | 670.1 | 451.9 | 388.6 | 470.9 | 975.6 | 585.1 | 470.4 | 626.2 |
| B8 | 16.2 | 7.5 | 5.7 | 10.0 | 23.0 | 11.0 | 7.1 | 15.5 |
| B9 | 465.9 | 460.7 | 410.3 | 414.2 | 616.0 | 536.2 | 469.6 | 478.0 |
| B10 | 1449.2 | 1418.1 | 1301.4 | 1312.7 | 1875.8 | 1660.1 | 1475.4 | 1500.0 |

### 5.3 İklim Değişikliğinin Şiddet-Süre-Tekerrür Eğrilerine Etkisi

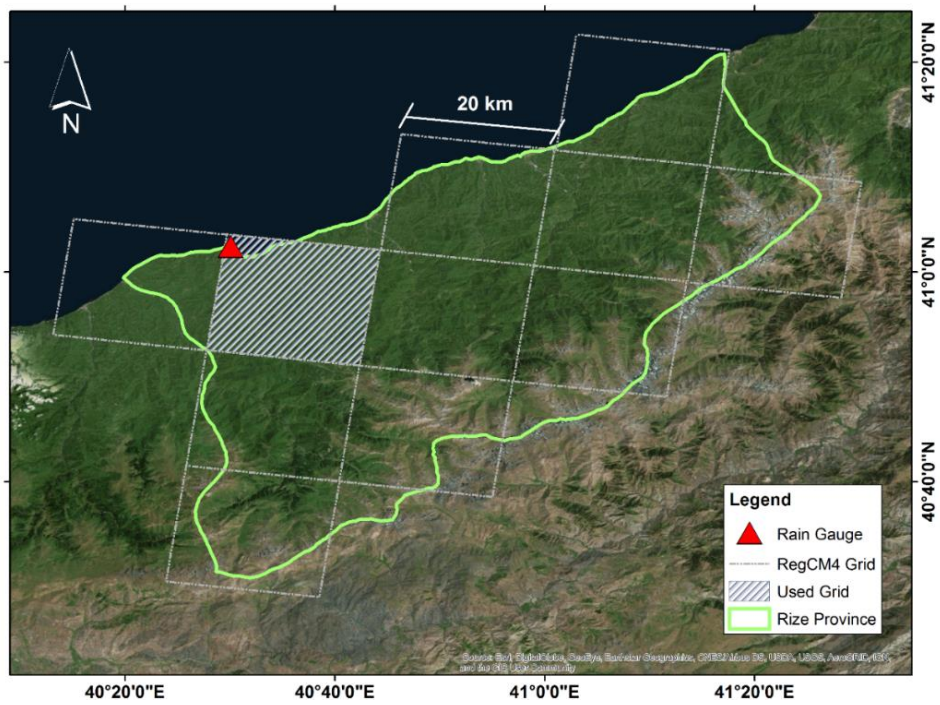
İklim değişikliğinin etkisiyle yağış ve sıcaklık karakteristikleri değişmektedir. Yağış karakteristiklerinin değişmesi yağış süreleri ve şiddetlerinin de değişmesine neden olabilmektedir. Yağış süre ve şiddetindeki değişimler mühendislik tasarımları için kullanılan standartların değiştirilmesini gerektirir. İklim değişikliğinin yağış şiddeti üzerine etkileri, farklı bölgelere ve farklı iklim modeli çıktılarına göre değişkenlik gösterebilmektedir. İklim değişikliği yağış şiddetinde artmaya neden olabileceği gibi, azalmaya da neden olabilir.

Bu çalışmada, 24 saatlik yağış süresi dikkate alınarak gerçekleştirilen çalışmalara ek olarak, Eşdeğer Kuantil Eşleştirme yöntemiyle, şiddet-süre-tekerrür (ŞST) eğrilerinin iklim değişikliği etkisinde değişimi analiz edilerek, gelecek zaman yağış şiddetleri güncellenmiştir. Çalışmada, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 4. ve 5. Değerlendirme Raporları kapsamında geliştirilen iki farklı yüksek miktarda sera gazı emisyon senaryosuna ait (SRES A2 ve RCP 8.5) projeksiyon yağış verileri kullanılmıştır. SRES A2 senaryosu için kullanılan veriler, ECHAM5 küresel modeli çıktılarının RegCM3 bölgesel modeli ile ölçeği küçültülmüş günlük toplam yağış verilerdir. RCP 8.5 senaryosu için kullanılan veriler ise, HADGEM2 küresel modeli çıktılarının RegCM4 bölgesel modeli ile ölçeği küçültülmüş günlük toplam yağış verilerdir. RegCM3 ve RegCM4 modellerinin üretmiş olduğu yağış verilerinin alan çözünürlüğü sırasıyla 27 km ve 20 km'dir. İklim modeli projeksiyon çıktıları ile ilgili ayrıntılı bilgiler Bozkurt ve diğ, (2012), Demircan ve diğ, (2014) ve Kahya ve diğ, (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda mevcuttur. Ölçüm verileri olarak Rize Meteoroloji İstasyonu'nda 5 dakika ile 24 saat arasında değişen standart süreler için ölçülmüş yağış verileri kullanılmıştır. Ölçülmüş yağış verilerinin zaman aralığı iklim modellerinin referans dönemleri ile eş zamanlı olabilmesi için 1961-2000 yılları arası olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan Rize meteoroloji istasyonu ile iki farklı iklim modelinin gridlerinin konumları Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da verilmiştir.

Çalışmada yağış şiddetleri, 14 farklı yağış süresi (5dk, 10dk, 15dk, 30dk, 1sa, 2sa, 3sa, 4sa, 5sa, 6sa, 8sa, 12sa, 18sa, 24sa) ve 6 farklı dönüş aralığı (2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl) için analiz edilmiştir. Tüm analizlerde, Kahya ve diğ (2015) tarafından çalışma alanındaki yağış verileri için önerilen GEV dağılımı kullanılmıştır.




**Şekil 5.18 :** Rize yağış istasyonu ile RegCM3 model gridlerinin konumları.

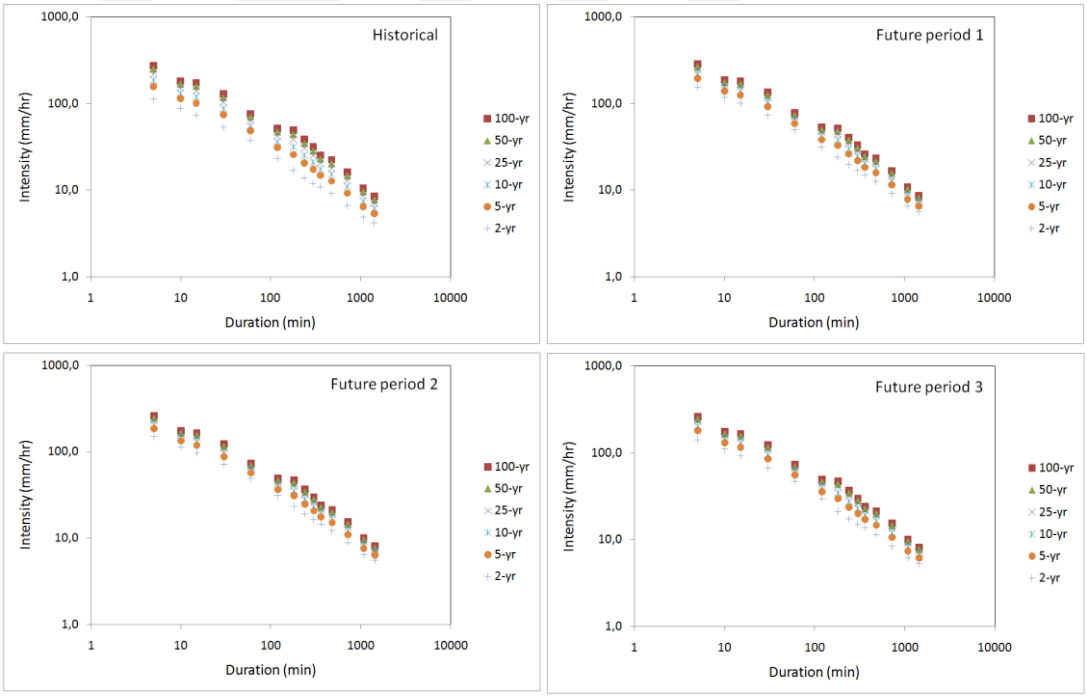



**Şekil 5.19 :** Rize yağış istasyonu ile RegCM4 model gridlerinin konumları.

İklim modeli yağış verileri ile gözlenmiş standart zaman yağış verileri arasında lineer ilişki kurulmuştur. Lineer ilişki $R^2$ değerleri 0.95-0.99 arasında değişmekte olup, her bir emisyon senaryosu verileri ile farklı yağış sürelerine ait zaman serileri arasında kurulan lineer denklemlerin katsayıları Çizelge 5.20'de verilmiştir.

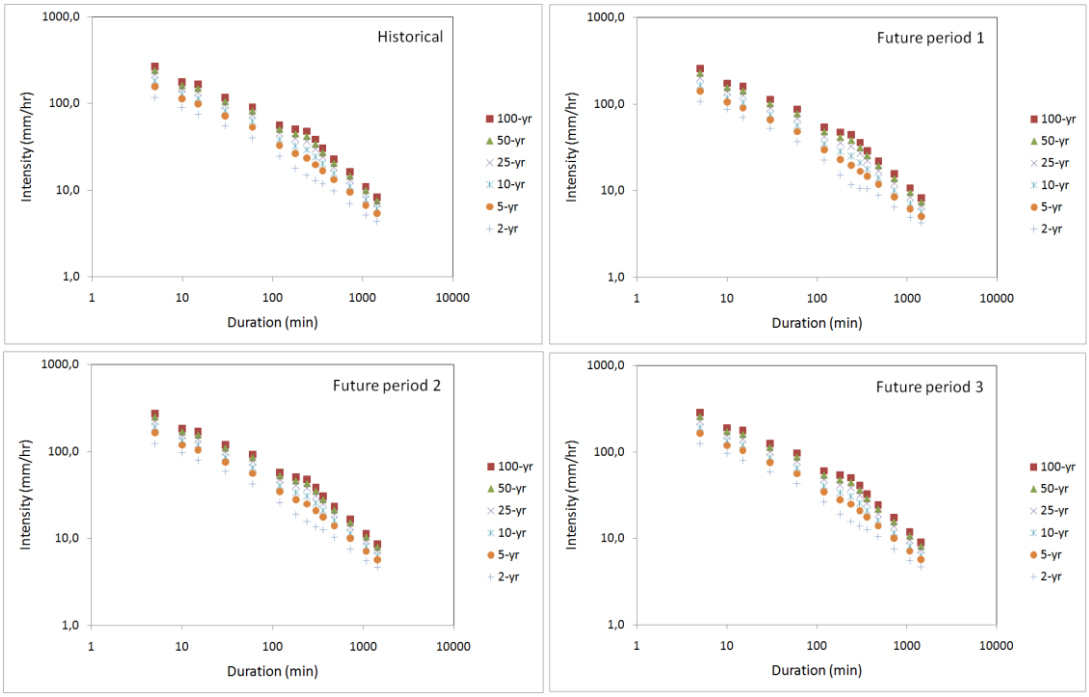
**Çizelge 5.20 :** Lineer denklem katsayıları

| Süre | SRES A2 | | RCP 8.5 | |
|---|---|---|---|---|
| | a | b | a | b |
| 5 dk | 0.190 | -4.751 | 0.198 | 1.570 |
| 10 dk | 0.224 | -2.098 | 0.226 | 5.729 |
| 15 dk | 0.356 | -8.198 | 0.356 | 4.067 |
| 30 dk | 0.537 | -13.380 | 0.480 | 7.908 |
| 1 s | 0.546 | -3.036 | 0.806 | 6.508 |
| 2 s | 0.796 | -12.380 | 0.999 | 7.996 |
| 3 s | 1.377 | -52.060 | 1.544 | -9.968 |
| 4 s | 1.408 | -49.730 | 2.082 | -26.830 |
| 5 s | 1.379 | -42.830 | 2.027 | -18.860 |
| 6 s | 1.216 | -24.990 | 1.754 | -1.023 |
| 8 s | 1.497 | -38.670 | 1.644 | 10.360 |
| 12 s | 1.611 | -40.260 | 1.735 | 13.140 |
| 18 s | 1.440 | -19.550 | 1.651 | 25.450 |
| 24 s | 1.441 | -6.616 | 1.479 | 43.740 |



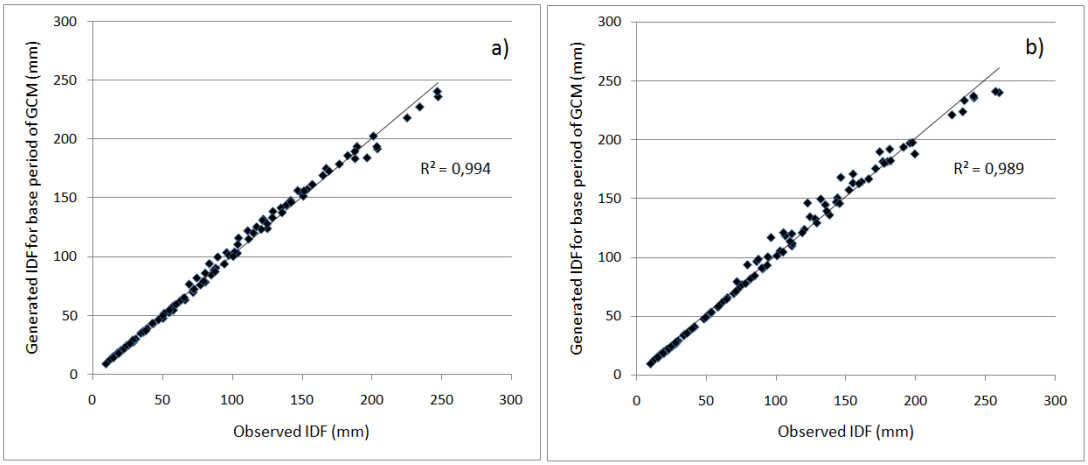

**Şekil 5.20 :** Referans ve gelecek zaman periyotları için ŞST eğrileri (SRS A2)

Çalışmanın sonucunda, iklim modeli referans periyodu ve 3 farklı gelecek zaman periyotları (2013-2039, 2040-2069 ve 2070-2099) için, iki farklı en kötü derecede emisyon senaryosu altında ŞST eğrileri elde edilmiştir. A2 ve RCP 8.5 senaryolarının referans periyotları sırasıyla 1961-1990 ve 1971-2000 yılları arasını kapsamaktadır. Mevcut durum (iklim modeli referans periyodu) ve iklim değişikliği etkisiyle gelecek dönem için güncellenmiş ŞST eğrileri Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'de verilmiştir.




**Şekil 5.21 :** Referans ve gelecek zaman periyotları için ŞST eğrileri (RCP 8.5)

Eşdeğer Kuantil Eşleştirme (EKE) metodunun tutarlılığının test edilmesi amacıyla, ölçülmüş verilerden elde edilen ŞST eğrileri ile iklim modeli referans dönemi için EKE metoduyla elde edilen ŞST eğrileri karşılaştırılmıştır. Aynı süre ve tekerrür aralığı için elde edilen şiddet değerleri eşleştirilerek elde edilen saçılma diyagramları incelendiğinde, EKE metodunun iklim modeli referans dönemi için ürettiği şiddet değerlerinin, gözlem verilerinden elde edilen şiddet değerleri ile yüksek oranda benzerlik gösterdiği görülmüştür (Şekil 5.22).




**Şekil 5.22 :** 24 saat altında süreler için ölçülmüş ve üretilen şiddet değerleri: (a) SRES A2. (b) RCP 8.5.

Gelecek zaman periyotları için elde edilen yağış şiddetlerinin, farklı süre ve tekerrür aralıklarında mevcut duruma göre değişimleri, SRES A2 ve RCP 8.5 emisyon senaryoları için ayrı ayrı verilmiştir (Çizelge 5.21-5.24).

**Çizelge 5.21 :** SRES A2 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetlerinin değişimi (100, 50, 25 yıl)

| Süre (dk) | Yağış şiddeti (mm/h) | | | | Referans periyoduna göre % değişim | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | referans | f1 | f2 | f3 | f1 | f2 | f3 |
| | | | 100-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 274.75 | 285.02 | 259.73 | 261.77 | 3.7% | -5.5% | -4.7% |
| 10 | 182.98 | 187.21 | 173.56 | 174.76 | 2.3% | -5.1% | -4.5% |
| 15 | 174.42 | 180.59 | 164.95 | 166.23 | 3.5% | -5.4% | -4.7% |
| 30 | 129.52 | 134.35 | 122.44 | 123.40 | 3.7% | -5.5% | -4.7% |
| 60 | 76.41 | 77.95 | 72.53 | 73.02 | 2.0% | -5.1% | -4.4% |
| 120 | 51.72 | 53.19 | 49.00 | 49.36 | 2.8% | -5.3% | -4.6% |
| 180 | 49.44 | 52.01 | 46.57 | 46.98 | 5.2% | -5.8% | -5.0% |
| 240 | 38.79 | 40.69 | 36.56 | 36.88 | 4.9% | -5.7% | -4.9% |
| 300 | 31.57 | 32.95 | 29.79 | 30.04 | 4.4% | -5.6% | -4.8% |
| 360 | 25.33 | 26.16 | 23.97 | 24.15 | 3.3% | -5.4% | -4.7% |
| 480 | 22.40 | 23.25 | 21.17 | 21.33 | 3.8% | -5.5% | -4.7% |
| 720 | 16.18 | 16.78 | 15.30 | 15.42 | 3.7% | -5.5% | -4.7% |
| 1080 | 10.55 | 10.84 | 10.00 | 10.07 | 2.7% | -5.2% | -4.5% |
| 1440 | 8.46 | 8.63 | 8.03 | 8.09 | 1.9% | -5.1% | -4.4% |
| | | | 50-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 248.51 | 266.97 | 245.94 | 246.56 | 7.4% | -1.0% | -0.8% |
| 10 | 167.51 | 177.36 | 166.02 | 166.40 | 5.9% | -0.9% | -0.7% |
| 15 | 158.03 | 169.41 | 156.42 | 156.81 | 7.2% | -1.0% | -0.8% |
| 30 | 117.16 | 125.85 | 115.95 | 116.24 | 7.4% | -1.0% | -0.8% |
| 60 | 70.13 | 74.03 | 69.53 | 69.68 | 5.6% | -0.9% | -0.6% |
| 120 | 47.14 | 50.18 | 46.70 | 46.81 | 6.4% | -0.9% | -0.7% |
| 180 | 44.15 | 48.16 | 43.63 | 43.75 | 9.1% | -1.2% | -0.9% |
| 240 | 34.74 | 37.76 | 34.33 | 34.43 | 8.7% | -1.2% | -0.9% |
| 300 | 28.39 | 30.71 | 28.08 | 28.15 | 8.2% | -1.1% | -0.8% |
| 360 | 22.99 | 24.59 | 22.77 | 22.82 | 6.9% | -1.0% | -0.7% |
| 480 | 20.24 | 21.76 | 20.03 | 20.08 | 7.5% | -1.0% | -0.8% |
| 720 | 14.63 | 15.72 | 14.48 | 14.52 | 7.4% | -1.0% | -0.8% |
| 1080 | 9.63 | 10.24 | 9.54 | 9.57 | 6.3% | -0.9% | -0.7% |
| 1440 | 7.77 | 8.20 | 7.70 | 7.72 | 5.5% | -0.8% | -0.6% |
| | | | 25-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 221.89 | 247.55 | 230.63 | 229.62 | 11.6% | 3.9% | 3.5% |
| 10 | 151.82 | 166.80 | 157.68 | 157.14 | 9.9% | 3.9% | 3.5% |
| 15 | 141.40 | 157.41 | 146.95 | 146.33 | 11.3% | 3.9% | 3.5% |
| 30 | 104.62 | 116.70 | 108.74 | 108.26 | 11.6% | 3.9% | 3.5% |
| 60 | 63.75 | 69.83 | 66.21 | 65.99 | 9.5% | 3.8% | 3.5% |
| 120 | 42.50 | 46.95 | 44.15 | 43.98 | 10.5% | 3.9% | 3.5% |
| 180 | 38.79 | 44.00 | 40.35 | 40.14 | 13.4% | 4.0% | 3.5% |
| 240 | 30.63 | 34.61 | 31.85 | 31.69 | 13.0% | 4.0% | 3.5% |
| 300 | 25.17 | 28.29 | 26.17 | 26.05 | 12.4% | 4.0% | 3.5% |
| 360 | 20.63 | 22.90 | 21.43 | 21.35 | 11.0% | 3.9% | 3.5% |
| 480 | 18.06 | 20.16 | 18.77 | 18.69 | 11.7% | 3.9% | 3.5% |
| 720 | 13.07 | 14.58 | 13.58 | 13.52 | 11.6% | 3.9% | 3.5% |
| 1080 | 8.70 | 9.59 | 9.04 | 9.00 | 10.3% | 3.9% | 3.5% |
| 1440 | 7.07 | 7.74 | 7.34 | 7.32 | 9.4% | 3.8% | 3.5% |

**Çizelge 5.22 :** SRES A2 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetlerinin değişimi (10, 5, 2 yıl)

| Süre (dk) | Yağış şiddeti (mm/h) | | | | Referans periyoduna göre % değişim | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mevcut | f1 | f2 | f3 | f1 | f2 | f3 |
| | | | 10-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 185.72 | 219.28 | 207.47 | 203.90 | 18.1% | 11.7% | 9.8% |
| 10 | 130.49 | 151.49 | 145.12 | 143.18 | 16.1% | 11.2% | 9.7% |
| 15 | 118.81 | 139.93 | 132.63 | 130.43 | 17.8% | 11.6% | 9.8% |
| 30 | 87.58 | 103.39 | 97.83 | 96.16 | 18.1% | 11.7% | 9.8% |
| 60 | 55.09 | 63.74 | 61.21 | 60.44 | 15.7% | 11.1% | 9.7% |
| 120 | 36.18 | 42.26 | 40.30 | 39.71 | 16.8% | 11.4% | 9.7% |
| 180 | 31.51 | 37.93 | 35.38 | 34.62 | 20.4% | 12.3% | 9.9% |
| 240 | 25.04 | 30.01 | 28.09 | 27.51 | 19.9% | 12.2% | 9.9% |
| 300 | 20.80 | 24.76 | 23.28 | 22.84 | 19.1% | 12.0% | 9.8% |
| 360 | 17.41 | 20.45 | 19.42 | 19.11 | 17.4% | 11.6% | 9.8% |
| 480 | 15.09 | 17.83 | 16.86 | 16.57 | 18.2% | 11.7% | 9.8% |
| 720 | 10.94 | 12.91 | 12.22 | 12.01 | 18.1% | 11.7% | 9.8% |
| 1080 | 7.43 | 8.66 | 8.27 | 8.15 | 16.6% | 11.3% | 9.7% |
| 1440 | 6.12 | 7.07 | 6.79 | 6.71 | 15.6% | 11.1% | 9.7% |
| | | | 5-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 156.85 | 195.07 | 186.84 | 180.92 | 24.4% | 19.1% | 15.3% |
| 10 | 113.48 | 138.44 | 134.00 | 130.79 | 22.0% | 18.1% | 15.3% |
| 15 | 100.78 | 124.98 | 119.89 | 116.23 | 24.0% | 19.0% | 15.3% |
| 30 | 73.98 | 92.00 | 88.12 | 85.33 | 24.4% | 19.1% | 15.3% |
| 60 | 48.18 | 58.56 | 56.80 | 55.52 | 21.5% | 17.9% | 15.2% |
| 120 | 31.14 | 38.25 | 36.89 | 35.90 | 22.8% | 18.4% | 15.3% |
| 180 | 25.70 | 32.72 | 30.94 | 29.67 | 27.3% | 20.4% | 15.5% |
| 240 | 20.58 | 26.07 | 24.72 | 23.76 | 26.6% | 20.1% | 15.4% |
| 300 | 17.30 | 21.73 | 20.71 | 19.97 | 25.6% | 19.7% | 15.4% |
| 360 | 14.84 | 18.35 | 17.63 | 17.12 | 23.6% | 18.8% | 15.3% |
| 480 | 12.72 | 15.84 | 15.16 | 14.67 | 24.5% | 19.2% | 15.4% |
| 720 | 9.24 | 11.49 | 11.00 | 10.66 | 24.4% | 19.1% | 15.3% |
| 1080 | 6.42 | 7.86 | 7.59 | 7.40 | 22.5% | 18.3% | 15.3% |
| 1440 | 5.36 | 6.50 | 6.31 | 6.17 | 21.4% | 17.8% | 15.2% |
| | | | 2-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 112.84 | 155.15 | 151.31 | 141.16 | 37.5% | 34.1% | 25.1% |
| 10 | 87.54 | 117.01 | 114.94 | 109.51 | 33.7% | 31.3% | 25.1% |
| 15 | 73.29 | 100.32 | 97.95 | 91.68 | 36.9% | 33.6% | 25.1% |
| 30 | 53.25 | 73.20 | 71.39 | 66.61 | 37.5% | 34.1% | 25.1% |
| 60 | 37.64 | 50.06 | 49.24 | 47.09 | 33.0% | 30.8% | 25.1% |
| 120 | 23.46 | 31.66 | 31.02 | 29.35 | 34.9% | 32.2% | 25.1% |
| 180 | 16.84 | 24.09 | 23.26 | 21.06 | 43.0% | 38.1% | 25.1% |
| 240 | 13.79 | 19.54 | 18.91 | 17.25 | 41.7% | 37.1% | 25.1% |
| 300 | 11.98 | 16.74 | 16.26 | 14.99 | 39.7% | 35.7% | 25.1% |
| 360 | 10.93 | 14.89 | 14.56 | 13.68 | 36.2% | 33.1% | 25.1% |
| 480 | 9.11 | 12.55 | 12.23 | 11.39 | 37.8% | 34.3% | 25.1% |
| 720 | 6.65 | 9.14 | 8.91 | 8.31 | 37.5% | 34.1% | 25.1% |
| 1080 | 4.87 | 6.56 | 6.43 | 6.10 | 34.5% | 31.9% | 25.1% |
| 1440 | 4.20 | 5.58 | 5.49 | 5.25 | 32.8% | 30.7% | 25.1% |

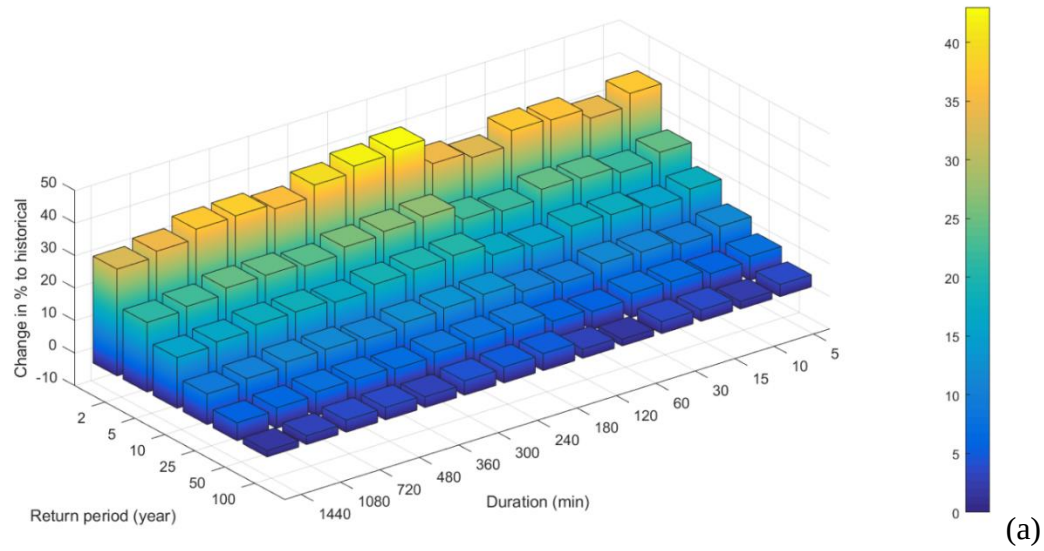
**Çizelge 5.23 :** RCP 8.5 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetlerinin değişimi (100, 50, 25 yıl)

| Süre (dk) | Yağış şiddeti (mm/h) | | | | Referans periyoduna göre % değişim | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mevcut | f1 | f2 | f3 | f1 | f2 | f3 |
| | | | 100-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 266.04 | 257.38 | 271.86 | 284.86 | -3.3% | 2.2% | 7.1% |
| 10 | 175.45 | 173.74 | 181.84 | 189.51 | -1.0% | 3.6% | 8.0% |
| 15 | 164.42 | 159.89 | 168.55 | 176.39 | -2.8% | 2.5% | 7.3% |
| 30 | 115.70 | 113.30 | 119.10 | 124.44 | -2.1% | 2.9% | 7.6% |
| 60 | 90.37 | 87.44 | 92.35 | 96.77 | -3.2% | 2.2% | 7.1% |
| 120 | 55.97 | 54.15 | 57.19 | 59.93 | -3.2% | 2.2% | 7.1% |
| 180 | 50.22 | 47.38 | 50.56 | 53.30 | -5.7% | 0.7% | 6.1% |
| 240 | 47.45 | 44.15 | 47.39 | 50.11 | -6.9% | -0.1% | 5.6% |
| 300 | 38.41 | 36.02 | 38.53 | 40.67 | -6.2% | 0.3% | 5.9% |
| 360 | 30.24 | 28.85 | 30.65 | 32.22 | -4.6% | 1.3% | 6.5% |
| 480 | 22.68 | 21.88 | 23.14 | 24.26 | -3.5% | 2.0% | 7.0% |
| 720 | 16.14 | 15.60 | 16.49 | 17.28 | -3.3% | 2.2% | 7.1% |
| 1080 | 10.96 | 10.71 | 11.27 | 11.78 | -2.2% | 2.9% | 7.5% |
| 1440 | 8.23 | 8.19 | 8.56 | 8.91 | -0.5% | 3.9% | 8.2% |
| | | | 50-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 241.29 | 227.65 | 248.09 | 256.20 | -5.7% | 2.8% | 6.2% |
| 10 | 161.33 | 155.33 | 167.22 | 171.93 | -3.7% | 3.7% | 6.6% |
| 15 | 149.59 | 141.79 | 154.09 | 158.96 | -5.2% | 3.0% | 6.3% |
| 30 | 105.69 | 100.81 | 109.14 | 112.44 | -4.6% | 3.3% | 6.4% |
| 60 | 81.97 | 77.35 | 84.29 | 87.04 | -5.6% | 2.8% | 6.2% |
| 120 | 50.76 | 47.90 | 52.20 | 53.90 | -5.6% | 2.8% | 6.2% |
| 180 | 44.86 | 41.34 | 45.71 | 47.44 | -7.8% | 1.9% | 5.7% |
| 240 | 42.02 | 38.21 | 42.61 | 44.34 | -9.1% | 1.4% | 5.5% |
| 300 | 34.18 | 31.32 | 34.76 | 36.11 | -8.4% | 1.7% | 5.6% |
| 360 | 27.20 | 25.33 | 27.83 | 28.81 | -6.9% | 2.3% | 5.9% |
| 480 | 20.53 | 19.33 | 21.09 | 21.79 | -5.9% | 2.7% | 6.1% |
| 720 | 14.63 | 13.80 | 15.04 | 15.53 | -5.7% | 2.8% | 6.2% |
| 1080 | 10.00 | 9.53 | 10.32 | 10.64 | -4.7% | 3.2% | 6.4% |
| 1440 | 7.59 | 7.34 | 7.88 | 8.10 | -3.3% | 3.8% | 6.6% |
| | | | 25-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 216.39 | 199.85 | 223.90 | 228.25 | -7.6% | 3.5% | 5.5% |
| 10 | 147.12 | 138.63 | 152.68 | 155.16 | -5.8% | 3.8% | 5.5% |
| 15 | 134.67 | 124.96 | 139.44 | 142.04 | -7.2% | 3.5% | 5.5% |
| 30 | 95.64 | 89.29 | 99.11 | 100.87 | -6.6% | 3.6% | 5.5% |
| 60 | 73.52 | 67.92 | 76.07 | 77.55 | -7.6% | 3.5% | 5.5% |
| 120 | 45.53 | 42.05 | 47.11 | 48.02 | -7.6% | 3.5% | 5.5% |
| 180 | 39.47 | 35.56 | 40.69 | 41.63 | -9.9% | 3.1% | 5.5% |
| 240 | 36.57 | 32.47 | 37.61 | 38.56 | -11.2% | 2.9% | 5.4% |
| 300 | 29.94 | 26.81 | 30.83 | 31.57 | -10.4% | 3.0% | 5.5% |
| 360 | 24.14 | 21.99 | 24.92 | 25.46 | -8.9% | 3.3% | 5.5% |
| 480 | 18.38 | 16.94 | 19.01 | 19.39 | -7.9% | 3.4% | 5.5% |
| 720 | 13.12 | 12.11 | 13.57 | 13.83 | -7.7% | 3.5% | 5.5% |
| 1080 | 9.04 | 8.43 | 9.37 | 9.54 | -6.8% | 3.6% | 5.5% |
| 1440 | 6.95 | 6.57 | 7.21 | 7.33 | -5.4% | 3.8% | 5.5% |

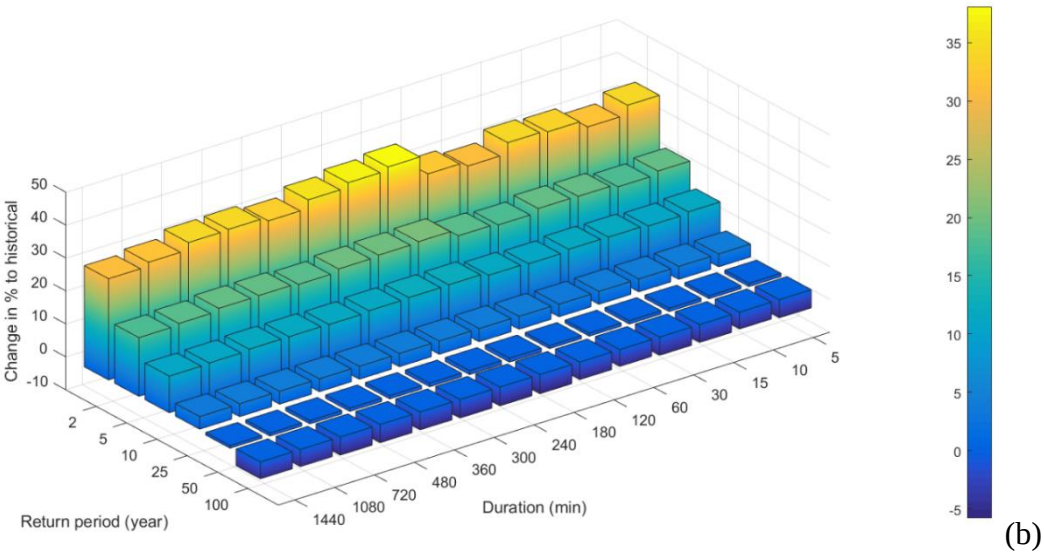
**Çizelge 5.24 :** RCP 8.5 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetlerinin değişimi (10, 5, 2 yıl)

| Süre (dk) | Yağış şiddeti (mm/h) | | | | Referans periyoduna göre % değişim | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mevcut | f1 | f2 | f3 | f1 | f2 | f3 |
| | | | 10-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 182.91 | 165.52 | 190.89 | 191.98 | -9.5% | 4.4% | 5.0% |
| 10 | 128.01 | 118.72 | 133.37 | 133.97 | -7.3% | 4.2% | 4.7% |
| 15 | 114.60 | 104.32 | 119.56 | 120.20 | -9.0% | 4.3% | 4.9% |
| 30 | 82.11 | 75.31 | 85.62 | 86.05 | -8.3% | 4.3% | 4.8% |
| 60 | 62.16 | 56.27 | 64.88 | 65.25 | -9.5% | 4.4% | 5.0% |
| 120 | 38.49 | 34.84 | 40.17 | 40.40 | -9.5% | 4.4% | 5.0% |
| 180 | 32.22 | 28.23 | 33.68 | 33.92 | -12.4% | 4.5% | 5.3% |
| 240 | 29.23 | 25.09 | 30.59 | 30.84 | -14.2% | 4.6% | 5.5% |
| 300 | 24.22 | 21.04 | 25.33 | 25.52 | -13.1% | 4.6% | 5.4% |
| 360 | 20.02 | 17.80 | 20.91 | 21.04 | -11.1% | 4.5% | 5.1% |
| 480 | 15.49 | 13.97 | 16.16 | 16.26 | -9.8% | 4.4% | 5.0% |
| 720 | 11.08 | 10.02 | 11.56 | 11.63 | -9.6% | 4.4% | 5.0% |
| 1080 | 7.75 | 7.10 | 8.08 | 8.12 | -8.4% | 4.3% | 4.8% |
| 1440 | 6.08 | 5.66 | 6.33 | 6.36 | -6.8% | 4.1% | 4.6% |
| | | | 5-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 156.47 | 140.70 | 164.44 | 164.38 | -10.1% | 5.1% | 5.1% |
| 10 | 112.92 | 104.85 | 118.34 | 118.29 | -7.1% | 4.8% | 4.8% |
| 15 | 98.75 | 89.50 | 103.71 | 103.68 | -9.4% | 5.0% | 5.0% |
| 30 | 71.42 | 65.38 | 74.95 | 74.92 | -8.5% | 4.9% | 4.9% |
| 60 | 53.19 | 47.85 | 55.90 | 55.88 | -10.0% | 5.1% | 5.1% |
| 120 | 32.93 | 29.62 | 34.61 | 34.60 | -10.1% | 5.1% | 5.1% |
| 180 | 26.49 | 22.77 | 27.93 | 27.93 | -14.0% | 5.5% | 5.4% |
| 240 | 23.44 | 19.54 | 24.77 | 24.77 | -16.6% | 5.7% | 5.7% |
| 300 | 19.71 | 16.73 | 20.80 | 20.80 | -15.1% | 5.6% | 5.5% |
| 360 | 16.76 | 14.72 | 17.65 | 17.64 | -12.2% | 5.3% | 5.3% |
| 480 | 13.20 | 11.82 | 13.88 | 13.87 | -10.4% | 5.1% | 5.1% |
| 720 | 9.47 | 8.51 | 9.95 | 9.95 | -10.2% | 5.1% | 5.1% |
| 1080 | 6.73 | 6.15 | 7.06 | 7.06 | -8.6% | 5.0% | 4.9% |
| 1440 | 5.39 | 5.04 | 5.65 | 5.65 | -6.6% | 4.7% | 4.7% |
| | | | 2-yıl dönüş aralığı | | | | |
| 5 | 116.62 | 106.77 | 123.93 | 124.47 | -8.4% | 6.3% | 6.7% |
| 10 | 90.18 | 86.64 | 96.02 | 96.29 | -3.9% | 6.5% | 6.8% |
| 15 | 74.87 | 69.40 | 79.60 | 79.92 | -7.3% | 6.3% | 6.7% |
| 30 | 55.33 | 52.06 | 58.86 | 59.06 | -5.9% | 6.4% | 6.8% |
| 60 | 39.68 | 36.35 | 42.17 | 42.35 | -8.4% | 6.3% | 6.7% |
| 120 | 24.55 | 22.49 | 26.09 | 26.21 | -8.4% | 6.3% | 6.7% |
| 180 | 17.86 | 15.08 | 18.92 | 19.05 | -15.6% | 5.9% | 6.7% |
| 240 | 14.71 | 11.61 | 15.55 | 15.69 | -21.1% | 5.7% | 6.6% |
| 300 | 12.91 | 10.62 | 13.67 | 13.77 | -17.7% | 5.8% | 6.7% |
| 360 | 11.86 | 10.43 | 12.58 | 12.65 | -12.1% | 6.1% | 6.7% |
| 480 | 9.75 | 8.87 | 10.36 | 10.41 | -9.0% | 6.2% | 6.7% |
| 720 | 7.05 | 6.44 | 7.49 | 7.52 | -8.6% | 6.3% | 6.7% |
| 1080 | 5.19 | 4.87 | 5.52 | 5.54 | -6.2% | 6.4% | 6.7% |
| 1440 | 4.36 | 4.22 | 4.64 | 4.65 | -3.2% | 6.5% | 6.8% |

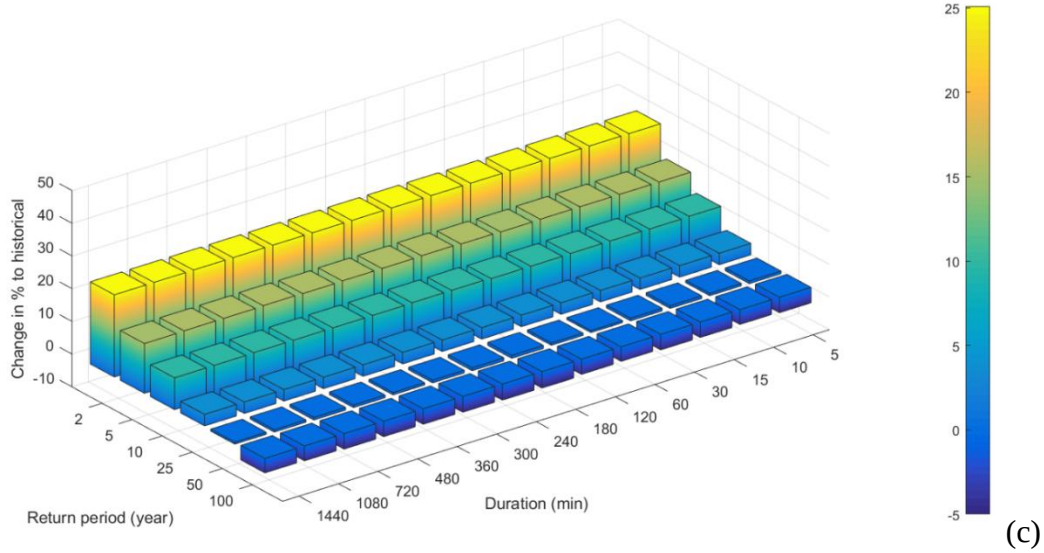
İklim değişikliği etkisi altında gelecek zaman periyotları için elde edilen yağış şiddetlerinin, farklı süre ve tekerrür aralıklarında mevcut duruma göre değişimleri Şekil 5.23 ve 5.24'te sütun grafikler halinde ayrıca sunulmuştur.




(a)

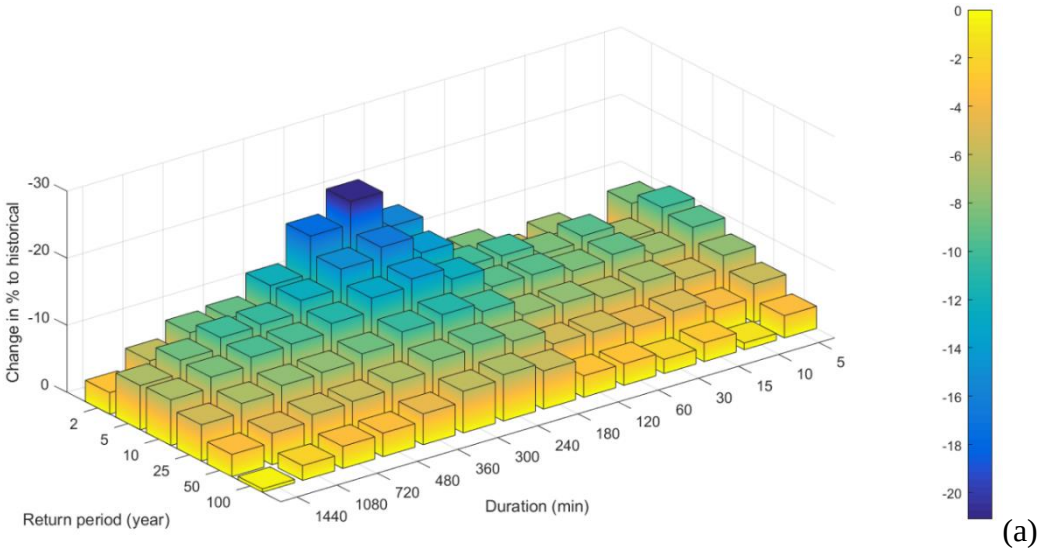



(b)

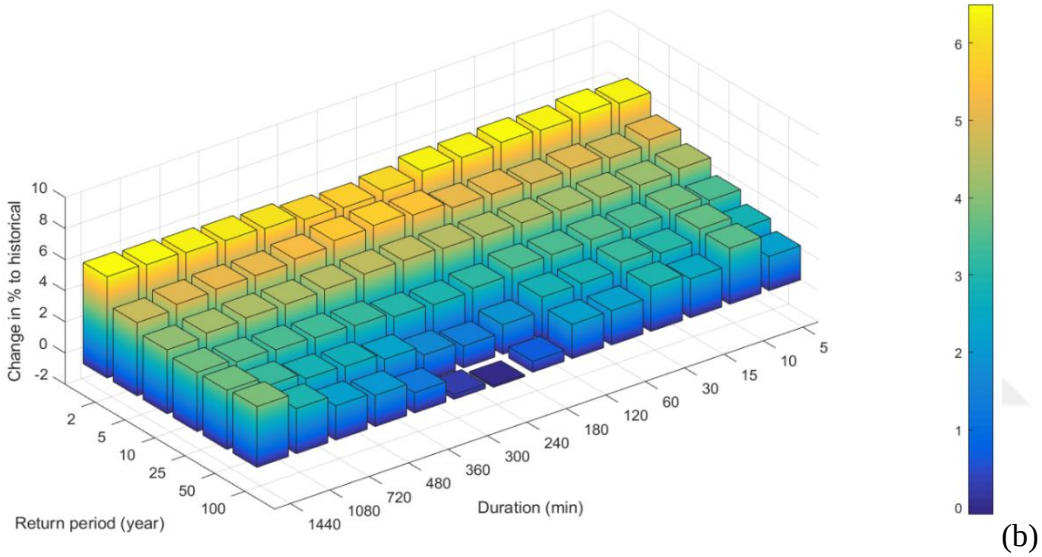



(c)

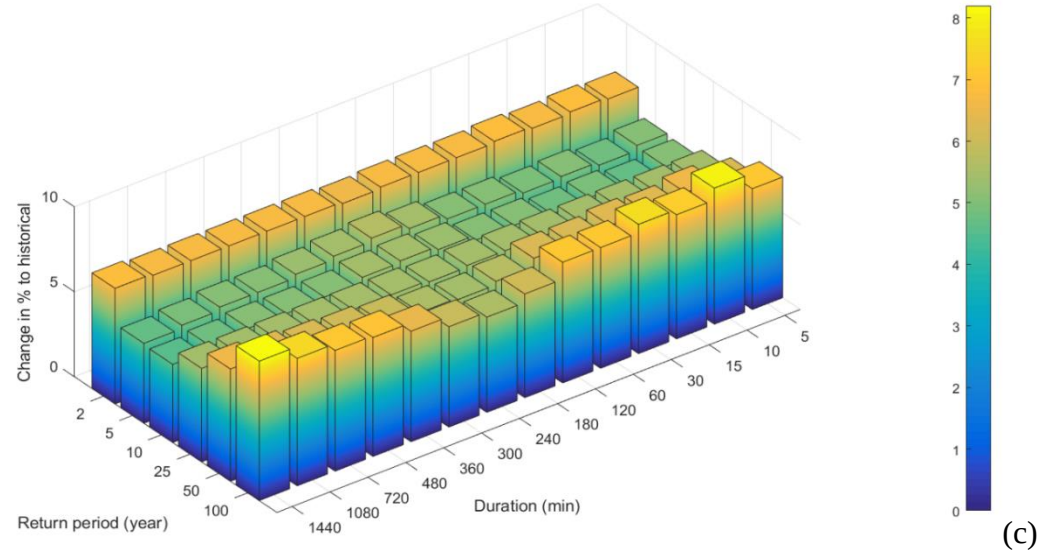
**Şekil 5.23 :** SRES A2 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetindeki % değişimler: (a) 2013-2039. (b) 2040-2069. (c) 2070-2099.




(a)




(b)



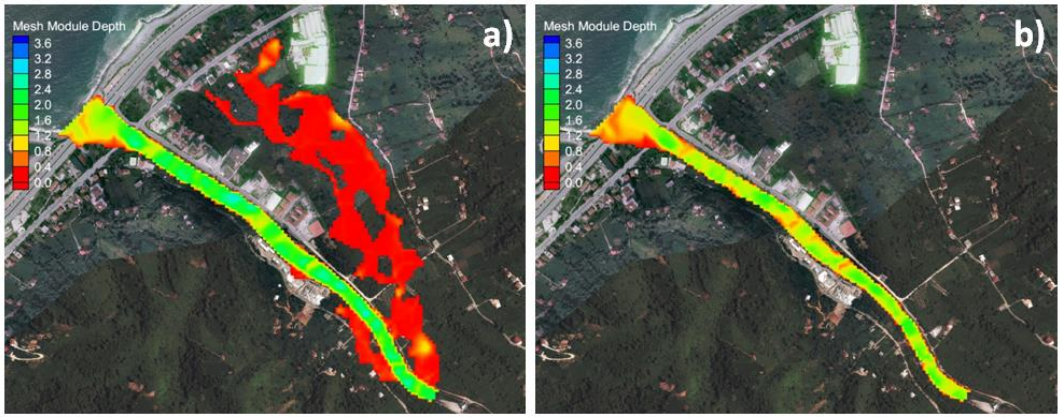

(c)

**Şekil 5.24 :** RCP 8.5 senaryosu altında gelecek zaman periyotlarında yağış şiddetindeki % değişimler: (a) 2013-2039. (b) 2040-2069. (c) 2070-2099.

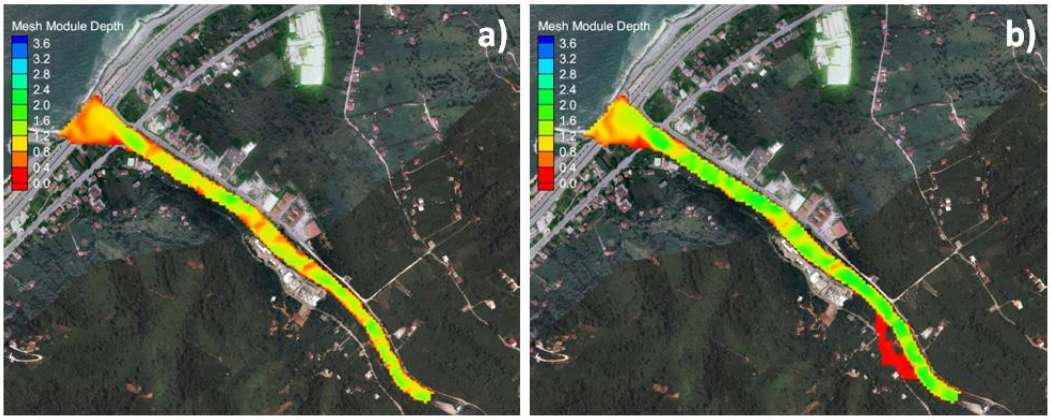
## 5.4 Taşkın Haritalarının Elde Edilmesi

Hidrolojik modelleme uygulamalarından elde edilen hidrograflar, havza çıkışlarında 10m ağ çözünürlüğü ile yapılandırılan 2B taşkın modellerinde girdi olarak kullanılmıştır. Zamanla değişken tanımlanan debi değerleri kullanılarak, çalışma alanlarında 30 saat süreli simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

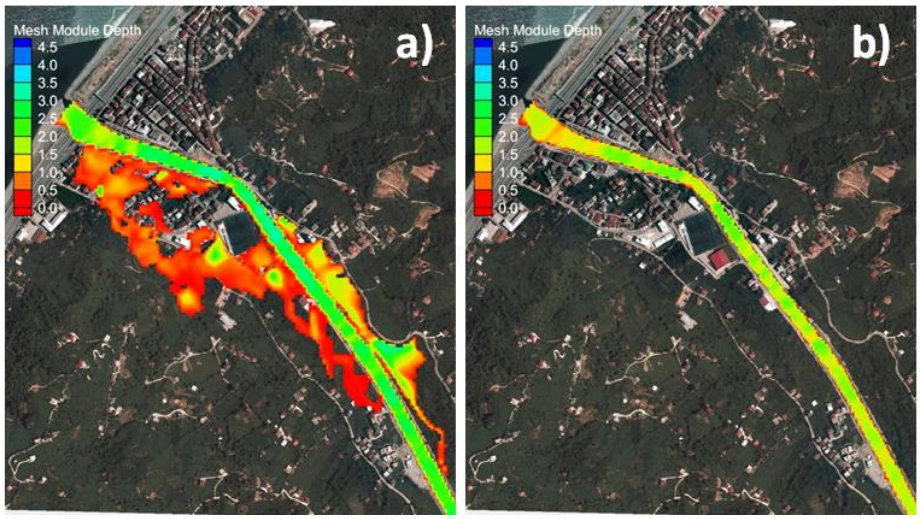
Taşkın modelleme çalışmaları sonucunda zamana bağlı su derinlikleri, su yüzeyi kotları ve akış hızları ile zamandan bağımsız olarak maksimum derinlik, seviye ve hız değerleri, 100 ve 500 yıllık dönüş aralıkları için elde edilmiştir. 100 yıllık maksimum taşkın sınırları ve su derinlikleri Çağlayan Ir., Tahiroğlu Ir., Fırtına D., Taşlı Dere ve İyidere için sırasıyla Şekil 5.25-5.34'te verilmiştir. Hemşin ve Büyük Çayı için 100 yıllık maksimum taşkın sınırları ve su derinlikleri ise Ek E'de verilmiştir. 100 yıllık maksimum su hızları ile 500 yıllık maksimum su derinlikleri ve taşkın sınırları ise Ek F ve Ek G'de verilmiştir.



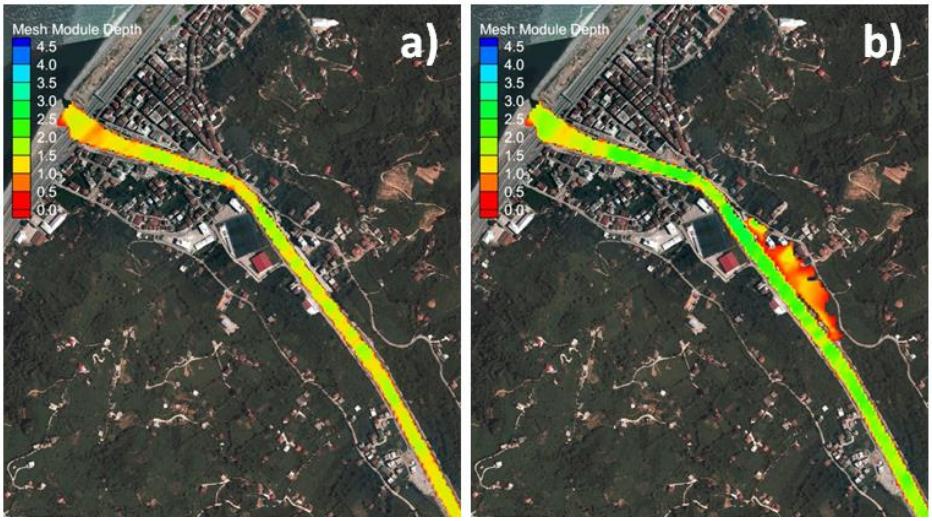

**Şekil 5.25 :** Çağlayan Ir. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.



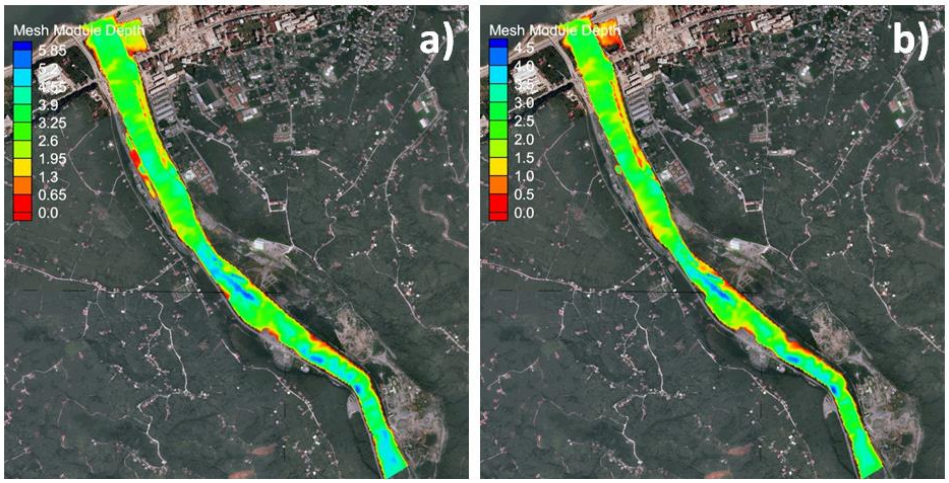

**Şekil 5.26 :** Çağlayan Ir. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2099 yılı.



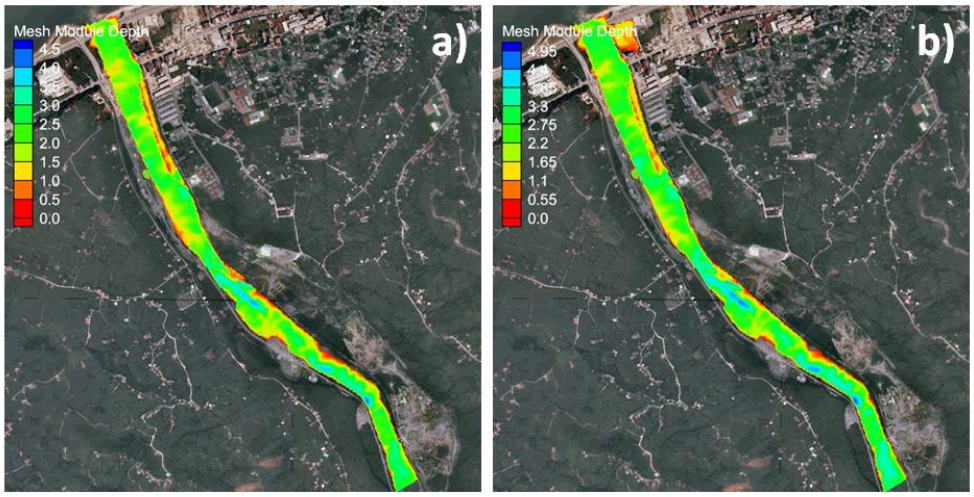

**Şekil 5.27 :** Tahiroğlu Ir. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.



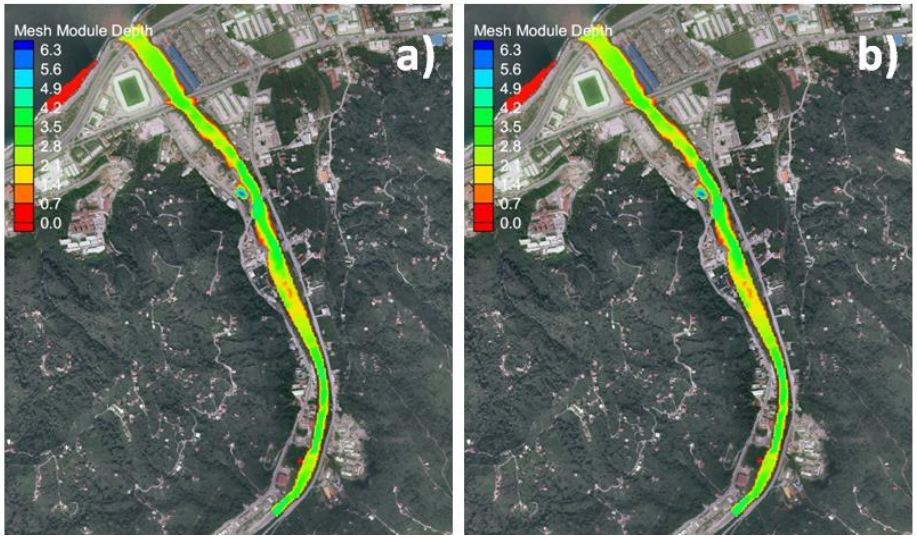

**Şekil 5.28 :** Tahiroğlu Ir. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.



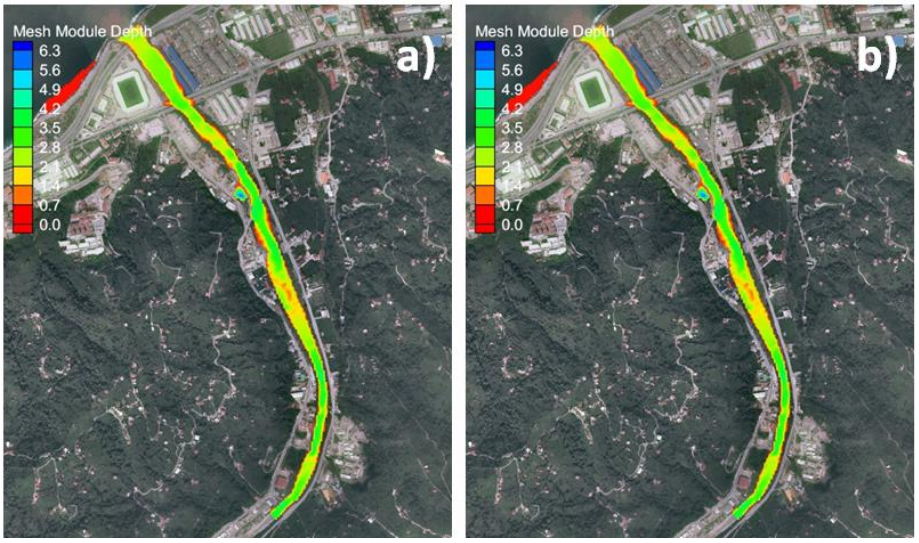

**Şekil 5.29 :** Fırtına D.100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.



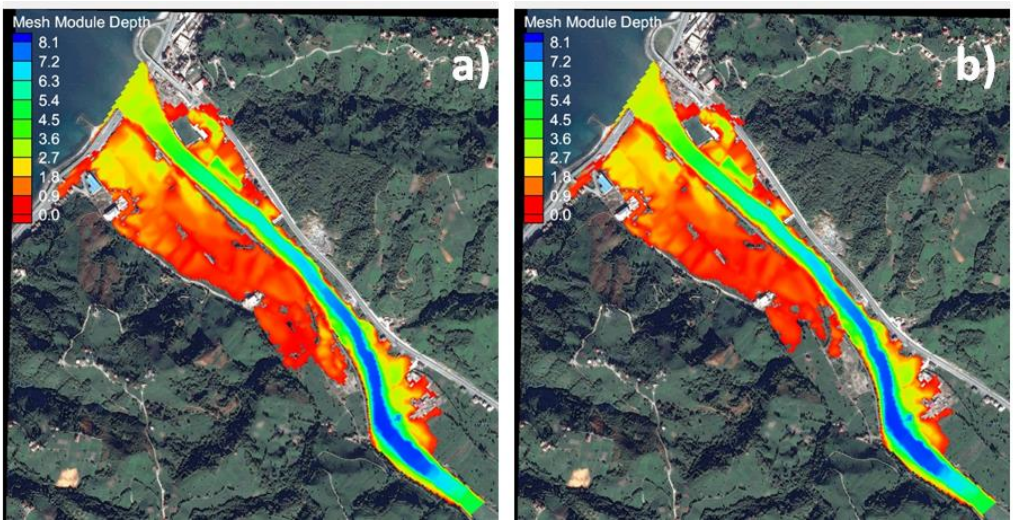

**Şekil 5.30 :** Fırtına D. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.



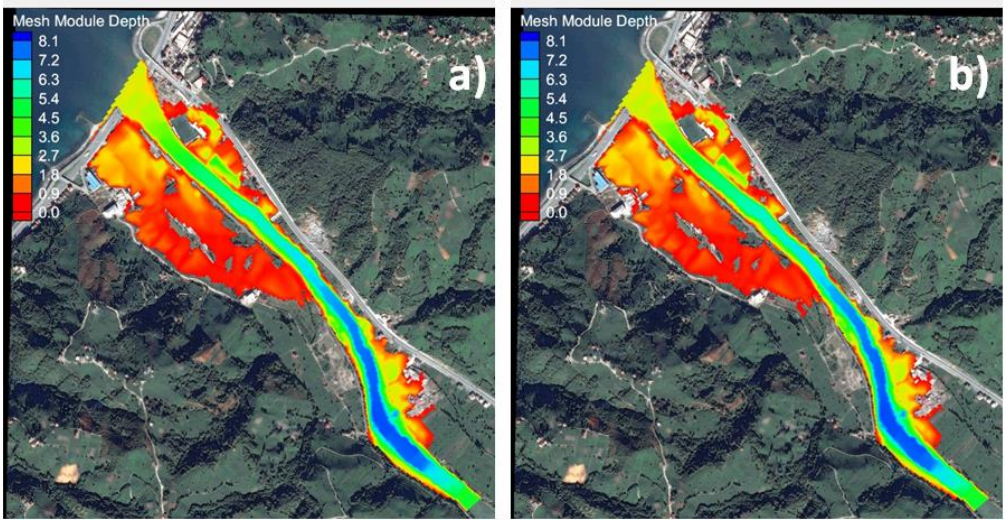

**Şekil 5.31 :** Taşlı Dere 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.




**Şekil 5.32 :** Taşlı Dere 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.

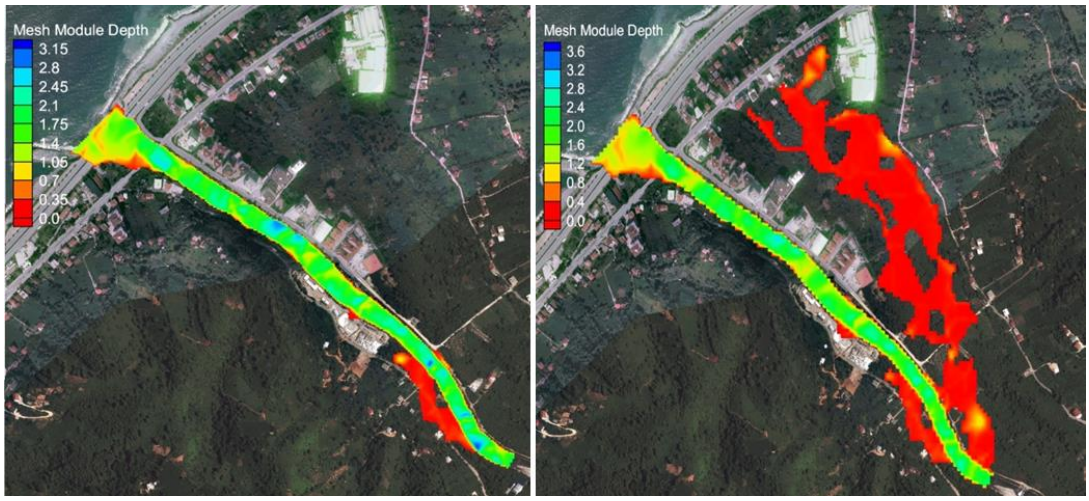



**Şekil 5.33 :** İyidere 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.

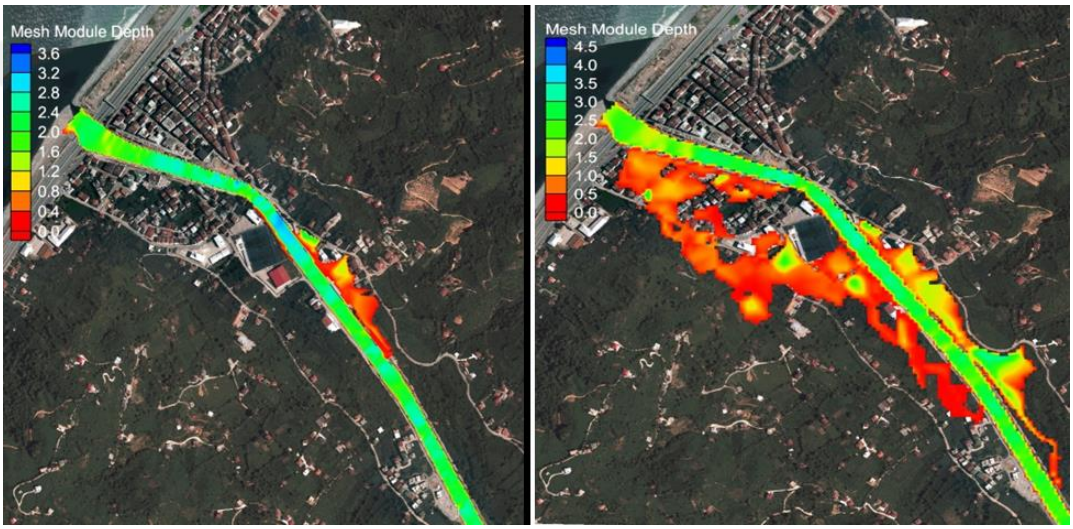



**Şekil 5.34 :** İyidere 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.

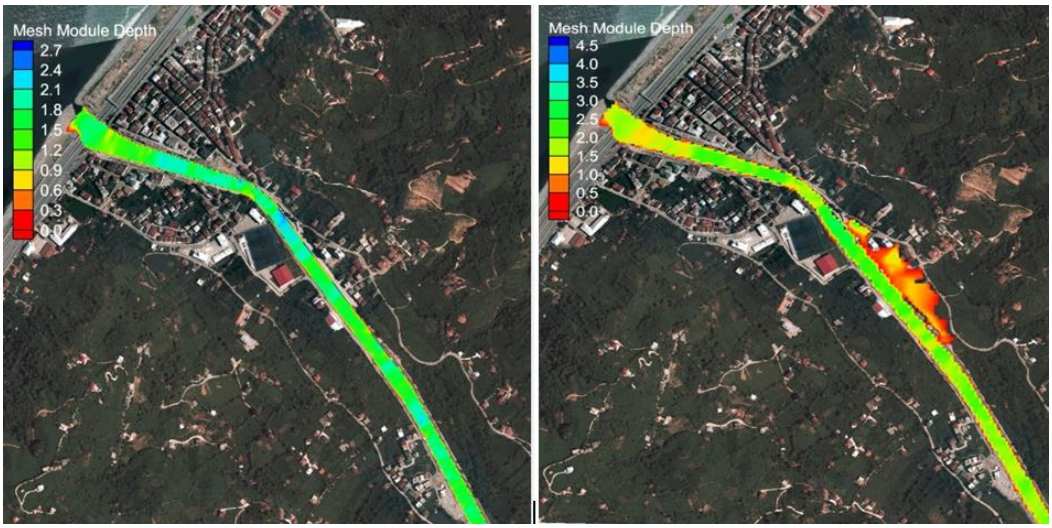
10m ağ çözünürlüğünde çalışılan 100 yıllık taşkın senaryolarından, ana kanaldan taşma meydana gelen senaryolar, taşkın sınırlarına göre modelleme alanı küçültülüp, çözünürlük 5 m'ye arttırılarak yeniden modellenmiş ve grid çözünürlüğünün model sonuçlarına etkisi görülmüştür. Ağ çözünürlüğünün artması ile topografya daha hassas tanımlanabildiğinden, kimi senaryolarda taşkın sınırlarında değişimler meydana gelmiştir. Sonuçlarda değişim gözlenen senaryolara ait taşkın sınırları ve derinlik haritaları aşağıdaki şekillerde karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Şekil 5.35-5.39).



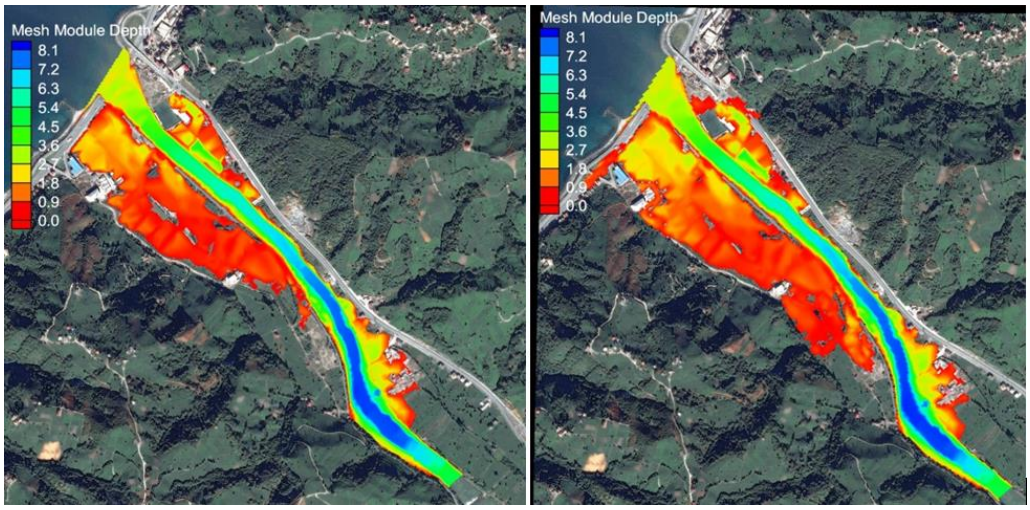

**Şekil 5.35 :** Çağlayan Ir. – 5m, 10m ağ – 1990 yılı.



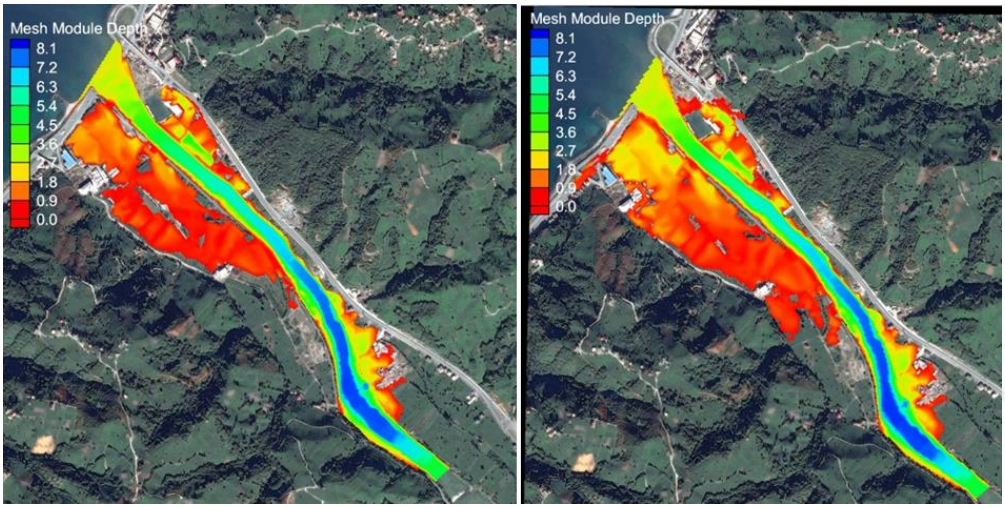

**Şekil 5.36 :** Tahiroğlu Ir. – 5m, 10m ağ – 1990 yılı.




**Şekil 5.37 :** Tahiroğlu Ir. – 5m, 10m ağ – 2099 yılı.




**Şekil 5.38 :** İyidere Çayı – 5m, 10m ağ – 1990 yılı.




**Şekil 5.39 :** İyidere Çayı – 5m, 10m ağ – 2039 yılı.

Elde edilen sonuçlara göre, 10m ağ çözünürlüğüne sahip modeller, 5 senaryo için taşkın sınırlarını ve su derinliklerini daha büyük değerlerde tahmin etmiştir (Çizelge 5.25). 2 Boyutlu taşkın modelleme çalışmaları sonucunda, taşma meydana gelen dereler ve senaryolar Çizelge 5.26 ve 5.27'de özetlenmiştir.

**Çizelge 5.25 :** Ağ çözünürlüğünün taşkın sınırlarına etkisi.

| | | **10 m ağ** | | **5 m ağ** | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Dere ismi** | **Senaryo** | **Maks. yayılma alanı ($m^2$)** | **Maks. su derinliği (m)** | **Maks. yayılma alanı ($m^2$)** | **Maks. su derinliği (m)** |
| Çağlayan | 1990 yılı | 130464 | 0.97 | 11957 | 0.78 |
| Tahiroğlu | 1990 yılı | 161219 | 3.02 | 18265 | 2.19 |
| Tahiroğlu | 2099 yılı | 21068 | 2.09 | taşma yok | taşma yok |
| İyidere | 1990 yılı | 504321 | 4.42 | 391305 | 4.37 |
| İyidere | 2039 yılı | 425292 | 4.4 | 355115 | 4.31 |

**Çizelge 5.26 :** 100 yıllık taşkın modelleri sonuçları özet tablosu.

| Dere ismi | 1990 yılı | 2039 yılı | 2069 yılı | 2099 yılı |
|---|---|---|---|---|
| Çağlayan | Taşma var | - | - | - |
| Tahiroğlu | Taşma var | - | - | - |
| Fırtına | - | - | - | - |
| Hemşin | - | - | - | - |
| Büyük | - | - | - | - |
| Taşlı | - | - | - | - |
| İyidere | Taşma var | Taşma var | Taşma var | Taşma var |

**Çizelge 5.27 :** 500 yıllık taşkın modelleri sonuçları özet tablosu.

| Dere ismi | 1990 yılı | 2039 yılı | 2069 yılı | 2099 yılı |
|---|---|---|---|---|
| Çağlayan | Taşma var | Taşma var | - | Taşma var |
| Tahiroğlu | Taşma var | Taşma var | - | Taşma var |
| Fırtına | Taşma var | - | - | - |
| Hemşin | Taşma var | - | - | - |
| Büyük | Taşma var | - | - | - |
| Taşlı | - | - | - | - |
| İyidere | Taşma var | Taşma var | Taşma var | Taşma var |

# 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye'nin en çok yağış alan bölgesi olan Rize ilinde, mevcut durum ve iklim değişikliği projeksiyonları doğrultusunda, hidrolojik ve hidrolik modelleme yöntemleri kullanılarak, farklı zaman periyotları için taşkın riskinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada ilk olarak, iklim değişikliği modellerinin referans periyodu ve 3 farklı gelecek zaman periyodu için vermiş olduğu günlük çıktılar kullanılarak, Rize ili içinde yer alan 10 havza için yağış-akış modelleri oluşturulmuştur. Çalışmanın ilk aşamasının sonuçları incelendiğinde aşağıdaki değerlendirmelerde bulunulabilir:

**(i)** Rize gibi dağlık ve deniz etkisine açık bölgelerde meteorolojik gözlem istasyonlarının homojen dağılması, bölgede gerçekleştirilecek hidrolojik çalışmalar için çok büyük önem taşımaktadır.

**(ii)** Yağış sürelerindeki değişim dikkate alınmadığı durumda, iklim değişikliğinin etkisiyle yağış değerlerindeki düşüşe bağlı olarak, tüm havzalarda taşkın pik debilerinde 2069 yılına kadar düşüş görülmüştür. 2070-2099 yılı arası projeksiyon verileri ile birlikte yüzyılın sonunda pik debilerde yeniden artış meydana geleceği, fakat yine de mevcut durumun (1990) altında kalacağı sonucuna varılmıştır.

**(iii)** Havzaların pik debi değerlerinde genel olarak, ilk (2013-2039) ve ikinci (2040-2069) iklim değişikliği projeksiyon zaman periyotlarında, mevcut duruma göre sırasıyla %50 ve %60 oranında azalma olduğu görülmüştür. Pik debi değerlerinde yüzyılın sonunda artış olmakla birlikte, yine de mevcut durumun %35 oranında altında kaldığı sonucu elde edilmiştir.

**(iv)** İklim değişikliğinden en az etkilenen havzalar, Rize ilinin batısında yer alan İyidere ve Taşlı Dere havzalarıdır (9 ve 10 nolu havzalar). İklim modelinin İyidere ve Taşlı Dere havzaları üzerinde yer alan ağlar için vermiş olduğu çıktılara göre, 100 yıllık dönüş aralıklı yağış değerleri 3 farklı projeksiyon dönemi (2039, 2069, 2099) için sırasıyla %1.4, %6.5 ve %6.0 oranlarında azalma göstermektedir. Bu nedenle, İyidere ve Taşlı

Dere havzaları pik debileri de diğer havzalara göre iklim değişikliğinden daha az etkilenmiştir.

**(v)** Farklı hidrolojik modelleme teknikleri karşılaştırıldığında, toplu modelleme yönteminin yarı yayılı modelleme yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca, yarı yayılı modelleme yönteminde havzanın bölündüğü parça sayısı arttıkça, modelin daha kötü sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu sonuç, yeterli ölçüm bulunmayan havzalarda daha basit modelleme yöntemlerinin daha iyi sonuçlar verebileceğini göstermektedir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, taşkın hidrografları elde edilen havza çıkışlarında, 7 farklı dere üzerinde, 2 boyutlu taşkın modelleme yaklaşımı kullanılarak, mevcut durum ve 3 farklı iklim değişikliği projeksiyon dönemi için taşkın risk haritaları elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasının sonuçları incelendiğinde aşağıdaki değerlendirmelerde bulunulabilir:

**(i)** Havza modellerinden elde edilen debi değerlerine bağlı olarak en kritik senaryolar mevcut durumda (1990 yılı) ortaya çıkmıştır.

**(ii)** 100 yıllık taşkın modelleme çalışmaları sonucunda, Çağlayan ve Tahiroğlu Irmağı'nda modellenen güzergahlarda, geniş bir alana yayılma olmasa da mevcut durum senaryosu için taşkın riski bulunmaktadır.

**(iii)** İyidere modelleme alanında mevcut durum ve tüm iklim değişikliği projeksiyon dönemleri (2039, 2069, 2099) için önemli miktarda alanın su altında kaldığı sonucu elde edilmiştir.

**(iv)** 500 yıllık taşkın modelleri sonuçlarına göre Taşlı Dere haricindeki tüm çalışma alanlarında mevcut durum için taşkın riski bulunmaktadır. İklim değişikliğinin etkisiyle taşkın sınırlarında azalmalar görülmüştür.

**(v)** 100 yıllık taşkın senaryolarında, taşkın alanlarındaki ağ çözünürlüğü arttırılarak çalışmalar tekrarlanmıştır. Ağ çözünürlüğünün artmasıyla, taşkın sınırlarında ve su derinliklerinde azalmalar görülmüştür. Bu durum, 2B taşkın modellerinde ağ çözünürlüğü seçimine dikkat edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Günlük yağış verileri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmaların dışında, Rize'de ölçülmüş ŞST eğrileri kullanılarak, iklim modellerinin günlük çıktılarından daha kısa süreli yağış şiddeti değerleri elde edilmiştir. İklim değişikliği etkisinde yağış şiddetlerinin değişiminin belirlendiği bu çalışmanın sonuçları incelendiğinde aşağıdaki değerlendirmelerde bulunulabilir:

**(i)** SRES A2 senaryosu altında yapılan çalışmaların sonuçları incelendiğinde, dönüş aralığı düştükçe, gelecek zaman yağış şiddetlerindeki artış oranı artmaktadır. En yüksek artış oranı 2 yıllık dönüş aralığında elde edilmiştir.

**(ii)** SRES A2 senaryosu altında yağış şiddetlerindeki en yüksek artış oranı birinci gelecek zaman periyodunda (2013-2039) elde edilmiştir. Birinci gelecek zaman periyodunda, tüm yağış süresi ve tekerrür aralıklarında yağış şiddetlerinde mevcut duruma göre artış görülmüştür.

**(iii)** SRES A2 senaryosu altında gerçekleştirilen analizlere göre, gelecek zamanda yağış şiddetlerindeki en yüksek artış 3 ve 4 saatlik yağışlarda elde edilmiştir.

**(iv)** RCP 8.5 senaryosu altında yağış şiddetlerindeki en yüksek artış oranı üçüncü gelecek zaman periyodunda (2070-2099) elde edilmiştir. İkinci ve üçüncü gelecek zaman periyotlarında (2040-2069 ve 2070-2099) tüm yağış süresi ve tekerrür aralıklarında yağış şiddetlerinde mevcut duruma göre artış görülmüştür.

**(v)** İlk gelecek zaman periyodunda, tüm yağış süresi ve tekerrür aralıkları için SRES A2 senaryosuna göre gerçekleştirilen analizlerde, yağış şiddetlerinde artış elde edilirken, RCP 8.5 senaryosuna göre gerçekleştirilen analiz sonuçlarında ise azalma elde edilmiştir. Bu sonuç, iki kötümser emisyon senaryosu arasındaki en dikkat çekici fark olarak ortaya çıkmıştır.

**(vi)** Genel olarak, ikinci ve üçüncü gelecek zaman periyotlarında (2040-2069 ve 2070-2099), her iki kötümser emisyon senaryosu için de tüm yağış süreleri ve tekerrür aralıkları için yağış şiddetlerinde mevcut duruma göre artış tespit edilmiştir.

**(vii)** Özet olarak, SRES A2 senaryosuna dayalı sonuçlara göre, gelecek zaman periyotlarındaki yağış şiddetlerinin mevcut duruma göre artış yüzdeleri 100 yıllık yağışlarda %2-%5, 50 yıllık yağışlarda %6-%9, 25 yıllık

yağışlarda %4-%13, 10 yıllık yağışlarda %10-%20, 5 yıllık yağışlarda %15-%27, 2 yıllık yağışlarda ise %25-%43 arasında değişim göstermektedir.

**(viii)** RCP 8.5 senaryosuna dayalı sonuçlara göre, gelecek zaman periyotlarındaki yağış şiddetlerinin mevcut duruma göre artış yüzdeleri 100 yıllık yağışlarda %0.3-%8, 50 yıllık yağışlarda %1-%7, 25 yıllık yağışlarda %3-%6, 10 yıllık yağışlarda %4-%6, 5 yıllık yağışlarda %5-%6, 2 yıllık yağışlarda ise %6-%7 arasında değişim göstermektedir.

Bu çalışmada, Rize ili gibi dağlık ve denize cephesi olan havzalarda, gözlem istasyonlarının sayı ve yerleşiminin, bölgenin yağış dağılımının belirlenebilmesi için önem taşıdığı görülmüştür. Çalışma alanında gelecekte yapılacak çalışmalarda daha yoğun bir istasyon ağının kullanılması yağış-akış modellerinin performanslarını arttıracaktır. Şiddet-Süre-Tekerrür eğrileri ile yapılan çalışmalar, Rize ilinde su kaynaklarının planlama ve yönetiminde kullanılan tasarım yağış değerlerinin güncellenmesi gerektiğini göstermiştir. Güncellenen yeni değerlere göre havza ve taşkın modellerinin yapılandırılması gelecekteki çalışmalar için önemli bir araştırma konusunu oluşturmaktadır.

## KAYNAKLAR


**Akar, İ., Maktav, D.** (2008). Taşkın araştırmalarında çok kriterli karar verme analizi ve hidrolojik modellemelerin uzaktan algılama ve CBS entegrasyonu ile karşılaştırılması, *2. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, Kayseri, Ekim 13-15.

**Al-Sabhan, W., Mulligan, M., & Blackburn, G. A.** (2003). A real-time hydrological model for flood prediction using GIS and the WWW. *Computers, Environment and Urban Systems*, *27*(1), 9-32.

**Bell, V. A., Kay, A. L., Jones, R. G., & Moore, R. J.** (2007). Use of a grid-based hydrological model and regional climate model outputs to assess changing flood risk, *International Journal of Climatology*, *27*(12), 1657-1671.

**Bera, K., Pal, M., & Bandyopadhyay, J.** (2012). Application of RS and GIS in flood management: A case study of Mongalkote Blocks, Burdwan, West Bengal, India, *International Journal of Scientific and Research Publications*, *2*(11), 1-9.

**Beven, K.** (2002). Towards an alternative blueprint for a physically based digitally simulated hydrologic response modelling system, *Hydrological processes*, *16*(2), 189-206.

**Boss International Inc & Brigham Young University** (2000). Watershed Modeling System User's Manual.

**Bozkurt, D., Turuncoglu, U., Sen, O. L., Onol, B., & Dalfes, H. N.** (2012). Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterranean–Black Sea region: evaluation of the reference period. *Climate dynamics*, *39*(1-2), 207-225.

**Brandt, S. A.** (2005). Resolution issues of elevation data during inundation modeling of river floods, *XXXI IAHR Congress*, (pp. 3573-3581). Korea Water Resources Association, COEX, Seoul, Korea, 11-16 September.

**Brown, R. A., & Pasternack, G. B.** (2009). Comparison of methods for analysing salmon habitat rehabilitation designs for regulated rivers, *River Research and Applications*, *25*(6), 745-772.

**Büchele, B., Kreibich, H., Kron, A., Thieken, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B., & Nestmann, F.** (2006). Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *6*(4), 485-503.

**Carpenter, T. M., & Georgakakos, K. P.** (2006). Intercomparison of lumped versus distributed hydrologic model ensemble simulations on

operational forecast scales, *Journal of hydrology* 329.1 (2006): 174-185.

**Cook, A. C.** (2008). *Comparison of one-dimensional HEC-RAS with two-dimensional FESWMS model in flood inundation mapping*. (M.Sc Thesis). Purdue University.

**Cook, A., & Merwade, V.** (2009). Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping, *Journal of Hydrology*, *377*(1), 131-142.

**Cox, J. N.** (2010). *Advantages and practicality of using a 2D hydrodynamic model in comparison to a 1D hydrodynamic model in a flood prone area*. Courses ENG4111 and 4112 Research Project, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying.

**Crowder, R. A.** (2009). Fluvial Design Guide, *Chapter 7: Hydraulic analysis and design*, Environment Agency.

**Das, P., Islam, A., Dutta, S., Dubey, A. K., & Sarkar, R.** (2014). Estimation of Runoff Curve Numbers Using a Physically-based Approach of Preferential Flow Modelling, *Hydrology in a Changing World: Environmental and human dimensions*. *Proceedings of FRIEND-Water 2014*, Montpellier, France, October 2014.

**Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Tüvan, A., & Akçakaya, A.** (2014). Climate change projections for Turkey with new scenarios. In *The Climate Change and Climate Dynamics Conference-2014–CCCD2014* (pp. 8-10).

**Devia, G. K., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S.** (2015). A review on hydrological models, *Aquatic Procedia*, *4*, 1001-1007.

**Dibike, Y. B., & Coulibaly, P.** (2005). Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models, *Journal of hydrology*, *307*(1), 145-163.

**Dobler, C., Bürger, G., & Stötter, J.** (2012). Assessment of climate change impacts on flood hazard potential in the Alpine Lech watershed, *Journal of hydrology*, *460*, 29-39.

**Durukanoğlu, H. F.** (1996). Orographic Precipitation in the Southern Black Sea Coasts, *Climate Sensitivity to Radiative Perturbations* (pp. 317-324). Springer, Berlin, Heidelberg.

**Dutta, D., Alam, J., Umeda, K., Hayashi, M., & Hironaka, S.** (2007). A two-dimensional hydrodynamic model for flood inundation simulation: a case study in the lower Mekong river basin, *Hydrological processes*, *21*(9), 1223-1237.

**EPA (US Environmental Protection Agency)** (2008). *Stormwater Management Model, User's Manual.*

**Eriş, E.** (2011). *Determination of Spatial Distrabution of Precipitation on Poorly Gauged Coastal Regions*. (Ph.D. Thesis). Institute of Science and Technology, Istanbul Technical University.

**Eriş, E., & Ağıralioğlu, N.** (2017). Ölçümleri Az Olan Kıyı Bölgelerinde Yağışın Yerel Dağılımının Belirlenmesi: Doğu Karadeniz Bölgesi, *İMO Teknik Dergi*, *7685*(7702), 467.

**Fewtrell, T. J., Neal, J. C., Bates, P. D., & Harrison, P. J.** (2011). Geometric and structural river channel complexity and the prediction of urban inundation, *Hydrological Processes*, *25*(20), 3173-3186.

**FHWA** (1984). *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains.* The Federal Highway Administration.

**Fortin, V., Chahinian, N., Montanari, A., Moretti, G., & Moussa, R.** (2006). Distributed hydrological modelling with lumped inputs, *IAHS publication*, *307*, 135.

**Gharbi, M., Soualmia, A., Dartus, D., & Masbernat, L** (2016). Comparison of 1D and 2D Hydraulic Models for Floods Simulation on the Medjerda Riverin Tunisia, *J. Mater. Environ. Sci*. 7(8) (2016) 3017-3026.

**Gurer, I., Ucar, I.** (2010). The Importance of Flood Zoning Using GIS A Case Study from Macka, Trabzon, Northeastern Turkey, *BALWOIS 2010*, Ohrid, Republic of Macedonia.

**Gutierrez Andres, J., Rayner, C., Udale-Clarke, H., Kellagher, R. B. B., & Reeves, M.** (2008). 2D flooding analysis in Scotland, *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK.

**Haile, A.T., Rientjes, T.H.M.** (2005). Effects of LIDAR DEM Resolution in Flood Modeling: A Model Sensitivity Study for The City of Tegucigalpa, Honduras, *ISPRS WG III/3, III/4, V/3, Workshop "Laser scanning 2005"*, Enschede, Netherlands, September 12-14.

**Huxley, C. D.** (2004). *TUFLOW Testing and Validation*, Griffith University, Brisbane.

**Jenkins, C. G.** (2009). *Analysis of the sediment transport capabilities of Tuflow*. (M.Sc. Thesis). Brigham Young University.

**Jiang, T., Chen, Y. D., Xu, C. Y., Chen, X., Chen, X., & Singh, V. P.** (2007). Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China, *Journal of hydrology*, *336*(3), 316-333.

**Jordan, D. L.** (2004). An introduction to GIS applications in hydrology, *Southwest Hydrology*, *3*, 14-16.

**Juza, B., & Barad, M.** (2000). Dynamic and steady state modeling approaches to riverine hydraulic studies using 1-D, looped 1-D and 2-Dimensional topological discretization, *Conference Proceedings of Hydroinformatics*.

**Kahya, E., A. Danandeh Mehr, Şen, O. and Özger, M.** (2015). Climate change impacts on extreme rainfalls over Rize Province, Turkey, *10th International Congress on Civil Engineering*, University of Tabriz, Tabriz, Iran, May 5-7.

**Kahya, E., Mehr, A. D., Şen, O., Akçakaya, A. and Özger, M.** (2016). A comparative study on the current and future design storms over Rize province, Turkey. 12th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2016), Istanbul, Turkey.

**Kalaycı, S., & Kahya, E.** (1998). Susurluk havzası nehirlerinde su kalitesi trendlerinin belirlenmesi, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, *22*, 503-514.

**Kaya, S., Basar, U. G., Karaca, M., & Seker, D. Z.** (2012). Assessment of urban heat islands using remotely sensed data, *Ekoloji*, *21*(84), 107-113.

**Keskin, F., Darama, Y.** (2010). Dalaman Ovasının Taşkın Riski Açısından Değerlendirilmesi, *2. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, Afyonkarahisar.

**Kızılkaya, T.** (1988). *Sulama ve Drenaj*. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.

**Knight, D. W., & Shiono, K.** (1996). River channel and floodplain hydraulics. *In Floodplain Processes* (K. Beven and P. Carling, eds.) Wiley, Chichester, UK, 139–181.

**Li, Z. J., & Zhang, K.** (2008). Comparison of three GIS-based hydrological models, *Journal of Hydrologic Engineering*, *13*(5), 364-370.

**Luo, Y., Ficklin, D. L., Liu, X., & Zhang, M.** (2013). Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality with a watershed modeling approach, *Science of the Total Environment*, *450*, 72-82.

**Meral, G., Uslu, A., Akcay, F., Unsur, E., Kayaoglu, S., & Erzurumlu, E.** (2014). The comparison of menarcheal age with familial pattern and body mass index, *Sci. J. Public Health*, *2*(6), 584-588.

**Meral, G., Uslu, A., Yozgatli, A. Ü., & Akçay, F.** (2015). Association of body mass index and lipid profiles in children, *Open Journal of Pediatrics*, *5*(02), 141.

**MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü).** (2015). *Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonlari ve İklim Değişikliği*, Araştırma Dairesi Bşk., Klimatoloji Şube Md.

**Minville, M., Brissette, F., & Leconte, R.** (2008). Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed, *Journal of hydrology*, *358*(1), 70-83.

**Morán-Tejeda, E., Zabalza, J., Rahman, K., Gago-Silva, A., López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S., Lehmann, A., Tague, C. L., & Beniston, M.** (2015). Hydrological impacts of climate and land-use changes in a mountain watershed: uncertainty estimation based on model comparison, *Ecohydrology*, *8*(8), 1396-1416.

**Mukolwe, M. M.** (2016). *Flood Hazard Mapping: Uncertainty and its Value in the Decision-making Process*. (Ph.D. Thesis). Crc Press UNESCO-IHE Ph.D. Thesis Series.

**Mirhosseini, G., Srivastava, P., & Stefanova, L.** (2013). The impact of climate change on rainfall Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves in Alabama, *Regional Environmental Change*, *13*(1), 25-33.

**National Research Council.** (2000). *Risk analysis and uncertainty in flood damage reduction studies*. National Academies Press.

**Néelz, S., & Pender, G.** (2007). Sub-grid scale parameterisation of 2D hydrodynamic models of inundation in the urban area, *Acta Geophysica*, *55*(1), 65-72.

**Özcan, O., Musaoğlu, N. ve Şeker, D. Z.** (2009). Taşkın Alanlarının CBS ve Uzaktan Algılama Yardımıyla Belirlenmesi ve Risk Yönetimi; Sakarya Havzası Örneği, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.

**Özdemir, H.** (1978). *Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi*. İşletme Müdürlüğü Matbaası, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

**Özdemir, H.** (2007). Farklı Senaryolara Göre Taşkın Risk Analizi: Havran Çayı Örneği (Balıkesir), *TMMOB Afet Sempozyumu*, Ankara.

**Özdemir, H., Akbulak, C. & Ozcan, H.** (2010). Reconstruction of Çokal Dam (Çanakkale-Turkey) Breach Flooding Using 1D Hydraulic Modeling, *Proceedings of the BALWOIS 2010*, Ohrid, Republic of Macedonia.

**Pelling, M., Maskrey, A., Ruiz, P., & Hall, L.** (2004). *A global report: Reducing disaster risk: A challenge for development.* United Nations Development Programme (UNDP), Bureau for Crisis Prevention and Recovery, New York.

**Pender, G., & Néelz, S.** (2007). Use of computer models of flood inundation to facilitate communication in flood risk management, *Environmental Hazards*, *7*(2), 106-114.

**Ponce, V. M.** (1989). *Engineering hydrology: Principles and practices*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

**Poulin, A., Brissette, F., Leconte, R., Arsenault, R., & Malo, J. S.** (2011). Uncertainty of hydrological modelling in climate change impact studies in a Canadian, snow-dominated river basin, *Journal of Hydrology*, *409*(3), 626-636.

**Rochester, R. E. L.** (2010). *Uncertainty in hydrological modelling: a case study in the tern catchment, Shropshire, UK*. (Ph.D. Thesis). University College London.

**Samuels, P. G.** (1990). Cross-Section Location in 1-D Models, *International Conference on River Flood Hydraulics*, September 17-20.

**Schardong, A., Simonovic, S. P., & Sandink D.** (2017). Computerized tool for the development of intensity-duration-frequency curves under a changing climate. *Technical Manual*, v.2.*1*. Water Resources Research Report no. 099.

**Shrestha, D., Deshar, R., & Nakamura, K.** (2015). Characteristics of Summer Precipitation around the Western Ghats and the Myanmar West Coast, *International Journal of Atmospheric Sciences*, Volume 2015, Article ID 206016.

**Shultz, M. J.** (2007). *Comparison of Distributed Versus Lumped Hydrologic Simulation Models Using Stationary and Moving Storm Events*

*Applied to Small Synthetic Rectangular Basins and an Actual Watershed Basin*. (Ph.D. Thesis). The University of Texas at Arlington.

**Singh, R., Arya, D. S., Taxak, A. K., & Vojinovic, Z.** (2016). Potential Impact of Climate Change on Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curves in Roorkee, India. *Water resources management, 30*(13), 4603-4616.

**Snead, D. B.** (2000). *Development and application of unsteady flood models using geographical information systems.* (Doctoral dissertation). Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin.

**Solomatine, D. P., & Wagener, T.** (2011). Hydrological Modelling. *Treatise on Water Science* (Wilderer, ed.), Volume 2: The Science of Hydrology, 435-457. Elsevier.

**Srivastav, R. K., Schardong, A., & Simonovic, S. P.** (2014). Equidistance quantile matching method for updating IDFCurves under climate change. *Water resources management, 28*(9), 2539-2562.

**Şarlak, N., Kahya, E., & Bég, O. A.** (2009). Critical drought analysis: case study of Göksu River (Turkey) and North Atlantic oscillation influences, *Journal of Hydrologic Engineering, 14*(8), 795-802.

**Şeker, D. Z., ve Kabdaşlı, S.** (2002). Kıyılardaki Doğal Felaketler İçin Risklerin CBS ile Analizi ve Risk Haritalarının Üretilmesi, *Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu*, Selçuk Üniversitesi, Konya.

**Tavakoli, M., & De Smedt, F.** (2011). Impact of climate change on streamflow and soil moisture in the Vermilion Basin, Illinois, *Journal of Hydrologic Engineering, 17*(10), 1059-1070.

**Tayefi, V., Lane, S. N., Hardy, R. J., & Yu, D.** (2007). A comparison of one-and two-dimensional approaches to modelling flood inundation over complex upland floodplains, *Hydrological Processes, 21*(23), 3190-3202.

**TUFLOW** (2010). *TUFLOW User Manual, GIS Based 2D/1D Hydrodynamic Modelling*. BMT WBM.

**Url1**<http://xpsolutions.com/webhelp/SECTION_2__CREATING_A_MODEL/2_5_2D_Domains/2_5_12_2D_Flow_Constrictions.htm>, erişim tarihi 20.07.2017.

**USACE** (1998). *HEC-1 Flood Hydrograph Package User's Manual*. Hydrologic Engineering Center (HEC).

**Usul, N., & Turan, B.** (2006). Flood forecasting and analysis within the Ulus Basin, Turkey, using geographic information systems, *Natural Hazards, 39*(2), 213-229.

**Weifeng, L., Chen, Q., & Mao, J.** (2009). Development of 1D and 2D coupled model to simulate urban inundation: an application to Beijing Olympic Village, *Chinese Science Bulletin, 54*(9), 1613-1621.

**Werner, M., Blazkova, S., & Petr, J.** (2005). Spatially distributed observations in constraining inundation modelling uncertainties, *Hydrological Processes*, *19*(16), 3081-3096.

**Xu, C. Y.** (2002). *Text book of hydrologic models*. Department of Earth Science and Hydrology, Uppsala University.

**EKLER**

**EK A:** MGM'den temin edilen gözlem istasyonları

**EK B:** DSİ'den temin edilen gözlem istasyonları

**EK C:** 100 yıllık taşkın hidrografları

**EK D:** 500 yıllık taşkın hidrografları

**EK E:** Hemşin ve Büyük Çayı 100 yıllık taşkın sınırları ve su derinlikleri

**EK F:** 100 yıllık taşkın modellerine ait su hızları sonuçları

**EK G:** 500 yıllık taşkın modellerine ait taşkın sınırları ve su derinlikleri

## EK A

**Çizelge A.1 :** MGM'den temin edilen gözlem istasyonları.

| Sıra | No | İsim | Veri Türü | Türü | Derlenmiş Yıllar | Yıl |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 1624 | Düzköy | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1986 - 2003 | 18 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1986 - 2003 | 18 |
| **2** | 17626 | Akçaabat | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1963 - 2012 | 50 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1963 - 2012 | 50 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| **3** | 17714 | Altındere | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 2011 - 2012 | 2 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| **4** | 17038 | Trabzon Meydan | Günlük Toplam Yağış | Klima | 2006 - 2012 | 7 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 2006 - 2012 | 7 |
| | | | Günlük Toplam Buharlaşma | Klima | 2006 - 2011 | 6 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Sinoptik | 1980 - 2012 | 33 |
| | | | Günlük Toplam Buharlaşma | Sinoptik | 2000-2012 | 12 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Sinoptik | 1980 - 2012 | 33 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Metar | 2000 - 2011 | 12 |
| **5** | 1471 | Arsın | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1984 - 1995 | 12 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1984 - 1995 | 12 |
| **6** | 1476 | Kalkandere | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1964 – 1967,1975 -1996 | 19 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1964 - 1996 | 32 |
| **7** | 17040 | Rize | Günlük Ortalama Sıcaklık | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1960 - 2012 | 53 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Sinoptik | 1997,2001 - 2012 | 13 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Sinoptik | 1997,2001 - 2012 | 13 |
| **8** | 17628 | Pazar | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1963 - 2012 | 50 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1963 - 2012 | 50 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| **10** | 17042 | Hopa | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1962 - 2012 | 51 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Otomatik | 2009 - 2012 | 4 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Sinoptik | 1981 - 2012 | 32 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Sinoptik | 1981 - 2012 | 32 |
| **11** | 1645 | Yusufeli | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1967 - 2000 | 34 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1967 - 2000 | 34 |
| | | | Uzun Yıllar Ort. Sıcaklık | Klima | 1967 - 2000 | 34 |
| **12** | 17045 | Artvin | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1960 - 2012 | 53 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1960 - 2012 | 53 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Otomatik | 2010 - 2012 | 3 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Otomatik | 2010 - 2012 | 3 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Sinoptik | 1992 - 2012 | 21 |
| | | | Günlük Toplam Yağış | Sinoptik | 1992 - 2012 | 21 |
| **13** | 1166 | Ardanuç | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1964 - 1985, 1995 -2000 | 28 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1964,1966-1983,1985,1995-2010 | 36 |

**Çizelge A.1 (devam) :** MGM'den temin edilen gözlem istasyonları.

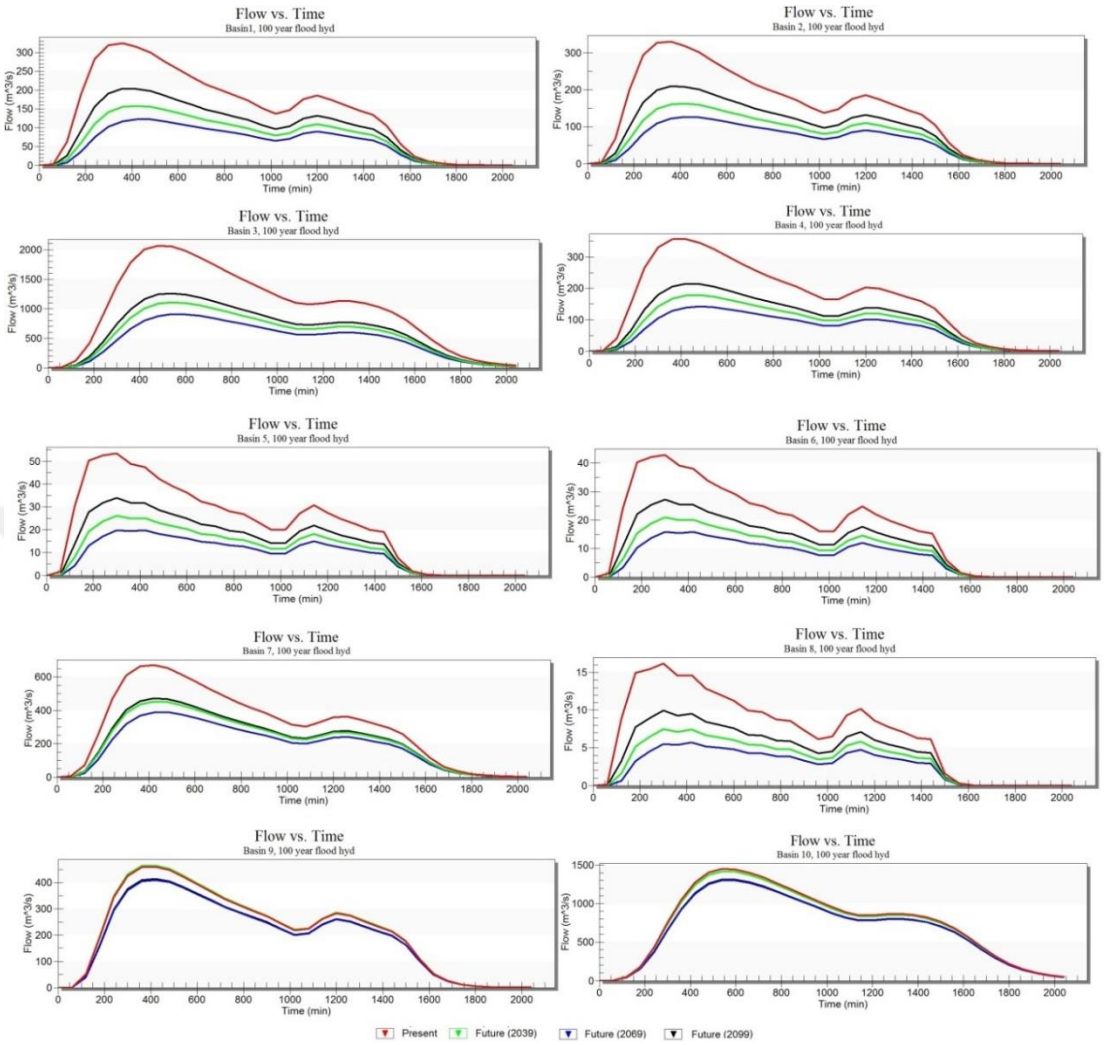
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **14** | 1026 | Şavşat | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1964 - 1996 | 33 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1964 - 1996 | 33 |
| **15** | 1015 | Fındıklı | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1989 - 2000 | 12 |
| | | | Günlük ortalama Sıcaklık | Klima | 1989 - 2000 | 12 |
| **16** | 818 | Kemalpaşa | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1984 - 1999 | 16 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1984 - 1999 | 16 |
| **17** | 820 | Muratlı | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1965 - 1985 | 21 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1965 - 1985 | 21 |
| **18** | 907 | Arhavi | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1983 - 1993 | 11 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1983 - 1993 | 11 |
| **19** | 911 | Borçka | Günlük Toplam Yağış | Klim | 1987 - 2003 | 17 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1987 - 2003 | 17 |
| **20** | 1016 | Ortacalar | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1989 - 1992 | 4 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1989 -1992 | 4 |
| **21** | 1025 | Aşağıırmaklar | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1987 - 1995 | 9 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1987 - 1995 | 9 |
| **22** | 1156 | Ardeşen | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1984 - 1992 | 9 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1984 - 1992 | 9 |
| **23** | 1162 | Ogdem | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1987 - 1995 | 9 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1987 - 1995 | 9 |
| **24** | 1302 | Vakfıkebir | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1983 - 1990,2000 - 2010 | 9 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1983 - 1990,2000 - 2010 | 29 |
| **25** | 1322 | Zeytinlik | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1987 - 1994 | 8 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1987 - 1994 | 8 |
| **26** | 1472 | Araklı | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1983 - 1996 | 14 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1983 - 1996 | 14 |
| **27** | 1475 | Of | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1964 - 1989,1993 - 1994 | 18 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1964 - 1989,1993 - 1994 | 18 |
| **28** | 1480 | Kaptanpaşa | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1965 - 1986 | 22 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1965 - 1986 | 22 |
| **29** | 1623 | Tonya | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1976 - 1995 | 20 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1976 - 1995 | 20 |
| **30** | 1626 | Maçka | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1964 - 1977,1979 - 1997 | 33 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1964 - 1977,1979 - 1997 | 33 |
| **31** | 1630 | Küçükder | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1988 - 1993 | 6 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1988 -1993 | 6 |
| **32** | 1787 | Dağbaşı Trabzon | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1989 - 1998 | 10 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1989 - 1998 | 10 |
| **33** | 1801 | Çaykara | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1989 - 1998 | 10 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1989 - 1998 | 10 |
| **34** | 1803 | İkizdere | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1970 - 1996 | 27 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1970 - 1996 | 27 |
| **35** | 1962 | Uzungöl | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1983 - 1985,1990 - 2010 | 14 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1983 - 1985,1990 - 2010 | 14 |
| **36** | 17037 | Trabzon | Günlük Toplam Yağış | Klima | 1960 - 2005 | 36 |
| | | | Günlük Ortalama Sıcaklık | Klima | 1960 - 2005 | 36 |
| | | | Günlük Toplam Buharlaşma | Klima | 1971 - 2005 | 35 |

## EK B

**Çizelge B.1 :** DSİ'den temin edilen gözlem istasyonları.

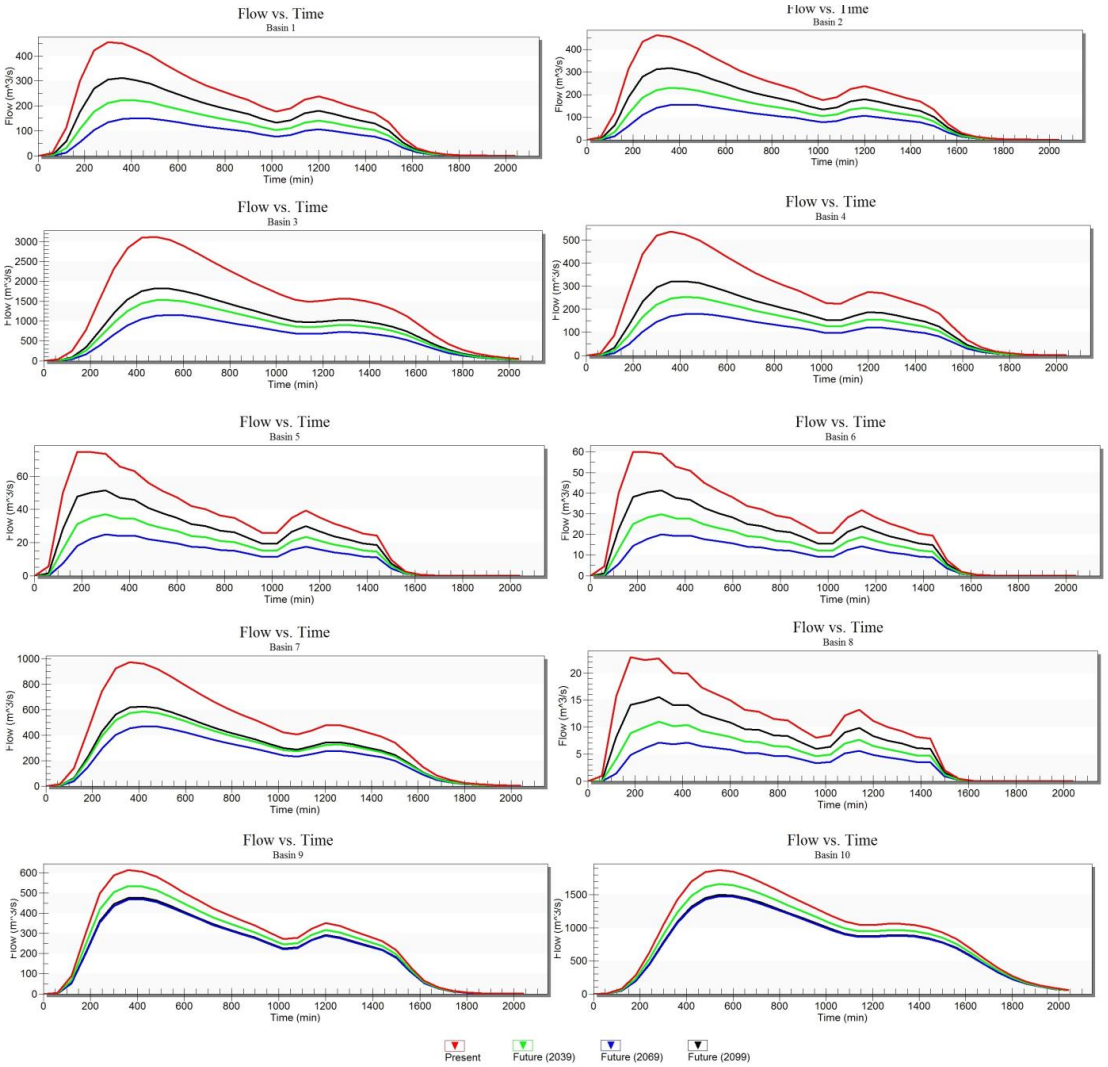
| Sıra No | AGİ No | Dere Adı | İstasyon Adı | İl | Durum | Yıllar | Yıl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | D22A049 | Kapistre Dere | Başköy | Artvin | Kapalı | 1978 - 2009 | 32 |
| **2** | D22A079 | Kapistre Dere | Çamlıca | Artvin | Kapalı | 1984 - 2005 | 22 |
| **3** | D22A089 | Ballı Deresi | Küçükköy | Artvin | Kapalı | 1984 - 2009 | 26 |
| **4** | D22A006 | Abucağlayan | Köprübaşı | Rize | Açık | 1966 - 2012 | 47 |
| **5** | D22A026 | Arılı Deresi | Yeniköy | Rize | Kapalı | 1969 - 1972 | 4 |
| **6** | D22A072 | Arılı Deresi | Arılı | Rize | Açık | 1982 - 2008 | 27 |
| **7** | D22A076 | Durak Deresi | Kemer Köp. | Rize | Kapalı | 1984 - 1997 | 14 |
| **8** | E22A032 | Fırtına Deresi | Topluca | Rize | Açık | 1964 - 2011 | 48 |
| **9** | D22A094 | Hala Deresi | Ayder | Rize | Açık | 1999 - 2002 | 4 |
| **10** | D22A063 | Hala Deresi | Mikron Köp. | Rize | Açık | 1980 - 2009 | 30 |
| **11** | D22A062 | Hemşin Deresi | Konaklar | Rize | Açık | 1980 - 2010 | 31 |
| **12** | D22A108 | Hemşin Deresi | Basköy | Rize | Açık | 2006 - 2009 | 4 |
| **13** | D22A085 | Şenöz Deresi | Kaptanpaşa | Rize | Açık | 1984 - 2010 | 27 |
| **14** | D22A074 | Hemşin | Çat | Rize | Açık | 1982 - 1999 | 18 |
| **15** | D22A066 | Maki Deresi | Cevizlik | Rize | Açık | 1982 - 2005 | 24 |
| **16** | D22A096 | Cimil Deresi | Köknar | Rize | Açık | 2000 - 2008 | 9 |
| **17** | D22A077 | Cimil Deresi | Cimil | Rize | Kapalı | 1982 - 1999 | 15 |
| **18** | D22A082 | Salarha Deresi | Kömürcüler | Rize | Açık | 1983 - 2012 | 30 |
| **19** | E22A015 | Çamlık Dere | Dereköy | Rize | Açık | 1965 - 2011 | 47 |
| **20** | D22A078 | Tozköy Deresi | Tozköy | Rize | Açık | 1985 - 2010 | 26 |
| **21** | E22A033 | Tozköy Deresi | Tozköy | Rize | Açık | 1964 - 2011 | 48 |
| **22** | D22A005 | Baltacı Deresi | Yeniköy | Trabzon | Kapalı | 1966 - 1972 | 7 |
| **23** | D22A068 | Baltacı Deresi | Yeniköy | Trabzon | Açık | 1982 - 2005 | 24 |
| **24** | D22A052 | Solaklı Deresi | Ulucami | Trabzon | Açık | 1979 - 2010 | 32 |
| **25** | D22A057 | Ögene Deresi | Alçak Köp. | Trabzon | Kapalı | 1979 - 2008 | 30 |
| **26** | D22A007 | Haldizen | Şerah | Trabzon | Açık | 1966 - 2011 | 46 |
| **27** | D22A034 | Yanbolu Dere | Fındıklı | Trabzon | Açık | 1979 - 2004 | 26 |
| **28** | E22A002 | Kara Dere | Ağnas | Trabzon | Açık | 1943 - 2011 | 69 |
| **29** | D22A044 | Karadere | Aytas | Trabzon | Açık | 1978 - 2010 | 33 |
| **30** | D22A059 | Kalyon Deresi | Çiftdere | Trabzon | Kapalı | 1980 - 2006 | 27 |
| **31** | D22A061 | Altın Dere | Ortaköy | Trabzon | Kapalı | 1980 - 2002 | 23 |
| **32** | D22A088 | Maçka Deresi | Ormanüstü | Trabzon | Kapalı | 1984 - 1999 | 16 |
| **33** | D22A086 | Değirmen Dere | Öğütlü | Trabzon | Açık | 1983 - 2010 | 28 |
| **34** | D22A097 | Maçka Deresi | Ormanüstü | Trabzon | Açık | 2000 - 2010 | 11 |
| **35** | D22A073 | Yağlı Dere | Tuğlacık | Trabzon | Açık | 1986 - 2008 | 23 |
| **36** | D22A013 | Kavraz Deresi | Süttaşı | Trabzon | Açık | 1970 - 2009 | 40 |

**EK C**



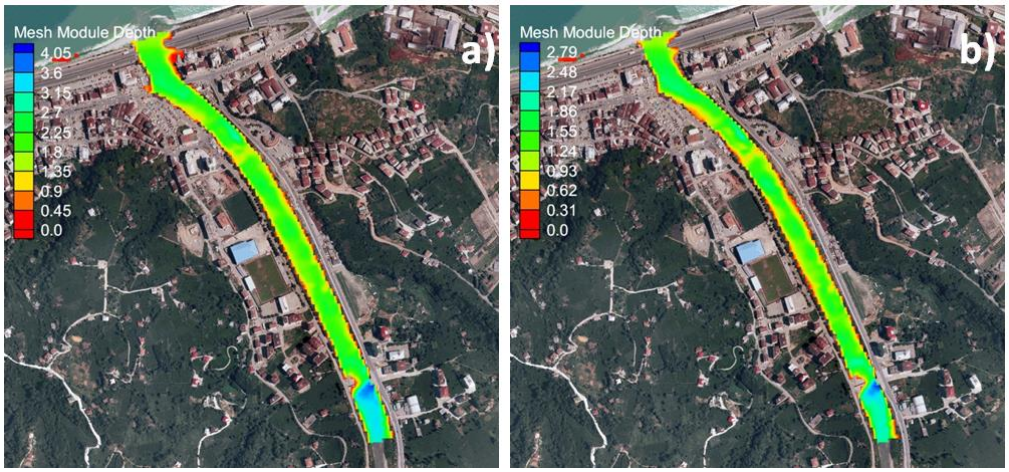

**Şekil C.1 :** 100 yıllık taşkın hidrografları.

## EK D

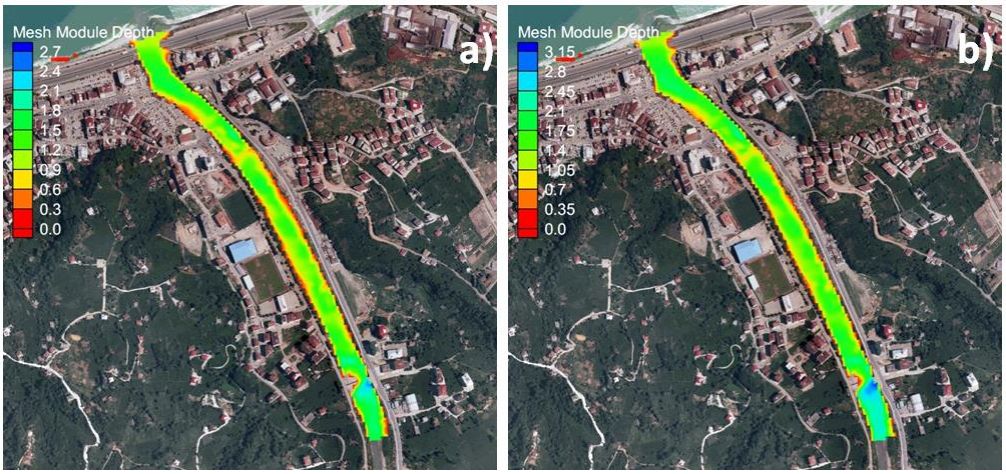



**Şekil D.1 :** 500 yıllık taşkın hidrografları.

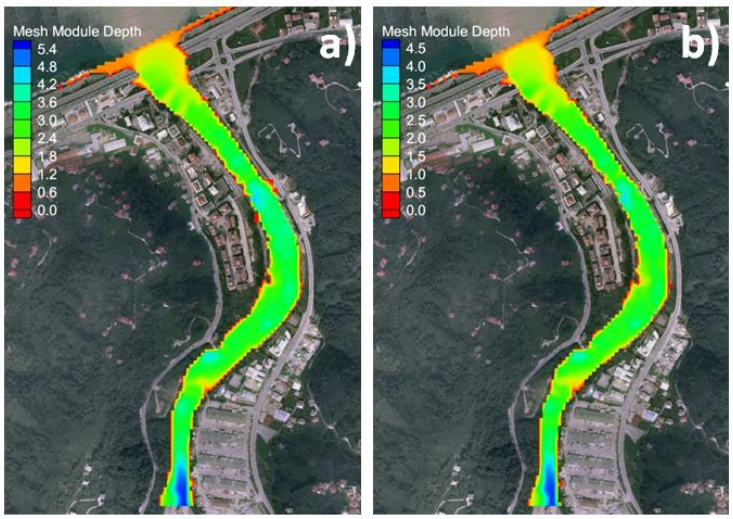
**EK E**



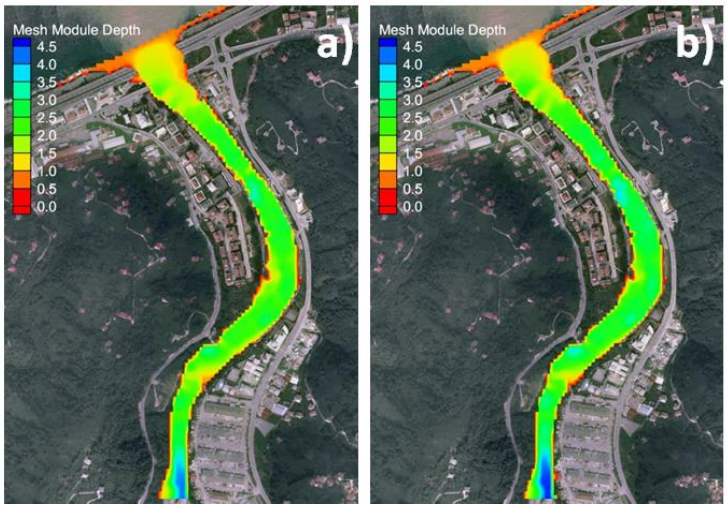

**Şekil E.1 :** Hemşin 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.




**Şekil E.2 :** Hemşin 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.

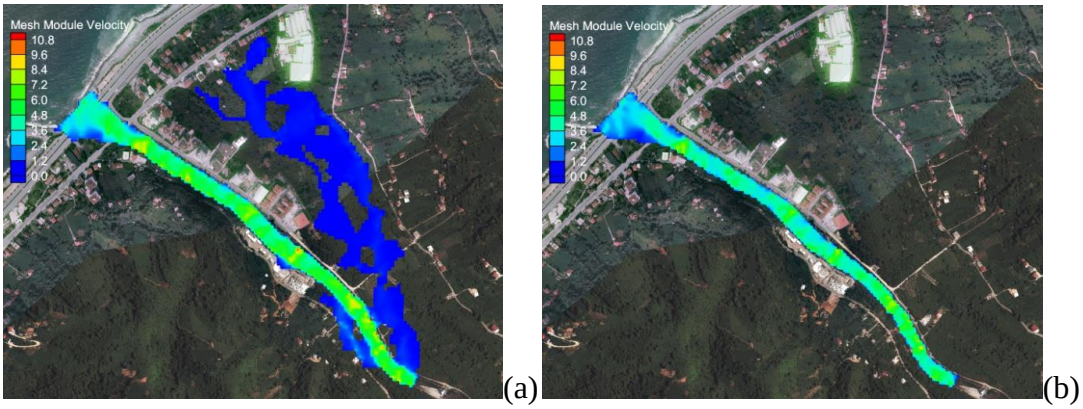



**Şekil E.3 :** Büyük Ç. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.

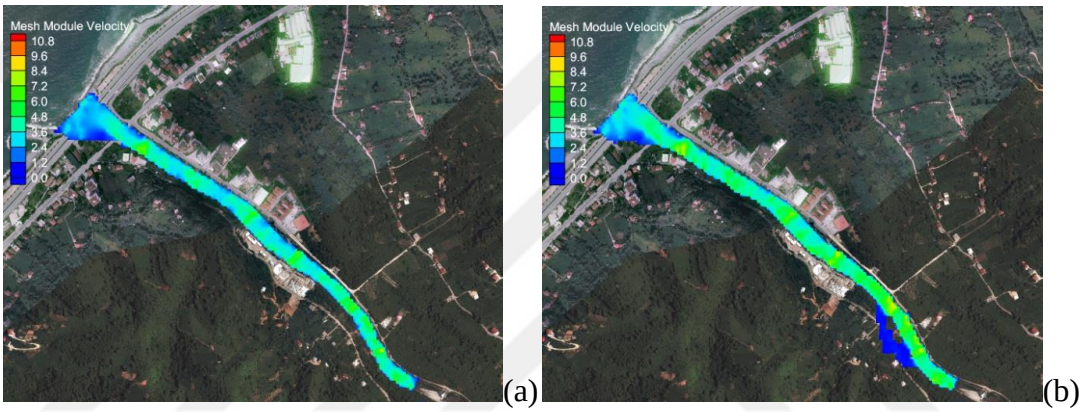



**Şekil E.4 :** Büyük Ç. 100 yıllık taşkın sınırları: (a) 1990 yılı. (b) 2099 yılı.

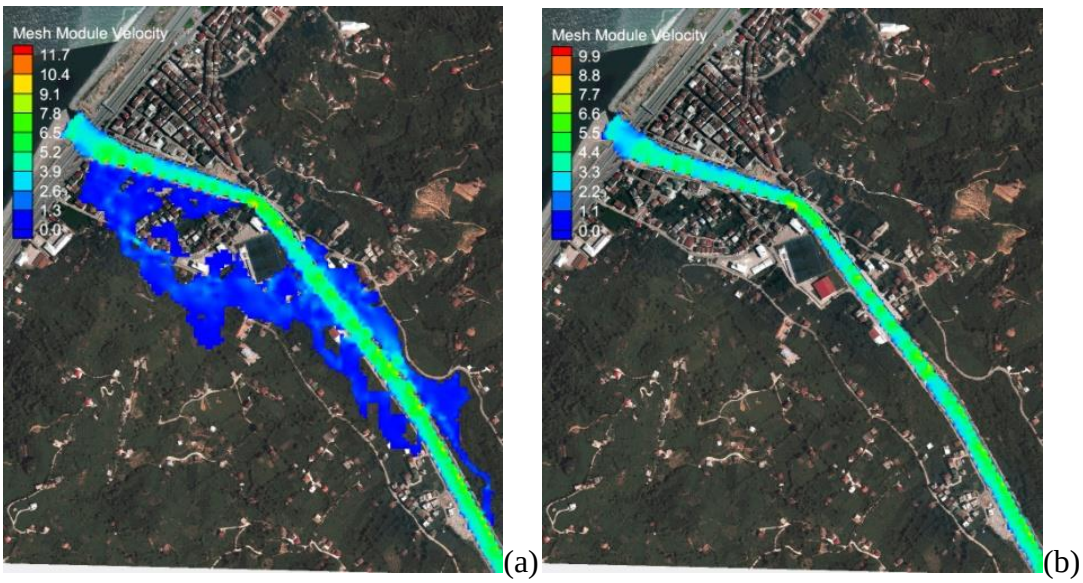
**EK F**



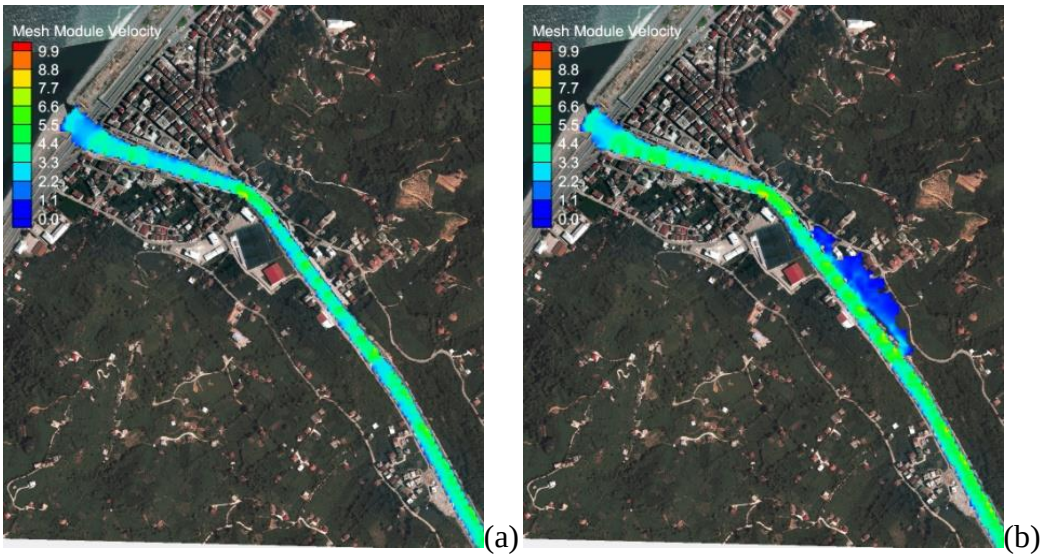

**Şekil F.1 :** Çağlayan Ir. 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.



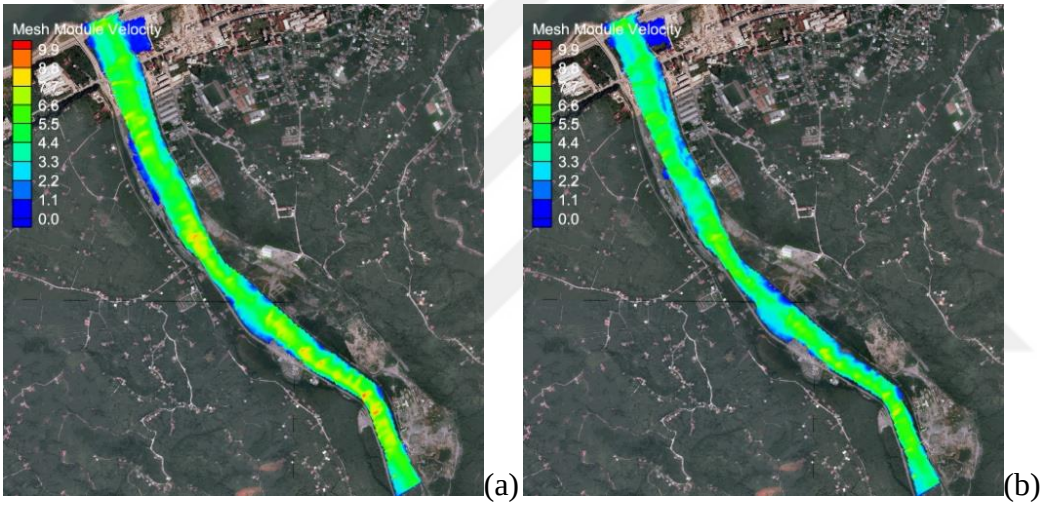

**Şekil F.2 :** Çağlayan Ir. 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.



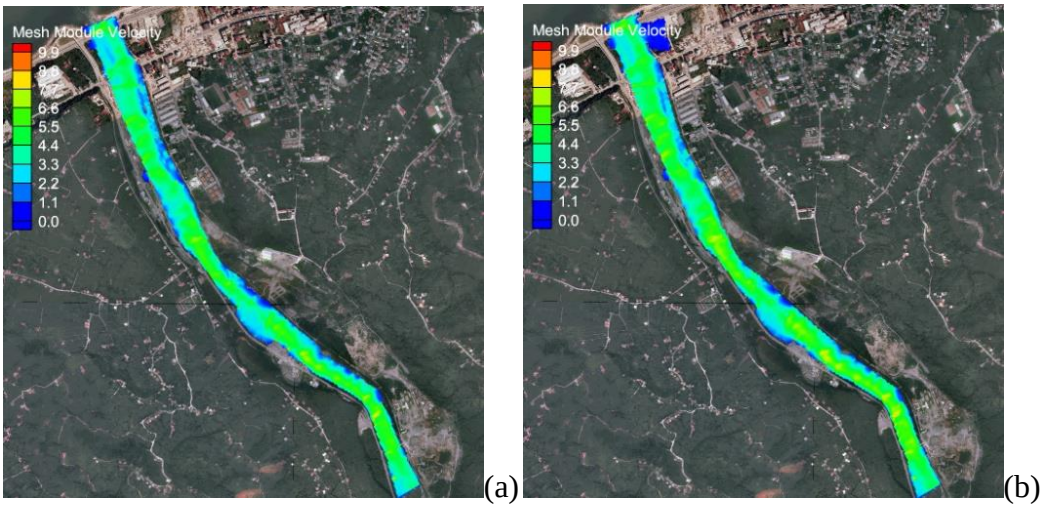

**Şekil F.3 :** Tahiroğlu Ir. 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.



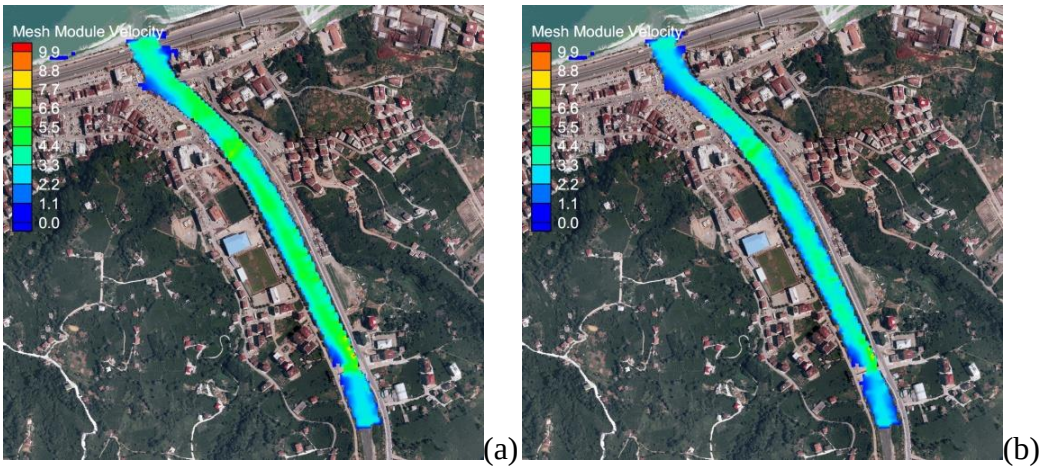

**Şekil F.4 :** Tahiroğlu Ir. 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.



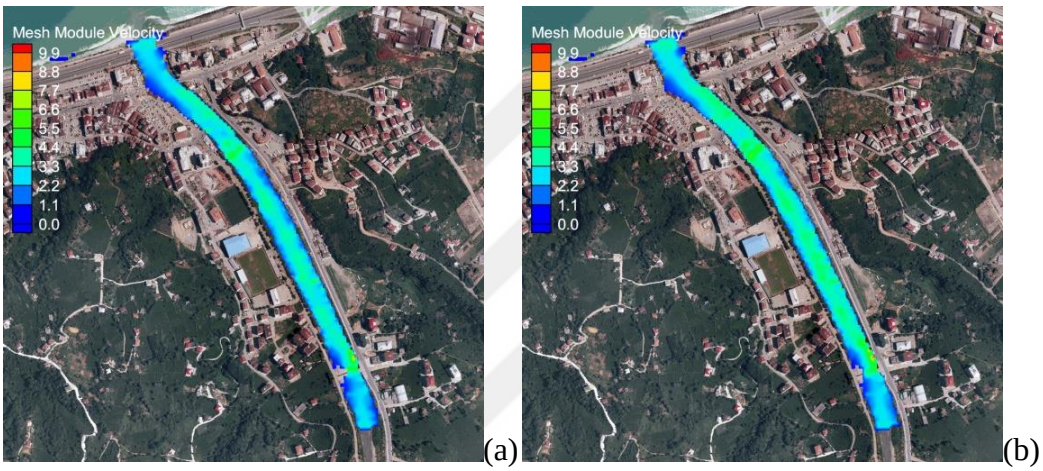

**Şekil F.5 :** Fırtına Deresi 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.



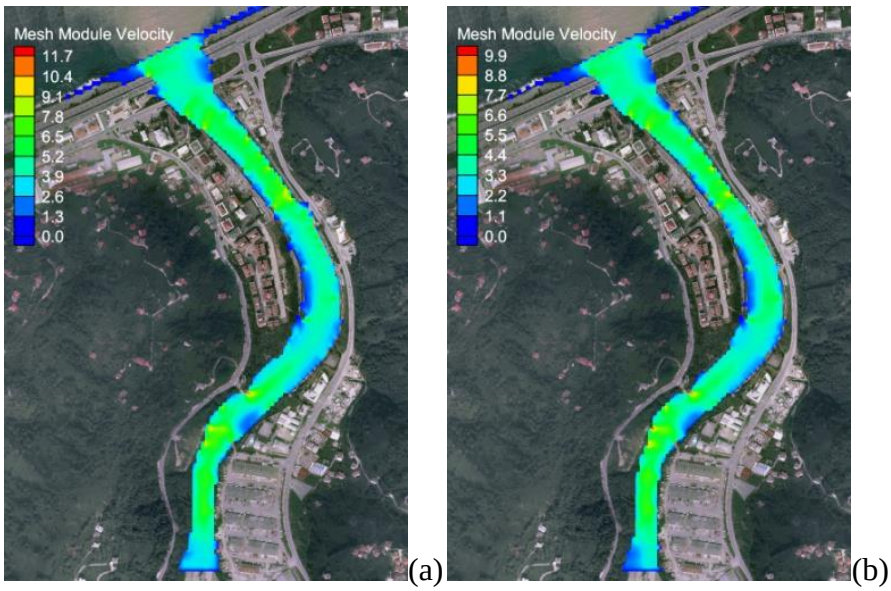

**Şekil F.6 :** Fırtına Deresi 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.



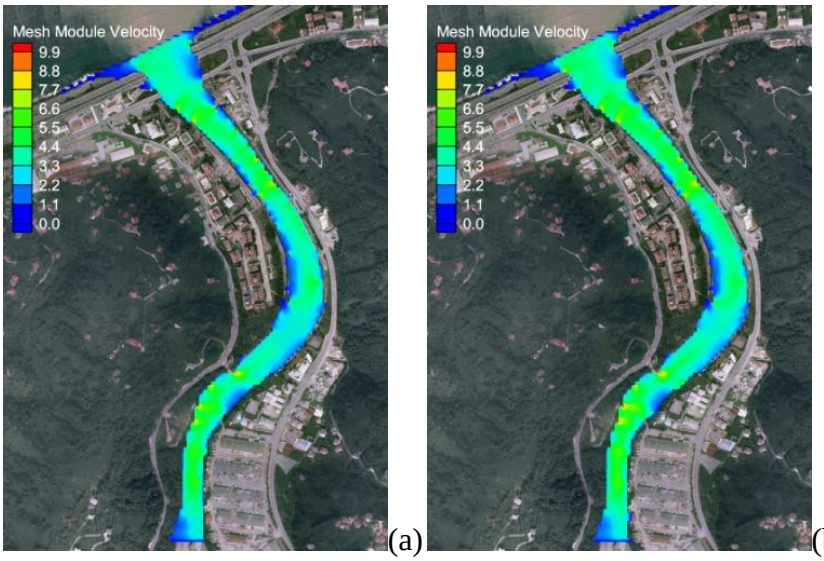

**Şekil F.7 :** Hemşin Deresi 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.




**Şekil F.8 :** Hemşin Deresi 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.

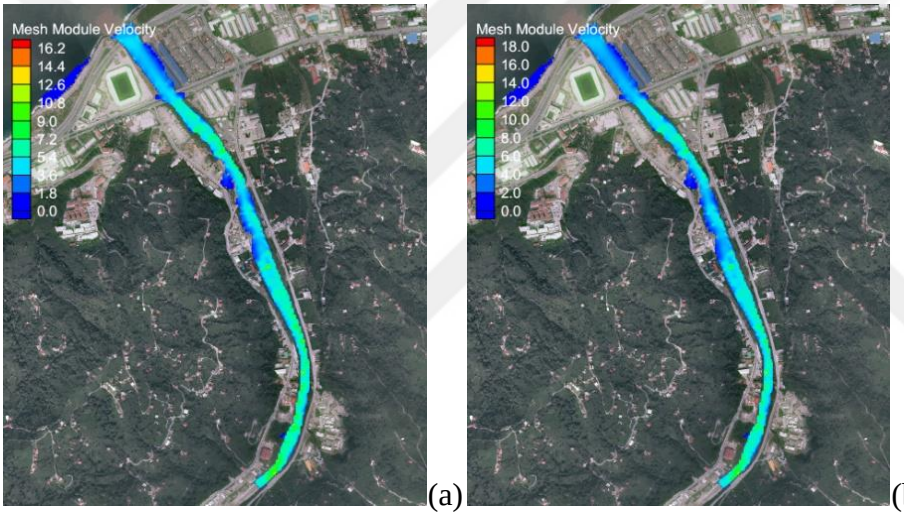



**Şekil F.9 :** Büyük Çayı 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.



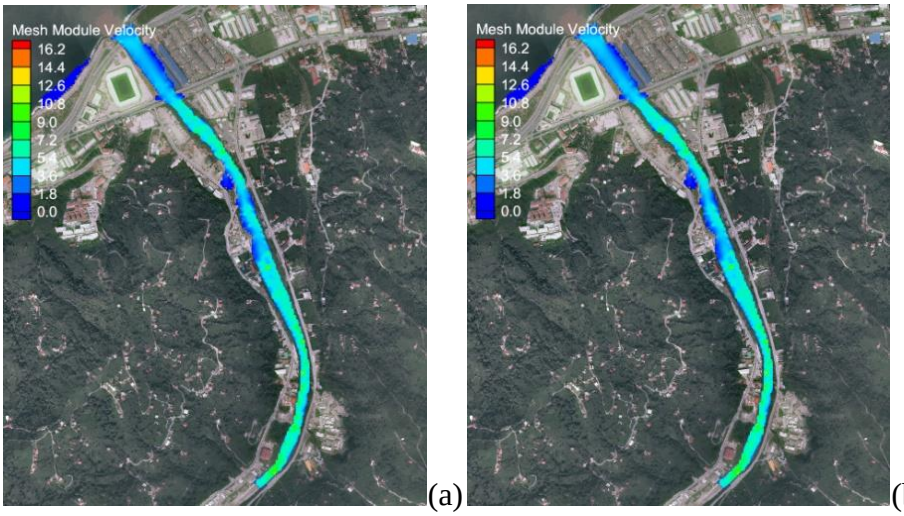

(a) (b)

**Şekil F.10 :** Büyük Çayı 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.



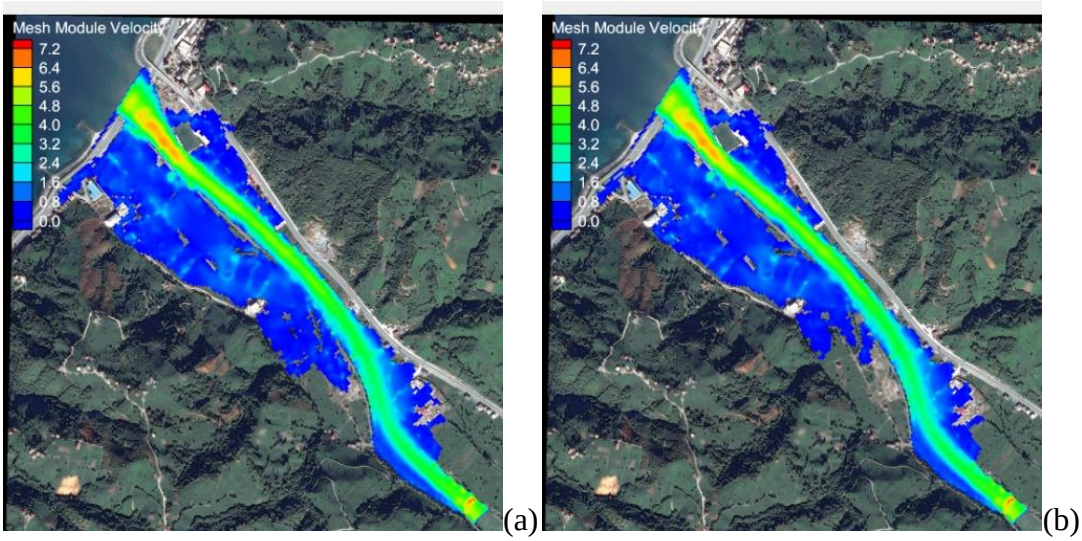

(a) (b)

**Şekil F.11 :** Taşlı Dere 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.

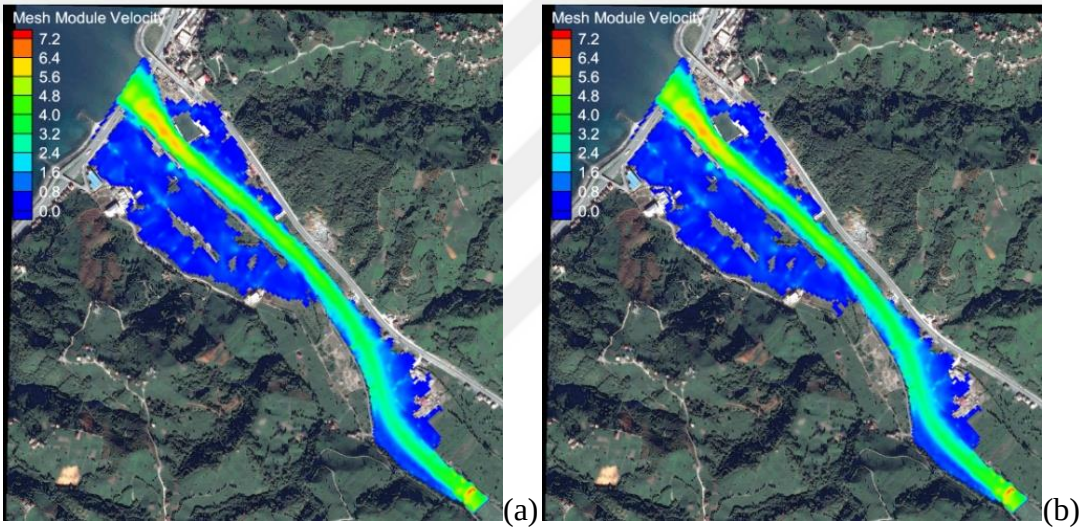



(a) (b)

**Şekil F.12 :** Taşlı Dere 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.

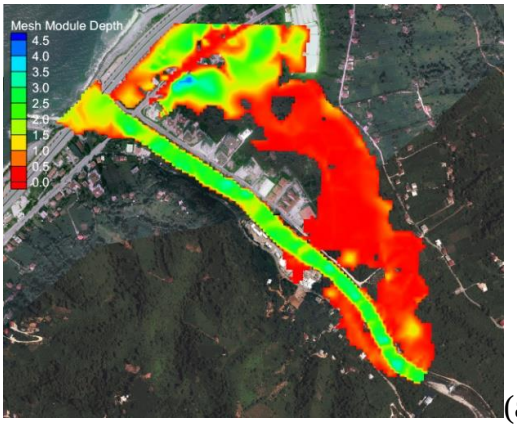



**Şekil F.13 :** İyidere 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.




**Şekil F.14 :** İyidere 100 yıllık taşkın su hızları: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.

## EK G

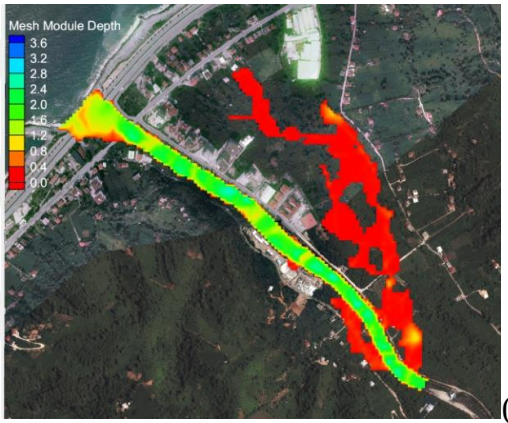


(a)


(b)

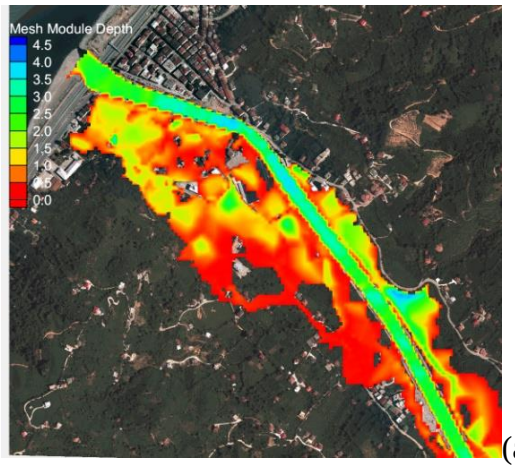
**Şekil G.1 :** Çağlayan Ir. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.



(a)


(b)

**Şekil G.2 :** Çağlayan Ir. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.

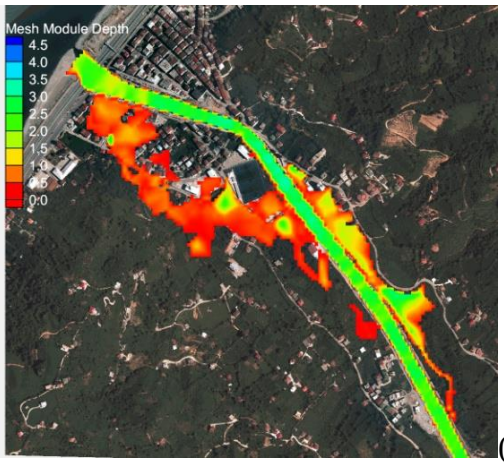


(a)


(b)

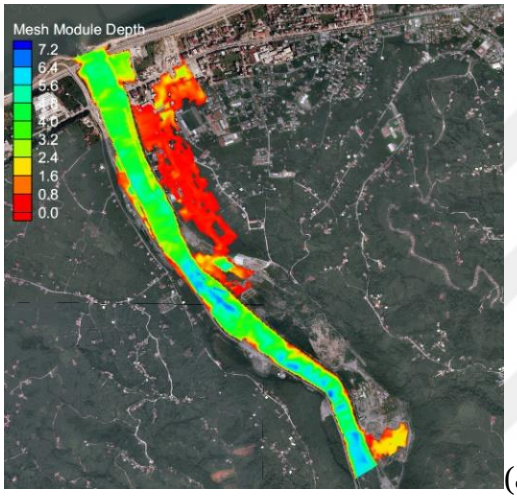
**Şekil G.3 :** Tahiroğlu Ir. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.

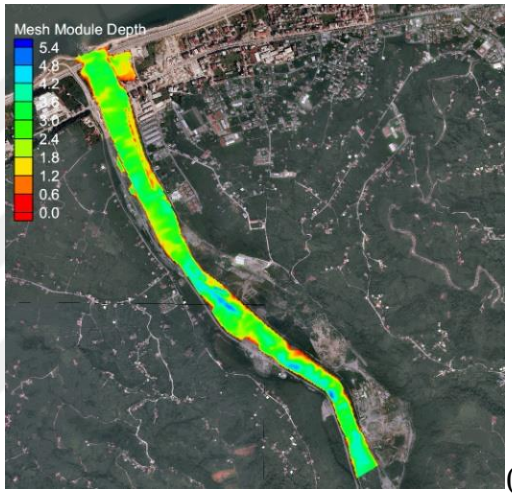


(a)


(b)

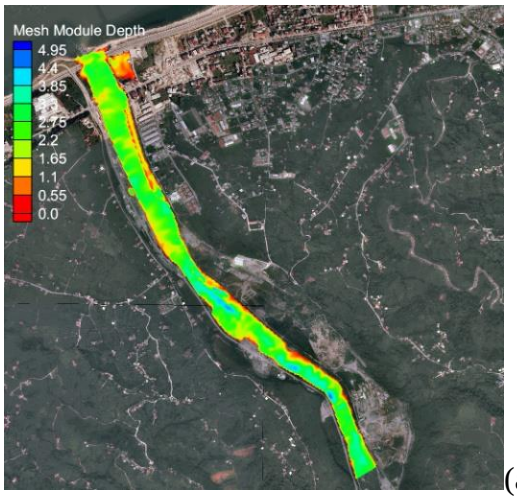
**Şekil G.4 :** Tahiroğlu Ir. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.

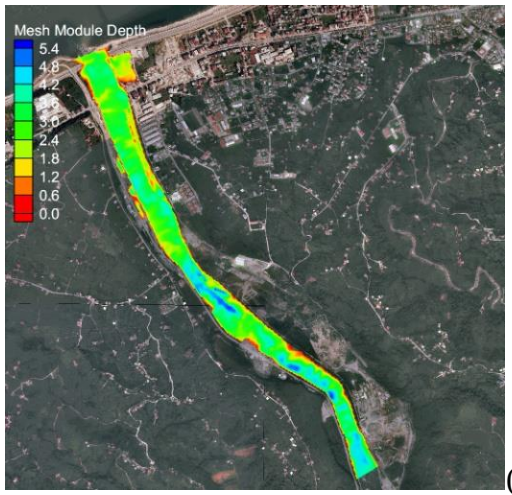


(a)


(b)

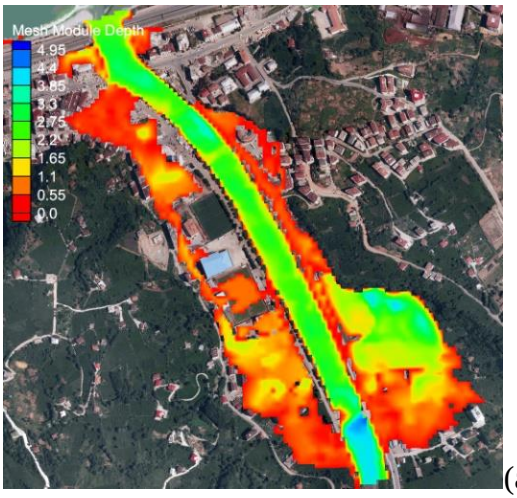
**Şekil G.5 :** Fırtına Deresi 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.

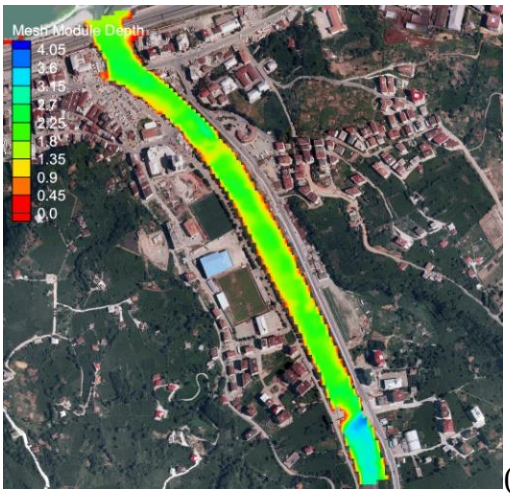


(a)


(b)

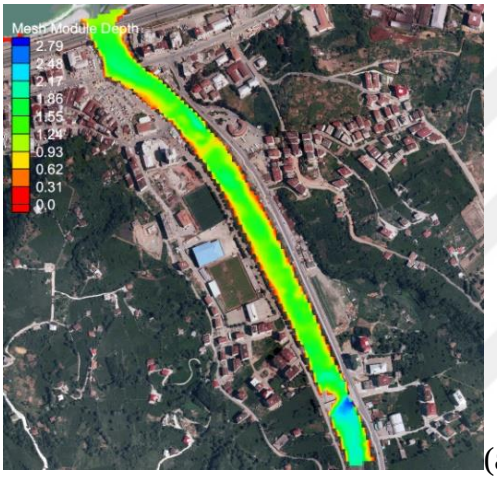
**Şekil G.6 :** Fırtına Deresi 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.

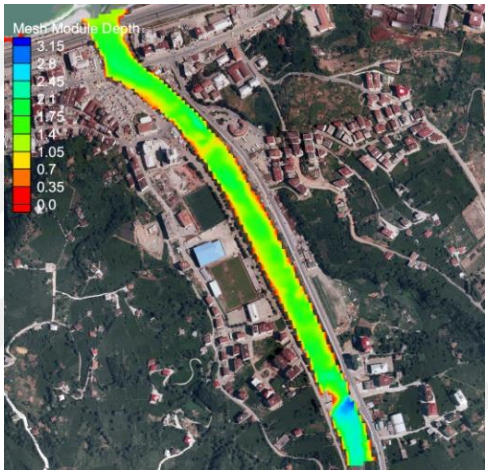


(a)


(b)

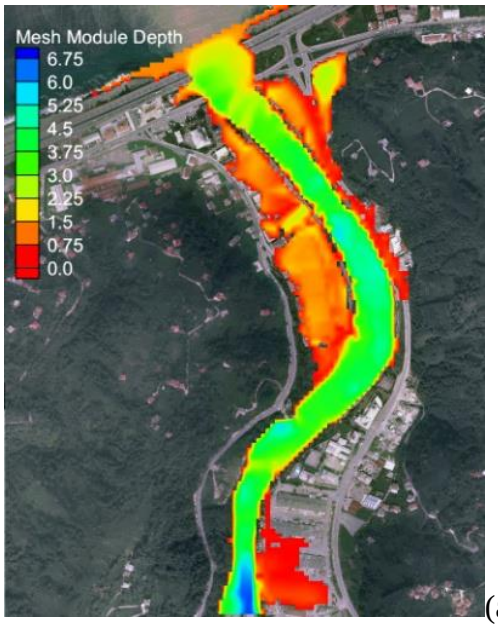
**Şekil G.7 :** Hemşin D. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.

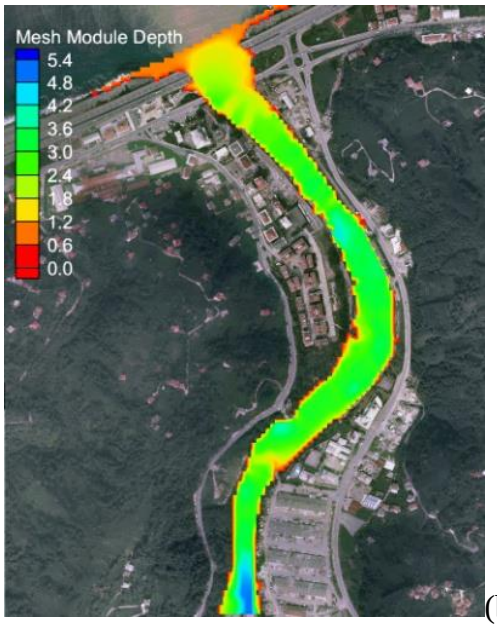


(a)


(b)

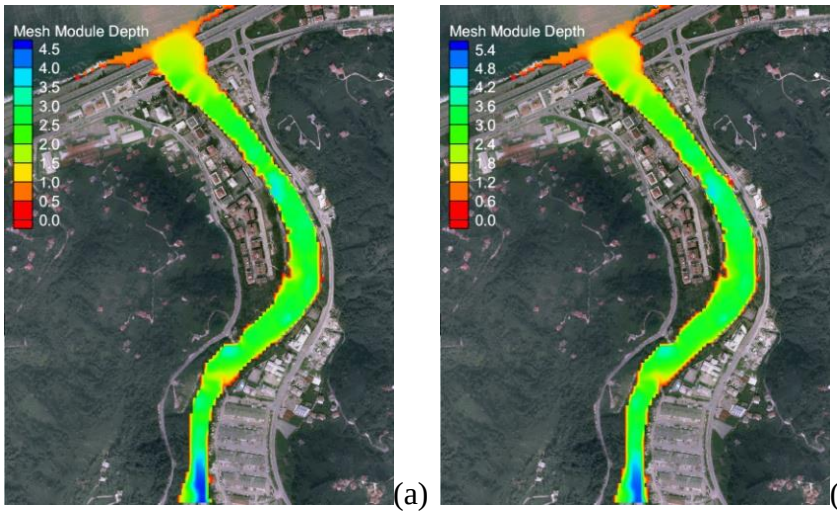
**Şekil G.8 :** Hemşin D. 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.



(a)


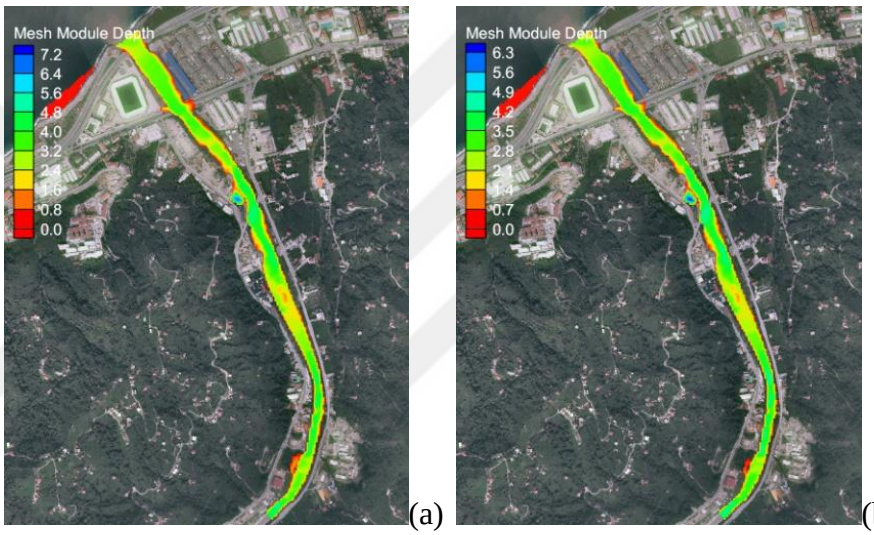
(b)

**Şekil G.9 :** Büyük Çayı 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.



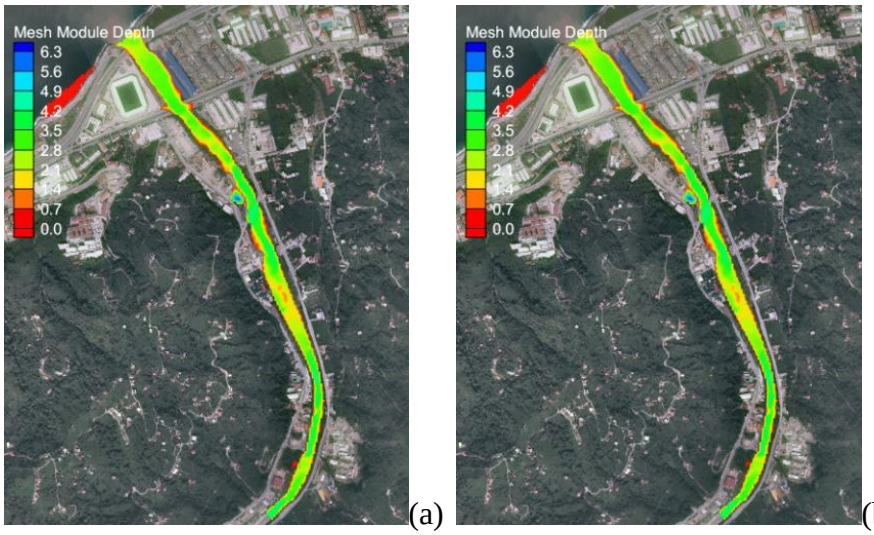

(a) (b)

**Şekil G.10 :** Büyük Çayı 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.



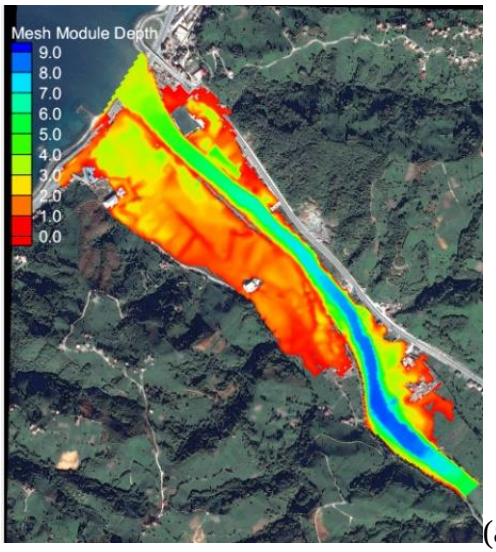

(a) (b)

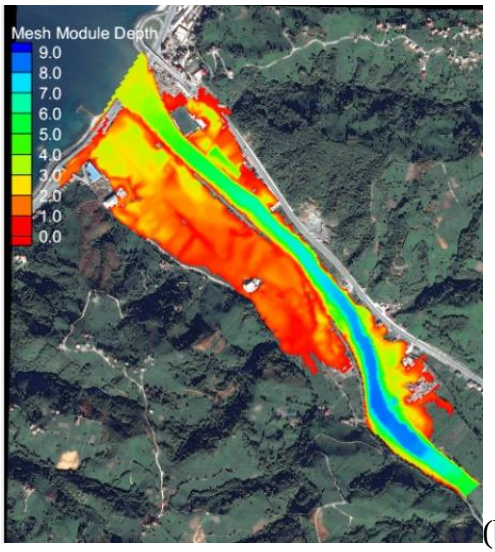
**Şekil G.11 :** Taşlı Dere 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.




(a) (b)

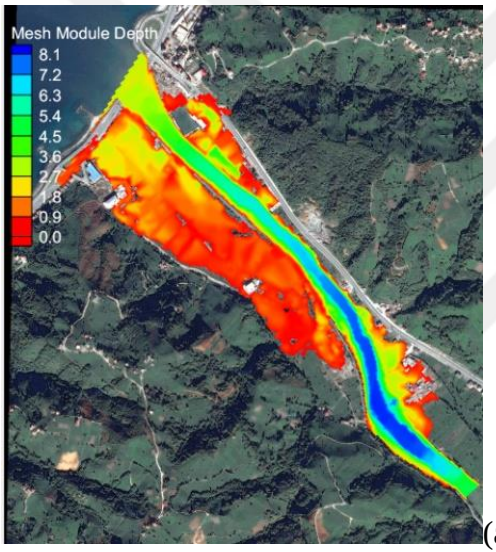
**Şekil G.12 :** Taşlı Dere 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.

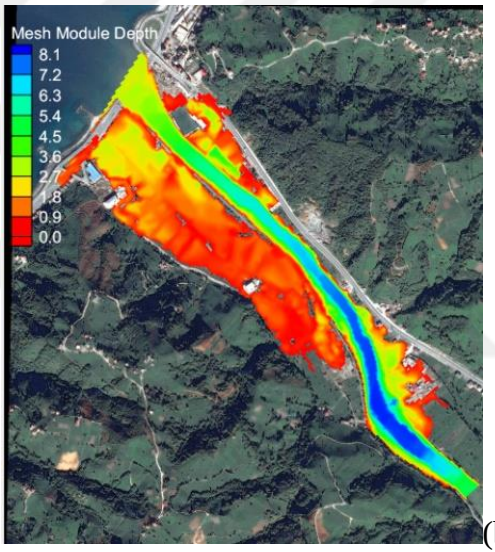


(a)


(b)

**Şekil G.13 :** İyidere 500 yıllık su derinlikleri: (a) 1990 yılı. (b) 2039 yılı.



(a)


(b)

**Şekil G.14 :** İyidere 500 yıllık su derinlikleri: (a) 2069 yılı. (b) 2099 yılı.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** **:** Olgay Şen

**Doğum Tarihi ve Yeri** **:** 21.07.1985 - Şarköy

**E-posta** **:** olgaysen@gmail.com

## ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2008, İTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yükseklisans** **:** 2011, İTÜ, İnşaat Mühendisliği, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği

## DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

### SCI Makaleleri

- **Şen, O.** and Kahya, E. (2017). Determination of flood risk: A case study in the rainiest city of Turkey. *Environmental Modelling & Software*, *93*, 296-309.

- **Şen, O.** and Kahya, E. (2019). Curve Number Estimation in Mountainous Catchments with Inadequate Data Coverage: Prediction of Flood Discharges. *Journal of Hydrologic Engineering* (submitted)

- **Şen, O.** and Kahya, E. (2019). The Impacts of Climate Change on Rainfall Intensity–Duration–Frequency Curves in Rize, Turkey. *Climatic Change* (in submission)

### Projeler

- Rize İl Sınırlarında Bulunan Su Havzalarının Taşkın Risk Tayini: İklim ve Hidrolojik Modellere Göre Mevcut ve Gelecekteki Durum, 2015. TUBITAK Proje No:112Y204.