DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİ ALTINDA RİSK TABANLI TASARIM

Eser BORA

Eylül, 2016
İZMİR

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİ ALTINDA RİSK TABANLI TASARIM

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik, Hidroloji ve Su Kaynakları Programı

Eser BORA

Eylül, 2016
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ESER BORA, tarafından **DOÇ. DR. GÜLAY ONUŞLUEL GÜL** yönetiminde hazırlanan **"İKLİM DEĞİŞİKLĞİ ETKİLERİ ALTINDA RİSK TABANLI TASARIM"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Doç. Dr. Gülay ONUŞLUEL GÜL

Danışman

.....	.....
Yrd. Doç. Dr. Ömer Levend Arıkoğlu	Yrd. Doç. Dr. Ayşegül Özsoy Aksoy
Jüri Üyesi	Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ayşe OKUR
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, çalışmanın her aşamasında elinden gelen yardımı ve gayreti esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Gülay ONUŞLUEL GÜL'E teşekkürlerimi sunarım.

Eser BORA

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİ ALTINDA RİSK TABANLI TASARIM

ÖZ

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, iklim değişikliğinin su yapıları tasarımlarında gerekli olan tasarım taşkın ve tasarım yük değerlerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma, Sakarya Havzası'nın içinde bulunan Ankara Güvenç Havzası'nda gerçekleştirilmiş olup havzanın drenaj alanı 15,247 km2'dir. Çalışmada, hidrolojik model olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı HECGeo-HMS arayüzü ve HEC-HMS hidrolojik modeli kullanılmıştır. Ayrıca sentetik yöntemlerle de sonuçlar karşılaştırılmıştır. İklim değişikliği etkilerinin incelenmesinde Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin son değerlendirme raporunda yayımlanan RCP 8.5 ve RCP 4.5 senaryoları kullanılmıştır. Küresel iklim modeli olarak HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5.1 modelleri, 10x10km'lik gridler halinde ölçeklendirilerek bölgesel iklim modeli çıktıları kullanılmıştır. Güvenç Havzasının dolusavak su yükü değeri (h_0) hem tarihsel verilerle hem de iklim değişikliği etkileri altında incelenmiş olup en riskli alt yapı profile oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güvenç Havzası,HEC-HMS, RCP, HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5.1, h_0

RISK-BASED DESIGN UNDER THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE

ABSTRACT

In this thesis, design flood and design load values have been investigated under the effects of climate change. The study was carried out for Guvenc Basin which belongs to Sakarya Basin in Ankara. The drainage area of the basin is 15.247 km2. In the study, two Geographic Information System based hydrological models, named HEC-HMS and HECGeo-HMS, were used, in addition, the results were compared with the output produced using synthetic methods. RCP 8.5 and RCP 4.5 climate change scenarios published by Intergovernmental Panel on Climate Change were used to determine effects of climate change. 10x10km downscaled datasets of earth system models of HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5.1 by using Regional Climate Model was examined for the study. Using historical data, current situation of the head of water over values for Guvenc Basin was determined and the impact of climate change on these values has been analyzed. As a result, a risk profile was created.

Keywords: Guvenc Basin, HEC-HMS, RCP, HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5.1,h_0

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iv
ABSTRACT v
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLOLAR LİSTESİ x

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

1.1 Çalışmanın Amacı 1
1.2 Geçmişte Yapılan Akademik Çalışmalar 2

BÖLÜM İKİ - ÇALIŞMA ALANININ ÖZELLİKLERİ 7

2.1 Ankara İli Uzun Yıllar Meteorolojik Değerler 8
2.2 Güvenç Havzası 9
2.2.1 Güvenç Havzası Yağış Karakteristikleri 12
2.3 Güvenç Havzası Toprak Özellikleri 15
2.4 Güvenç Havzasının Jeolojik Özellikleri 17
2.5 Güvenç Havzası Arazi Örtüsü 18
2.5.1 Güvenç Havzası Akış Eğri Numarası 21

BÖLÜM ÜÇ - GÜVENÇ HAVZASI YAĞIŞ-AKIŞ SİMÜLASYONU HEC-HMS MODEL YAKLAŞIMI 24

3.1 HEC-HMS Model Yaklaşımı 25
3.1.1 Güvenç Havzası CBS Altlıklarının Oluşturulması 25
3.2 Güvenç Havzası Yağış Akış Simülasyonu 29
3.3 Güvenç Havzası Kalibrasyon Çalışmaları 30
3.4 Güvenç Havzası Model Doğrulama Çalışmaları 37

BÖLÜM DÖRT - GÜVENÇ HAVZASI PİK TAŞKIN DEBİLERİNİN HESAPLANMASI 45

4.1 HEC-HMS Modeli ile Farklı Tekerrürlere Sahip Taşkın Değerlerinin Bulunması 45

4.2 Sentetik Yöntemler ile Farklı Tekrrüre Sahip Taşkın Değerlerinin Hesaplanması 51

4.2.1 Güvenç Havzası DSİ Sentetik ve Mockus Yöntemi ile Taşkın Değerlerinin Eldesi 51

BÖLÜM BEŞ - GÜVENÇ HAVZASI İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİNİN PİK TAŞKIN DEBİLERİNE OLASI ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ 56

5.1 Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP) 56

5.1.1 Ölçek Küçültme Yaklaşımları 57

5.2 Güvenç Havzasının İklim Değişikliği Etkilerinin Belirlenmesi 58

5.2.1 Bölgesel İklim Modeli Sonuçlarına göre Standart Zamanlardaki Yağış Miktarlarının Hesaplanması 61

5.2.2 Bölgesel İklim Modeli Sonuçlarına göre Güvenç Havzası Farklı Tekerrüre Sahip Pik Taşkın Debilerinin Hesaplanması 64

BÖLÜM ALTI - İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİNİN GÜVENÇ GÖLETİ YAPI TASARIMINA OLAN ETKİSİ 68

6.1 Güvenç Göleti Kot-Alan-Hacim 68

6.2 Güvenç Göleti Taşkın Öteleme Hesaplamaları 70

6.2.1 HEC-HMS Modeli ve DSİ Sentetik Yöntemi Sonuçları için Taşkın Öteleme Hesaplamaları 71

6.2.2 İklim Değişikliği Etkileri Altında HEC-HMS Modeli ve DSİ Sentetik Yöntemi Sonuçları için Taşkın Öteleme Hesaplamaları 75

BÖLÜM YEDİ - SONUÇ VE ÖNERİLER 79

KAYNAKLAR 81

EKLER 84

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Güvenç Havzası lokasyon haritası 8
Şekil 2.2 Güvenç Havzası eğim dağılımı 10
Şekil 2.3 Güvenç Havzası sayısal yükseklik haritası (DEM) 11
Şekil 2.4 Güvenç Havzası karakteristik özellikleri 12
Şekil 2.5 Güvenç Havzası thiessen poligonu 13
Şekil 2.6 Güvenç Havzasının toprak özellikleri 17
Şekil 2.7 Güvenç Havzası arazi örtüsü (Corine 2012) 19
Şekil 2.8 Güvenç Havzası arazi örtüsü (Corine 1990) 21
Şekil 3.1 Güvenç Havzası eş yükselti eğrileri 26
Şekil 3.2 HecGeo-HMS 5.0 işlem adımları. 26
Şekil 3.3 Güvenç Havzası bağlı paftaların alt havza ve akarsu yolları 27
Şekil 3.4 HecGeo-HMS yazılımı HMS uzantıları işlemleri 28
Şekil 3.5 Güvenç Havzası HMS şematiği 28
Şekil 3.6 HEC-HMS 3.4 model içeriği 29
Şekil 3.7 Güvenç Havzası HEC-HMS modeli 30
Şekil 3.8 Güvenç Havzası “Basin Models” tanımlamaları 31
Şekil 3.9 Güvenç Havzası “01.07.1992” tarihli birim hidrograf ordinat değerleri ... 32
Şekil 3.10 HEC-HMS modeli “01.07.1992” tarihli kalibrasyon çalışması 33
Şekil 3.11 Güvenç Havzası “05.06.1993” tarihli birim hidrograf ordinat değerleri . 34
Şekil 3.12 HEC-HMS modeli “05.06.1993” tarihli kalibrasyon çalışması 35
Şekil 3.13 Güvenç Havzası “10.05.1998” tarihli birim hidrograf ordinat değerleri 36
Şekil 3.14 HEC-HMS modeli “10.05.1998” tarihli kalibrasyon çalışması 37
Şekil 3.15 Güvenç Havzası “02.06.2000” tarihli birim hidrograf ordinat değerleri 38
Şekil 3.16 HEC-HMS modeli “02.06.2000” tarihli doğrulama çalışması 39
Şekil 3.17 Güvenç Havzası “01.05.2002” tarihli birim hidrograf ordinat değerleri . 40
Şekil 3.18 HEC-HMS modeli “01.05.2002” tarihli doğrulama çalışması 41
Şekil 3.19 Güvenç Havzası “26.05.2005” tarihli birim hidrograf ordinat değerleri .. 42
Şekil 3.20 HEC-HMS modeli “26.05.2005” tarihli doğrulama çalışması 43
Şekil 4.1 HEC-HMS modelinde farklı tekerrüre sahip yağışların gösterilmesi 45

Şekil 4.2 Güvenç Havzası HEC-HMS modeli pik taşkın debileri 50
Şekil 4.3 Güvenç Havzası DSI Sentetik yöntemi pik taşkın debileri..... 55
Şekil 4.4 Güvenç Havzası DSI Sentetik ve HEC-HMS modeli pik taşkın debileri... 55
Şekil 5.1 Bölgesel iklim modeline göre belirlenmiş grid noktaları (10km-10km) . .. 58
Şekil 5.2 Güvenç Havzası çevresinde bulunan grid noktaları 59
Şekil 5.3 Güvenç Havzası yakın çevrede bulunan gridlerin thiessen poligonu 60
Şekil 5.4 Bölgesel iklim modeli (RegCM) yılda anlık maksimum yağış değerleri ... 61
Şekil 5.5 İklim değişikliği etkileri altında HEC-HMS modeli pik taşkın debileri... 65
Şekil 5.6 İklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik yöntemi pik taşkın debileri 66
Şekil 6.1 Güvenç Havzası 1060-1080 kotları arası 2 (m) aralıklı eş yükselti eğrileri 68
Şekil 6.2 Güvenç Göleti kot-alan-hacim eğrileri 70
Şekil 6.3 HEC-HMS modeli taşkın giriş ve çıkış debileri 73
Şekil 6.4 DSİ Sentetik taşkın giriş ve çıkış debileri..... 74
Şekil 6.5 İklim değişikliği etkileri altında Hec-Hms taşkın giriş ve çıkış Debileri ... 76
Şekil 6.6 İklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik taşkın giriş ve çıkış debileri 77
Şekil 6.7 Güvenç Göleti risk tabanlı alt yapı profili 78

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Ankara ili uzun yıllar meteorolojik değerler (1980-2015) 9
Tablo 2.2 Ankara Güvenç Havzası thiessen poligon alanları 14
Tablo 2.3 Ankara KHAE meteoroloji istasyonu uzun yıllar iklim parametreleri 14
Tablo 2.4 Güvenç Havzasındaki yağış istasyonlarının en yüksek kar derinlikleri 15
Tablo 2.5 Güvenç Havzasındaki toprak serilerinin özellikleri..... 16
Tablo 2.6 Güvenç Havzası arazi örtüsü (Corine, 2012) 18
Tablo 2.7 Güvenç Havzası arazi örtüsü (Corine, 1990)..... 20
Tablo 2.8 Ankara bölgesi arazi sınıfları akış eğri numaraları 22
Tablo 2.9 Güvenç Havzası alansal eğri numaraları (Corine, 1990)..... 23
Tablo 2.10 Güvenç Havzası alansal eğri numaraları (Corine, 2012)..... 23
Tablo 3.1 Güvenç Havzası aylık ortalama yağış ve akım değerleri..... 24
Tablo 3.2 Güvenç Havzası “01.07.1992” tarihli plüviyograf analizi..... 31
Tablo 3.3 Güvenç Havzası “05.06.1993” tarihli plüviyograf analizi..... 33
Tablo 3.4 Güvenç Havzası “10.05.1998” tarihli plüviyograf analizi 35
Tablo 3.5 Güvenç Havzası “02.06.2000” tarihli plüviyograf analizi 38
Tablo 3.6 Güvenç Havzası “01.05.2002” tarihli plüviyograf analizi..... 40
Tablo 3.7 Güvenç Havzası “26.05.2005” tarihli plüviyograf analizi..... 42
Tablo 4.1 Güvenç Havzası R-25 istasyonu plüviyograf katsayıları 46
Tablo 4.2 R-25 İstasyonu standart zaman aralıklarında en yüksek yağış değerleri .. 47
Tablo 4.3 R-25 İstasyonunda standart süreli maksimum yağışların örnek istatistiği 48
Tablo 4.4 Standart süreli maksimum yağışların uygun dağılım modelleri 48
Tablo 4.5 Güvenç Havzası yağış miktarları tekerrür analizi..... 49
Tablo 4.6 Güvenç Havzası HEC-HMS modeli pik taşkın debileri 50
Tablo 4.7 Güvenç Havzası harmonik eğim hesap tablosu 51
Tablo 4.8 Yinelenmeli yağışlar (24 Saatlik) 52
Tablo 4.9 Yağış alan dağılım katsayıları 52
Tablo 4.10 Mockus yöntemi tekerrürlü akış yükseklikleri 53
Tablo 4.11 Mockus, DSİ Sentetik ve HEC-HMS tekerrürlü pik taşkın debileri..... 53
Tablo 4.12 Güvenç Havzası DSI Sentetik yöntemi pik taşkın debileri..... 54

Tablo 5.1 bölgesel iklim modeli günlük maksimum yağışların ekstrem dağılımı 62
Tablo 5.2 HadGEM 8.5 standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi 62
Tablo 5.3 HadGEM 4.5 standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi 63
Tablo 5.4 MPI 8.5 standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi..... 63
Tablo 5.5 MPI 4.5 standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi..... 63
Tablo 5.6 CNRM 8.5 standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi..... 64
Tablo 5.7 CNRM 4.5 standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi..... 64
Tablo 5.8 İklim değişikliği etkileri altında HEC-HMS modeli pik taşkın debileri.... 65
Tablo 5.9 İklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik yöntemi pik taşkın debileri 66
Tablo 5.10 DSİ Sentetik ve HEC-HMS modeli 500, 1000 yıllık pik taşkın debileri. 67
Tablo 6.1 Güvenç Havzası kot-alan-hacim değerleri..... 69
Tablo 6.2 HEC_HMS Modeli taşkın giriş ve çıkış Debileri 72
Tablo 6.3 DSİ Sentetik yöntemi taşkın giriş ve çıkış debileri..... 74
Tablo 6.4 İklim değişikliği etkileri ile HEC-HMS taşkın öteleme hesaplamaları 75
Tablo 6.5 İklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik taşkın öteleme değerleri ... 76

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Taşkın frekans analizi, su kaynakları projelerinin ekonomik ve hidrolojik olarak değerlendirilmesinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Bu yöntem ile belirli tekerrürlü olası bir taşkın büyüklüğünün veya belirli büyüklükte bir taşkın frekansının tahmin edilmesi mümkün olup hidrolik yapıların uygun tasarım kriterlerinin saptanması ve proje maliyetinin düşürülmesine de imkan sağlanabilmektedir. Bu amaçla, istatistiksel frekans analizi uygulanarak olasılık dağılımlarının belirlenmesi suretiyle taşkın tahminleri gerçekleştirilebilmektedir. Bunun yanısıra havzanın karakteristik özelliklerini detaylı bir şekilde inceleyerek sentetik yöntemlerle de taşkın tahminleri yapılabilmektedir Baraj ve göletlerin dolusavak tasarımlarında sentetik yöntemler kullanılarak hesaplamalar yapmak mümkün olmaktadır.

Çalışmada kullanılan Hydrologic Engineering Center HEC-HMS modeli ile havzanın özellikleri CBS tabanlı HecGeo-HMS ara yüzü kullanılarak oldukça detaylı bir şekilde incelenebilmektedir. Sentetik yöntemlere bağlı kalınarak tasarlanan birçok su yapılarının inşaatı çok eski yıllarda tamamlanmıştır. Ancak günümüzde hem iklimsel hem de havzanın özelliklerinde değişimler gözlemlenmektedir. Baraj ve göletlerdeki dolusavaklar büyük tekerrürlü taşkın debileri esas alınarak geleneksel yöntemlerle tasarlandığından olası iklim değişikliği etkileri bu tasarımlarda göz ardı edilmiştir. Bu sebeple güncel havzanın içerisinde bulunduğu en küçük ölçekteki gridin yılda günlük maksimum yağış değerleri kullanılarak iklim değişikliği etkileri altında oluşturulan yağış-süre-tekerrür değerleri ile pik taşkın debilerindeki değişim araştırılmıştır.

Sunulan çalışmada, sentetik yöntemler ile oluşturulan pik taşkın debilerinin HEC-HMS modeli sonuçları ve iklim değişikliği etkileri altındaki model sonuçlarının karşılaştırılması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, taşkın ötelemesi sonucu dolusavak su yükü (h_0) değeri, hem tarihsel verilerle hem de iklim değişikliği etkileri

altında hesaplanarak aralarındaki ilişki incelenmiştir. En riskli durum gözetilerek alt yapı profili oluşturulmuştur.

1.2 Geçmişte Yapılan Akademik Çalışmalar

Yener, Şorman, Şensoy ve Gezgin (2011), Yuvacık Havzasın'da yaptıkları çalışmada, HEC-HMS modeli ve DSİ Sentetik yöntemini kullanarak 2, 10, 25, 50, 100 yılda bir gelebilecek pik taşkın debilerinin karşılaştırılmasını gerçekleştirmişlerdir. HEC-HMS ile hidrograf hesaplamaları için 3 ayrı alt havzada kalibrasyon ve validasyon çalışmaları yapılmıştır. Havzanın drenaj alanı 257,86 km² olup araştırma sonucunda, DSİ Hidrografı ile HEC-HMS modelinden elde edilenhidrograf sonuçları birbirine çok yakın çıkmıştır. 100 yıllık pik taşkın debilerinde, DSİ ve HEC-HMS hidrograf sonuçları sırasıyla, 597 m³/s ve 599,5 m³/s olarak bulunmuştur.

Onuşluel Gül ve diğer. (2013), Seyhan ve İyidere Havzaları'nda yapmış oldukları çalışmada, havzalarda bulunan akım gözlem istasyonlarının zamansal değişimini araştırmış olup trend eğilimi olan istasyonlarda durağan olmayan GEV dağılımı ile anlık maksimum pik debilerin değişimini incelemişlerdir. Sonuç olarak 1965-2009 ve 1969-2009 yıllarında gözlemi olan iki gözlem istasyonunda trend eğiliminin olduğu bunun yanısıra 2,5,10 yılda bir oluşabilecek pik taşkın debilerinde durağan modellerle tahmin edilenin altında sonuçlar bulunurken 100 ve 1000 yılda bir oluşabilecek pik taşkın debilerinde durağan olmayan modellerin daha doğru sonuç verebileceği öngörülmüştür. Dolayısıyla iklimsel değişim sürecinde olan ülkemizde durağan olmayan modellerin kullanımının önemi vurgulanmıştır.

Kuklicke ve Demeritt (2016), İngiltere'de yapmış oldukları araştırmada, iklim değişikliği etkileri altında değişen pik taşkın debilerine bağlı olarak oluşturulabilecek yeni su yapılarında risk çalışması yürütmüşlerdir. Araştırmanın sonucunda risk analizi yapılarak iklim değişikliği etkisi altında anlık oluşabilecek pik taşkın debilerinde %20 artış oluşabileceği öngörülmüştür.

Tofig ve Güven (2015), Irak'taki Darbandikhan Barajı yağış havzasının anlık maksimum pik debilerini, tarihsel anlık maksimum taşkın debileri ve iklim değişikliği senaryolarından bölgesel iklim modeli kullanılarak SRES A2 senaryosunun günlük anlık maksimum debileri ile Kolmogorov Smirnov testi ile 10 yıl ile 10.000 yılda bir oluşabilecek pik taşkın debileri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak iklimsel değişikliği etkileri değerlendirilerek pik taşkın debilerinde %25 azalma olacağı öngürülmüştür.

Lu. Y ve diğer. (2016), Çin Halk Cumhuriyeti'nin Duhe Havzası'nda yürüttükleri çalışmada, hükümetlerarası dördüncü değerlendirme raporunda yayımlanan senaryo gruplarından CGM3 A2 ve HadCM3 A2 küresel iklim modelleri kullanılmıştır. Araştırmada, iklim değişikliği etkileri altında yılda anlık maksimum taşkın debilerindeki değişim incelenmiştir. 12,431 km² drenaj alanına sahip Duhe Havzası'nda iklim değişikliği etkilerini inceleyebeilmek için 4 farklı ölçeklendirilmiş grid noktasının sonuçları kullanılmıştır. Çalışmada, iklim değişikliği etkileri altında yılda anlık maksimum taşkın debilerinde artış olacağı ve buna bağlı olarak oluşturulacak su yapılarında risk analizi çalışmalarının oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır.

Chen ve diğer. (2002), Çin Halk Cumhuriyeti'ndeki Tarim akarsu havzasında yaptıkları çalışmada iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre sıcaklık değerlerinde artış yağış ve akım trendinde ise azalış olduğu tespit edilmiştir. iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkilerinin araştırılması sonuçlarına göre gelecek yıllarda su kıtlığının çok fazla yaşanacağı belirtilmiştir.

Muis ve diğer. (2015), Endonezya'da yürüttükleri araştırmada, iklimsel değişimin ve kentleşmenin etkisiyle oluşabilecek taşkın risk analizini belirlemişlerdir. Çalışmada güncel yaklaşım olan ve IPCC 5. Değerlendirme raporunda yayımlanan RCP senaryo grupları kullanılmıştır. Sonuç olarak, taşkın analizinde, kentleşmenin iklim değişikliğinden çok daha büyük bir risk oluşturduğunu belirtmişlerdir. Nüfusta meydana gelebilecek %79'luk artışın, taşkın debilerinde %76-%120 artışa sebep

olabileceği öngörülmüştür. Aynı süreç içerisinde iklim değişim sonuçlarına göre pik taşkın debilerinde %19-37 arasında değişim olabileceği sonucuna varılmıştır.

Lorenzo ve diğer. (2015), Avrupa'da iklim değişikliği etkileri altında taşkın risk değerlendirmesi gerçekleştirmişlerdir. İklim değişikliği çalışması için RCP 8.5 senaryo grubu çalışılarak 12,5 kmX 12,5 km ölçeklendirmeli bölgesel iklim modeli kullanılmıştır. Geçmişteki tarihsel taşkın verileri olarak 1981-2010 yılları arasındaki veriler incelenmiştir. 2100 yılına kadarki oluşabilecek pik taşkın debilerindeki sonuçlar ile sosyoekonomik olarak meydana gelebilecek zararları araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda, iklimsel değişim sonucunda, Avrupanın hemen hemen birçok bölgesinde kısa süreli maksimum yağışlarda artış olacağını ve bunun etkisiyle anlık maksimum taşkın debilerinde artış olacağı öngörülmüştür. Bu sonuçlara göre alınması gereken önlemlerin maliyetinin ise hali hazırda alınan önlemlere göre yaklaşık %220 daha fazla olacağı öngörülmüştür. Btaşkın risklerinin ise %90-120 arasında artış olabileceği iklimsel değişikliğindeki en kötü senaryo grubu olan RCP 8.5 grubu için araştırılmıştır.

Gilroy ve McCuen (2011), İngiltere'nin Guilford Kasabası'na bağlı Little Patuxent Havzası'nda yapmış olduğu çalışmada, iklim değişikliği ve kentleşme etkilerinin durağan olmayan yöntemle 100 yıl tekerrürlü frekans sonuçları değerlendirilmiştir. Araştırmada, küresel iklim mdeoli (GCM) ölçeklendirilerek bölgesel olarak günlük maksimum yağışlarlardaki değişim incelenmiştir. İklim değişikliğinin etkisiyle belirlenen yılda günlük maksimum yağışlar, hidrolojik model kullanılarak yılda anlık maksimum akımlar belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre incelenen havzanın 100 yıl tekerrürlü pik taşkın değerlerinde, iklim değişikliği ve kentleşme ile birlikte % 30,2 artış olacağı belirtilmiştir.

Lawrence, Reisinger, Mullan ve Jackson (2013), Yeni Zelanda'daki Hutt Havzası'nda yaptıkları araştırmada, iklim değişikliğinin pik debiler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada 4 emisyon modeli ve 48 alternatif iklim modeli kullanarak ortalama yağış ve sıcaklıklardaki değişim 2100 yılına kadar olan süreçte incelenmiştir. Basit algoritmalar yöntemini kullanarak havzadaki ekstrem yağış

değişikliğini araştırmışlar ve elde ettikleri saatlik yağış değerleriyle geçmişteki veriler incelenmiş ve 48 iklim modeline göre iklim değişikliği altında gelecek yıllarda oluşabilecek pik taşkın debilerindeki oluşabilecek değişim incelenmiştir. Araştırma sonucuna göre 2300 m^3/s pik taşkın değerine göre dizayn edilen taşkın önleme yapısının, A2 seneryosuna göre %1 ile %4 arasında artış oluşabileceği, B1r senaryo sonucuna göre de aynı taşkın öteleme yapısında, % 0,33 ile % 2,5 arasında oluşabileceği belirtilmiştir.

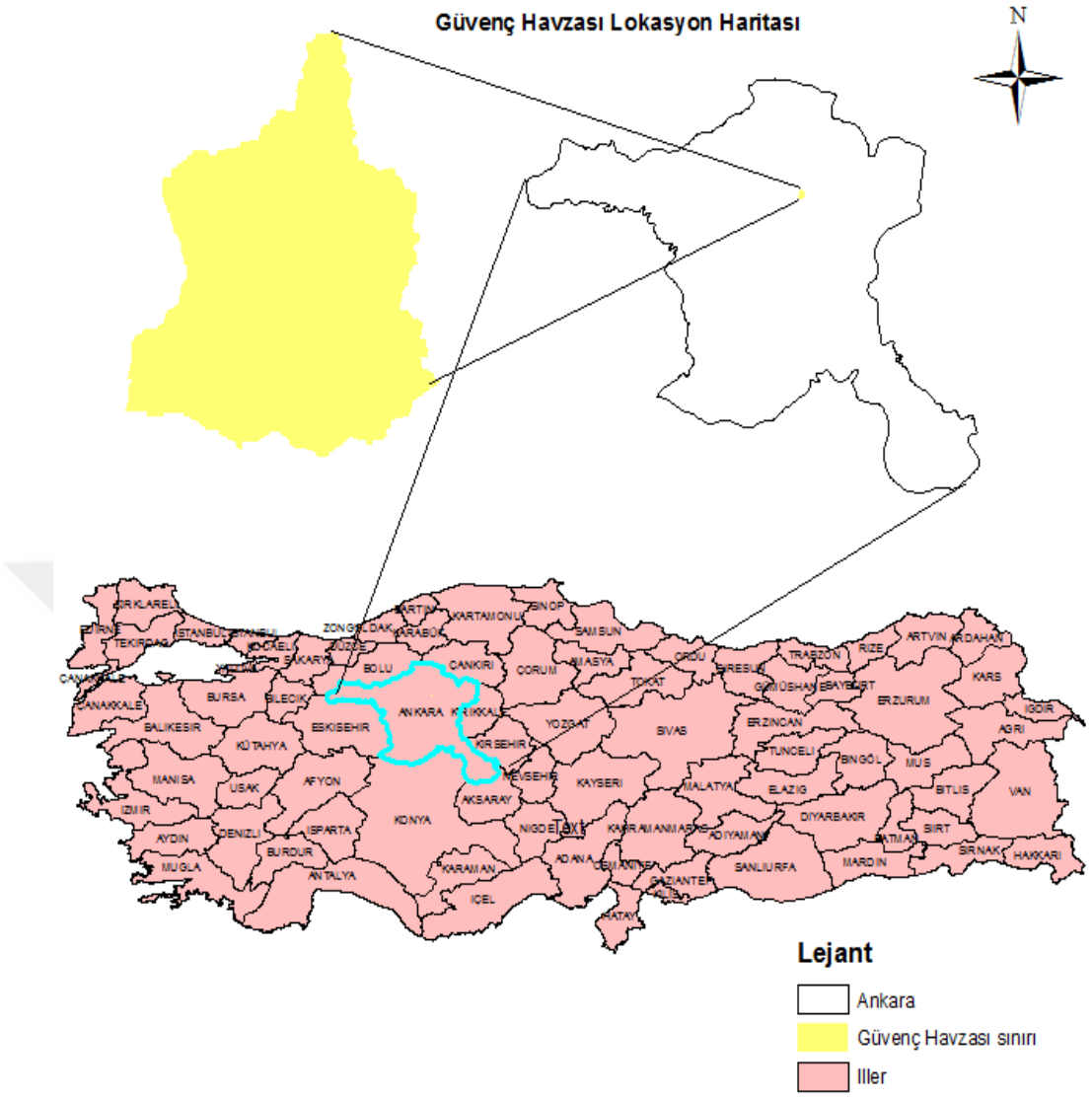
Bozkurt ve Şen (2013), Fırat-Dicle Havzası'nda, iklim değişikliğinin etkilerini araştırılmışlardır. Çalışmada küresel iklim modeli olarak ECHAM5, CCSM3 ve HadCM3 modelleri, A1, A2, ve B1 iklim senaryo grupları incelenerek bölgesel iklim modeli ile ölçeklendirilmiştir. Araştırma sonucuna göre, kar-su eşdeğerlerinde %55 ile %87 arasında değişen ve istatiksel olarak anlamlı azalmalar elde edilmiş, yıllık yüzey akış değerlerinde de %25 ile % 55 arası azalmalar öngörülmüştür. Tüm senaryo sonuçlarına göre yıllık yüzey akış değerlerinde ciddi azalmalar belirlenmiştir. Çalışmada, havzadaki önemli hidro-iklimsel değişikliklerin havzadaki baraj ve hidro-elektrik santrallerinin yönetimi ile ilgili zorlukların artmasına neden olabileceği gibi, havzanın biyolojik ve fizyolojik ekosistem bileşenleri üzerinde de daha fazla etkilere yol açabileceği belirtilmiştir.

Özkul, Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu (2008), Büyük Menderes ve Gediz Havzaları'nda küresel iklim değişikliğinin akımlara olan etkilerini araştırmışlardır. Öncelikle hidrometeorolojik verilerdeki eğilimler belirlenmiş, daha sonra küresel iklim modelleri yardımıyla iki farklı emisyon senaryosu (A2, B2) göz önüne alınarak farklı projeksiyon yılları için olası yağış ve sıcaklık değişimleri belirlenmiş ve yağış-akış modeli ile yüzeysel akımlardaki değişimler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 2030, 2050, 2100 yıllarında sırasıyla, sıcaklıklarda 1,2°C, 2°C ve 4°C'ye varan artışlar, yağışlarda ise %5.8, %10.2 ve %23.8'e ulaşan azalmalar öngörülmektedir. Su bütçesi modelinin öngörülen iklim değişikliği senaryoları altındaki simülasyon sonuçları ise, akımların yaklaşık olarak 2030 yılında %20, 2050 yılında %35 ve 2100 yılında ise %50'nin üzerinde azalabileceğini göstermiştir.

Villarini ve diğer. (2009), Kuzey Corolina'da kentsel bir drenaj havzasında yapmış oldukları çalışmada durağan olmayan yıllık pik taşkın debilerinin frekans analizi çalışmasını yürütmüşlerdir. Çalışmada, durağan olmayan seriler için GAMLSS modeli kullanılmıştır. Bu model, zaman serisindeki ortalama ve varyansın zamana bağlı sabit olma prensibi dışındaki trendlerdeki değişimler için kullanılabilmektedir. Araştırmanın sonunda, 100 yıl tekerrürlü pik taşkın debisinin 83 yıl tekerrürlü oluşabilir riskini ortaya koymuştur.

BÖLÜM İKİ
ÇALIŞMA ALANININ ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanı Sakarya Havzası'nın içerisinde bulunan Ankara-Yenimahalle'deki Güvenç Havzası olarak belirlenmiştir. Havza, Ankara-İstanbul karayolunun 35. km'sinden 6.5 km doğuda, çalışma alanındaki gölet ise köyün 2.5 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Havzanın drenaj alanı 15,247 km² olup, havza çıkış yerinin deniz seviyesine göre yükseltisi 1053 m., enlemi 40° 08' 00" N, boylamı ise 32° 45' 15" E 'dir. Kuzeybatıda Dedeçam tepesi (1198 m), kuzeyde Sarıkaya tepesi, doğuda Çayırınkafa tepesi ve Karatepe, güneyde Tabyabayır ve Akpınar tepeleri, Güneybatıda Karyağdı tepesi (1459 m), batıda Dikbayır sırtları ve Kartalkaya tepesiyle çevrilmiş olan Güvenç Havzası içerisinde Sarıbeyler (Lezgi) köyü yer almaktadır. Araştırma havzası içersinde doğan sular, Kayaönü Deresi'nde toplanarak Ova Çayı'na dökülür. Ova Çayı da Sakarya Nehri'nin bir kolu olan Ankara Çayı'na dökülmektedir. Güvenç Havzasının lokasyon haritası Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Güvenç Havzası lokasyon haritası

2.1 Ankara İli Uzun Yıllar Meteorolojik Değerler

Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı olan İç Anadolu iklim özelliği gösteren havzanın 35 yıllık toplam yağış ortalaması 398,8 mm, ortalama sıcaklığı ise 11,26°C dir. En yüksek maksimum sıcaklık 40,3°C ile Temmuz ayında, en düşük sıcaklık ise -21°C ile Aralık ayında gözlemlenmiştir. Yağışlar genellikle ilkbahar mevsiminde yaşanmaktadır. En yüksek yağış ortalaması 49,6 mm ile Mayıs ayında oluşmuştur.

Güvenç Havzasının bulunduğu Ankara ili uzun yıllar meteorolojik değerler Tablo 2.1'de verilmiştir. Ankara İlinin, toplam yağış ortalaması 398 mm, ortalama sıcaklık ise 11,2 °C'dir.

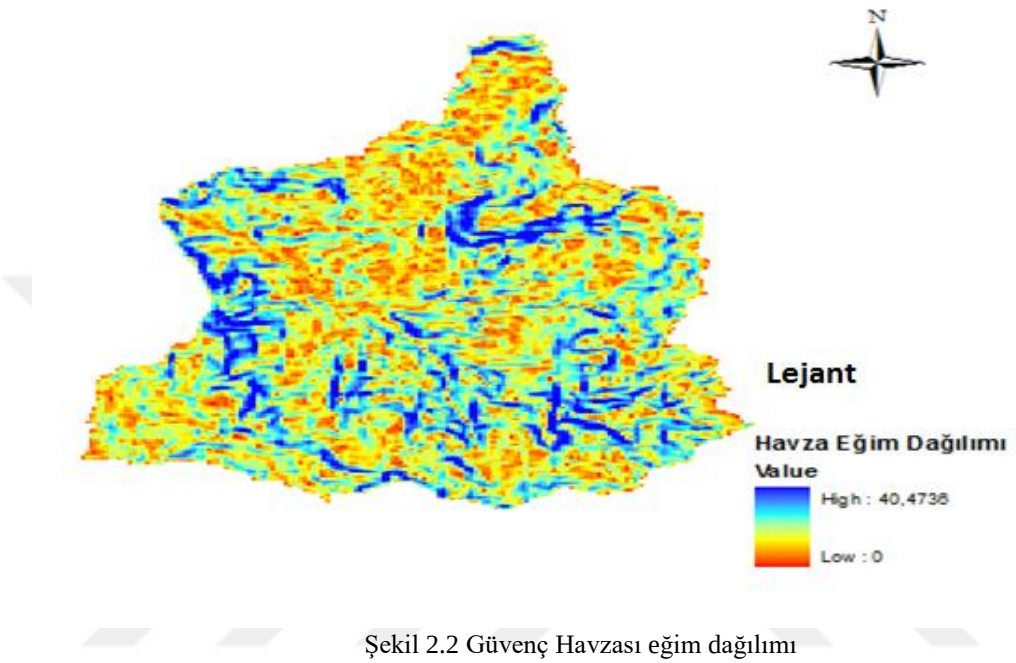
Tablo 2.1 Ankara ili uzun yıllar meteorolojik değerler (1980-2015) (Meteoroloji Genel Müdürlüğü)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık (°C)	-0,1	1	4,9	10,7	15,1	19,1	22,6	22,3	18,3	12,8	6,2	2,3
Mak. Sıcaklık(°C)	15,8	18,2	23,2	29	32	36	40,3	37,6	35,5	32	21	16,8
Min. Sıcaklık(°C)	17,1	-20,5	-16,5	-9	-0,8	4	6,8	3,5	-1,5	-9,5	-11,5	-21
Ort. Nem (%)	79,3	74,1	67	63,3	60,9	56,2	48,7	48,3	51,7	62,8	73,1	79,5
Top. Global Rad (cal/cm²)	65	99,6	149,5	193,3	243	273	255,6	248	213,9	130,1	71	54
Top. Güneşlenme (sa)	2,51	3,56	5,21	6,19	8,21	10,15	11,33	11,16	9,39	6,4	4,17	2,27
Top. Yağış (mm)	37,6	29,9	39,1	48,1	49,6	35,3	20,4	13,5	12,3	30,8	40	42,2
Hakim rüzgar yönü	SSW	WSW	WSW	WSW	WNW	WNW	ENE	ENE	WNW	WNW	WNW	SSE

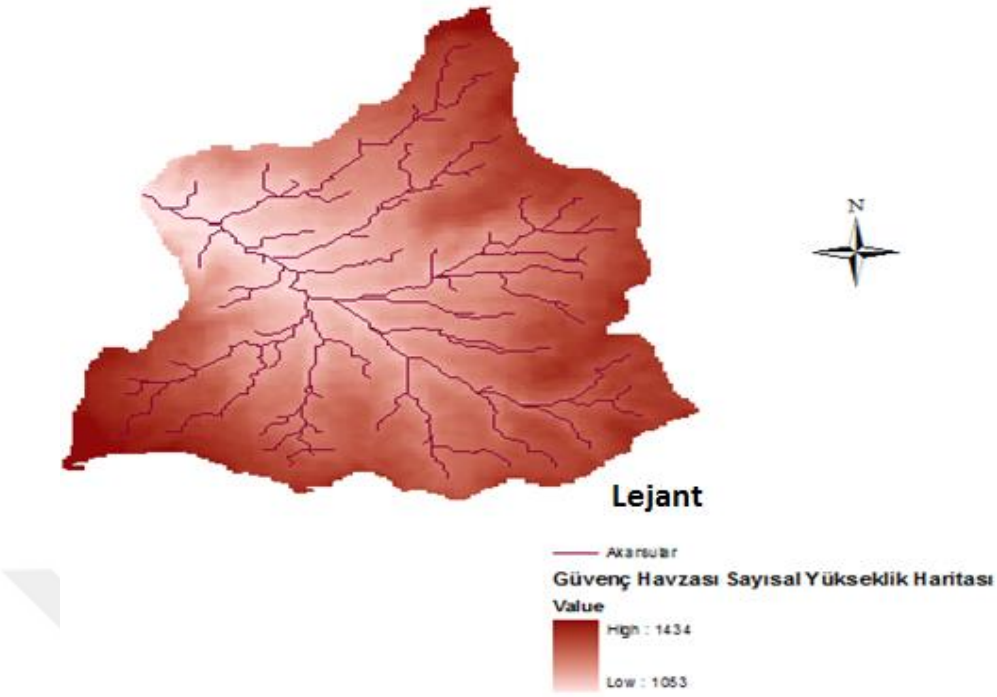
2.2 Güvenç Havzası

Güvenç Havzası'nın havza sınırı ve diğer bütün özellikleri CBS yardımı ile elde edilmiştir. Topografya ve sayısal yükseklik haritaları olarak 25.000'lik paftalar 30 m çözünürlükte çalışılmıştır. Havzanın karakteristik özellikleri olarak drenaj alanı, 15.247 km², çevre uzunluğu 19 km, Havzanın en düşük kotu 1053 m, en yüksek kotu 1434 m, ortalama yüksekliği 1235 m, en uzun akarsu boyu, 5896 m, Havzanın orta noktasından aks yerine olan en uzun akarsu boyu 2610 m, eğim % 0-40 arasında olup Havzanın ortalama eğimi % 21'dir.

Güvenç Havzasının eğim haritası ve sayısal yükseklik haritası sırasıyla şekil 2.2 ve şekil 2.3'de verilmiştir. Eğim haritası incelendiğinde genel olarak %20 civarında ortalama yükseklik ise 1235 m olarak hesaplanmıştır.



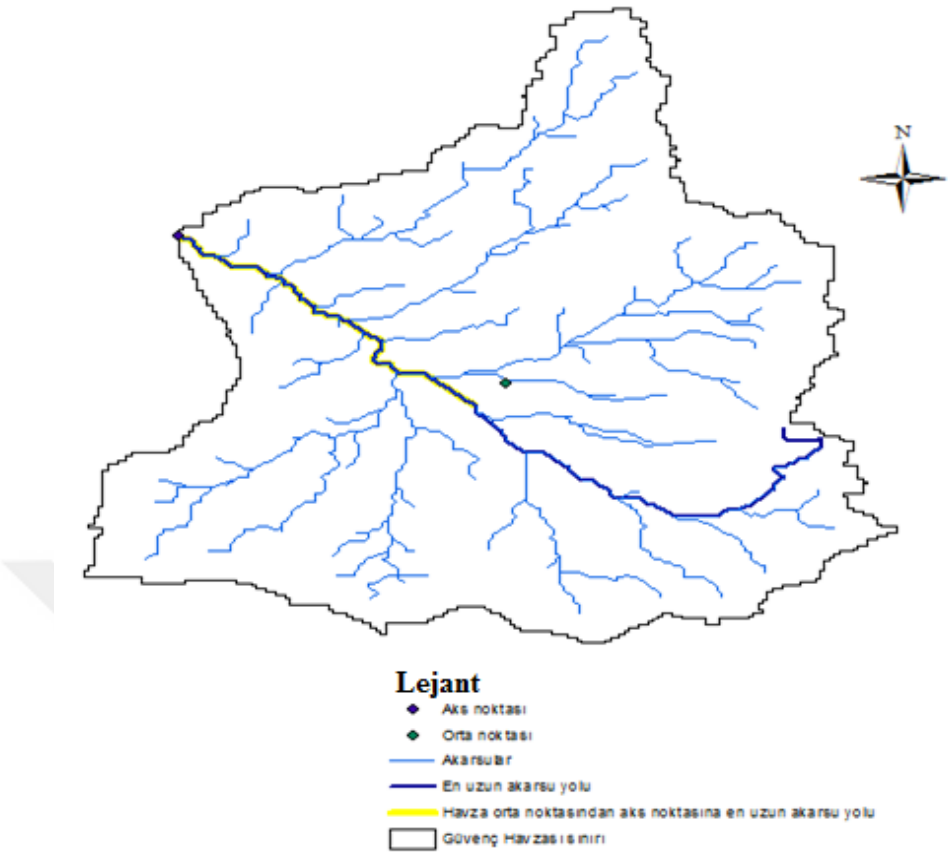
Şekil 2.2 Güvenç Havzası eğim dağılımı



Şekil 2.3 Güvenç Havzası sayısal yükseklik haritası (DEM)

Havzaya ait sayısal yükseklik haritası (DEM), eşyükselti eğrileri ve havza en yüksek tepe noktalarını gösteren 25.000'lik paftalardan CBS ortamında üretilmiştir. Koordinat sistemi olarak European Datum 1950, UTM Zone 36N olarak havzanın koordinatı belirlenmiştir.

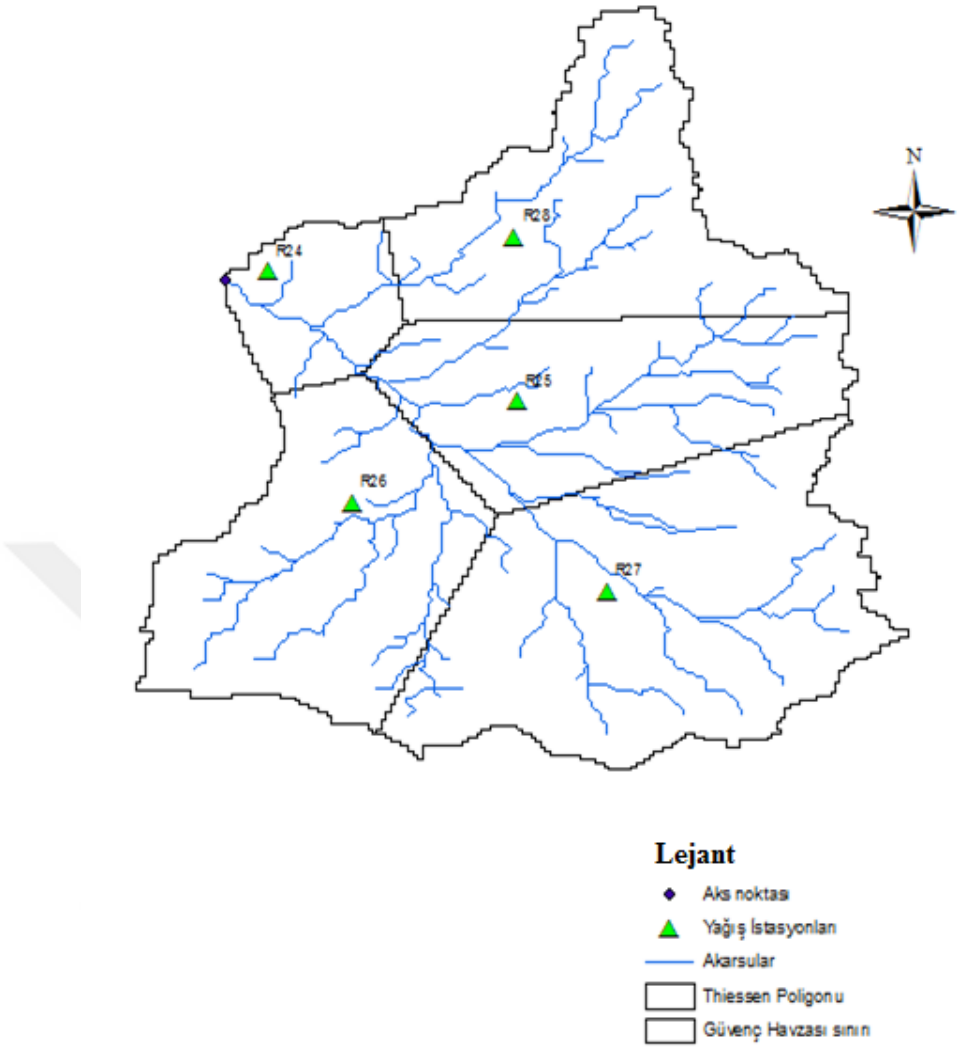
Havzanın karakteristiklerini gösteren ve taşkın hidrolojisinde en önemli özellikler olan; havza sınırı, alt havzalar, çıkış noktasına en uzun akarsu yolu (L_{max}), havza orta noktasının çıkış noktasına en uzun akarsu yolu (L_c), havzanın ağırlık merkezi, havza ortalama kotu, havza drenaj alanı, havza çevre uzunluğu, eğim haritası, memba mansap ilişkisi gibi birçok özellikler, ArcGIS 9.3 programı içerisinde Hydrology Tools kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 2.4)



Şekil 2.4 Güvenç Havzası karakteristik özellikleri

2.2.1 Güvenç Havzası Yağış Karakteristikleri

Havzada, yağışları ölçmek için Toprak Gübre ve Su Kaynakları enstitüsü tarafından 1984 yılında 5 adet ağırlıklı tip pluviyograflar ve pluviyometreler kurulmuş olup 2008 yılına kadar kesintisiz olarak gözlem yapılmıştır. Araştırma amaçlı kurulan yağış istasyonlarının hepsi havza sınırı içerisinde bulunmaktadır. R24 istasyonu 1055m kotunda, R25 istasyonu 1125m kotunda, R26 istasyonu 1170m kotunda, R27 istasyonu 1230m kotunda ve R28 istasyonu 1210m kotundadır Ortalama yağışı hesaplamak amacıyla Thiessen metodu kullanılmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Güvenç Havzası thiessen poligonu

Yağış istasyonlarına göre havza temsiliyet oranları; R24 istasyonu için %6.29, R25 istasyonu için %18.55 R26 istasyonu için %20.71, R27 istasyonu için %30.68 ve R28 istasyonu içinse %23.76 olarak hesaplanmıştır. Yağış istasyonlarının temsiliyet havza alan dağılımları ise R24 istasyonu 1,004 km², R25 istasyonu 2,961 km², R26 istasyonu 3.305 km², R27 istasyonu 4.896 km² ve R28 istasyonu 3.792 km²' olarak belirlenmiştir (Tablo 2.2).

Güvenç Havzası'nın standart ortalama ve thiessen yöntemi ile hesaplanan yağış miktarları sırasıyla; 474.4 mm, 473.2 mm'dir. Ankara ili ortalama yağışı 398 mm olup il içerisindeki ortalama yağışı yükseltinin etkisiyle oldukça yüksektir.

Tablo 2.2 Ankara Güvenç Havzası thiessen poligon alanları

İstasyon No	R24	R25	R26	R27	R28	Toplam
Thiessen Poligon Alanı (km²)	1,004	2,661	3,105	4,886	3,592	15,247
Poligon Alanının Toplam Alana Oranı (%)	6	18,85	20,71	30,68	23,76	100

Güvenç Havzası yağış bilgileri için havza içerisindeki plüviyometre ve plüviyografların sonuçları kullanılmış olup sıcaklık ve diğer meteorolojik veriler havzaya yakın Ankara Araştırma Enstitüsü (KHAE) Meteoroloji İstasyonundan temin edilmiştir (Tablo 2.3).

Tablo 2.3 Ankara KHAE meteoroloji istasyonu uzun yıllar iklim parametreleri

Meteorolojik Parametreler	Aylar												Yıllık
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Sıcaklık (°C)	0,4	1,3	5,6	10,7	15,1	19,2	22,6	22,2	18,2	12,8	6,7	2,3	11,4
Mak. Sıc. (°C)	15,9	18,7	25,6	29,4	32	36	40,3	38,3	33,7	32	23,3	16,8	40,3
Min. Sıc. (°C)	-17,8	-20,5	-17	-9	-0,8	4	6,8	5,9	2,1	-3,6	-10,6	-14	-20,5
Nispi nem (%)	77	73	65	62	59	54	47	47	51	60	70	78	62
Rüz. Hızı (m/s)	2,4	2,7	2,8	2,8	2,4	2,3	2,6	2,4	2,1	1,9	2,1	2,5	2,4
Güneş Şid. (cal/cm²)	139	206	304	393	490	545	561	504	416	272	166	113	344
Güneşlenme (sa.)	2,8	3,8	5,2	6,2	8,2	10,2	11,5	10,9	9,4	6,7	4,5	2,5	6,8

Havzanın kotunun yaklaşık 1000 m ile 1450 m arasında olması yağışın kar olarak havza yüzeyine ulaşmasına ve kışların oldukça sert geçmesini sebebiyet vermektedir. Gökyüzü genellikle kapalı olması nedeniyle toplam güneş radyasyonu Ege ve Akdeniz bölgelerine göre oldukça azdır. Güvenç Havzası'nda en yüksek kar derinlikleri 1987-2002 yılları arasında kayıt edilmiştir. Bahsi geçen değerler Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4 Güvenç Havzasındaki yağış istasyonlarının en yüksek kar derinlikleri

Su yılı	Havza Kar Yağışının		En Yüksek Kar Derinliği (cm)				
	Başlama Tarihi	Bitiş Tarihi	R-24	R-25	R-26	R-27	R-28
1987	11.Kas	26.Mar	31	12	22	25	17
1988	20.Ara	20.Mar	7	15	14	20	15
1989	13.Kas	23.Şub	5	4	4	7	4
1990	18.Kas	05.May	11	12	12	12	13
1991	21.Ara	20.Şub	9	8	9	12	13
1992	07.Ara	22.Nis	31	33	30	40	29
1993	22.Kas	22.Mar	15	15	15	30	16
1994	15.Kas	07.Mar	7	6	6	7	6
1995	28.Kas	18.Mar	18	22	20	20	18
1996	21.Kas	18.Mar	25	35	20	25	15
1997	03.Kas	24.Mar	7	8	8	10	8
1998	05.Oca	30.Mar	10	12	12	14	11
1999	26.Oca	22.Mar	8	10	11	11	4
2000	03.Oca	09.Nis	38	40	38	36	33
2001	05.Oca	23.Mar	12	10	12	11	9
2002	05.Oca	27.Mar	30	30	30	28	28

Kış aylarında başlayan kar yağışları genellikle Mart ve Nisan aylarında sonlanmıştır.

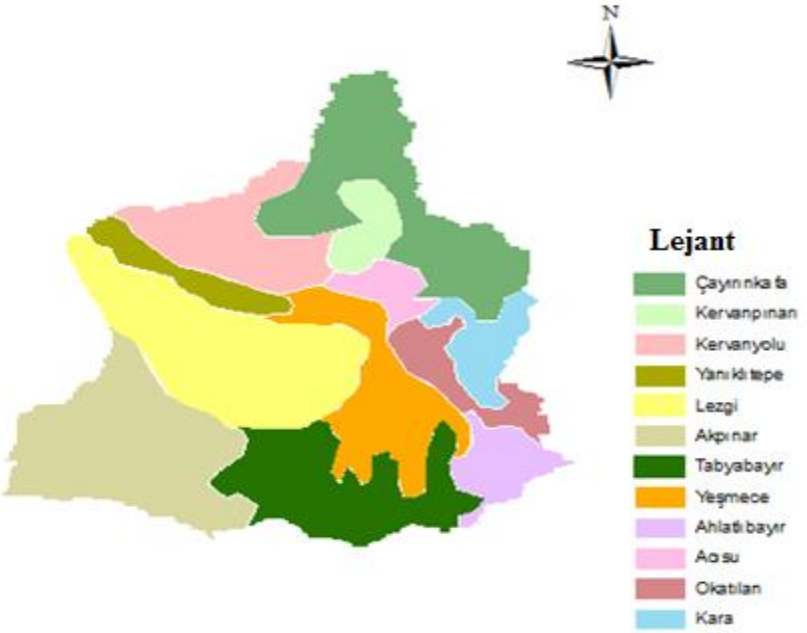
2.3 Güvenç Havzası Toprak Özellikleri

Havza alanının %95.8'ini kahverengi toprak grupları %4.2'sini kireçsiz toprak grupları oluşturmaktadır. Havzanın %12.6'sı orta meyilde, orta erozyonlu; %36.2'si dik meyilde, şiddetli erozyonlu; %46.7'si sarp meyilde, çok şiddetli erozyonludur. Havza topraklarının %8.9'u orta derin, %44.4'ü sığ ve %46.7'si de çok sığdır. Havzada; Çayırınkafa, Kervanyolu, Kervanpınarı, Acısu, Kara, Okatılan, Ahlatlıbayır, Yeşmece, Tabyabır, Akpınar, Lezgi, Yanıklıtepe toprak serileri olup havzayaya göre dağılımları, solma noktası ve tarla kapasitesi değerleri Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5 Güvenç Havzasındaki toprak serilerinin özellikleri

Seri Adı	Alanı (km²)	Yüzdesi (%)	Tarla Kap (%)	Solma Nok. (%)	Hidrolik İlet. (mm/sa)
Çayırınkafa	2,48	15,67	38	36	1,75
Kervanyolu	1,39	8,79	42	29	1,73
Kervanpınarı	0,69	4,36	38	27	1,5
Acısu	0,78	4,93	40	26	1,87
Kara	1,35	8,55	34	23	1,7
Okatılan	1,84	11,63	37	25	1,5
Ahlatlıbayır	0,7	4,9	26	16	4,35
Yeşmeşe	1,15	7,25	27	17	3,13
Tabyabayır	1,3	11,38	38	26	1,63
Akpınar	2,23	14,06	23	12	10,1
Lezgi	1,02	6,44	31	20	2,15
Yanıklıtepe	0,35	2,22	39	26	1,26
Toplam	15,25	100			

Havzanın toprak yüzeyinin yaklaşık %16'lık kısmını oluşturan Çayınkafa serisinin tarla kapasitesi %38, solma noktası %36'dır. Tarla kapasitesi ile solma noktası değerleri yakın olup gelen yağışın kısa sürede akışa geçmesi anlamında önem arz etmektedir. Havzanın toprak özelliklerini gösteren harita Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Güvenç Havzasının toprak özellikleri

2.4 Güvenç Havzasının Jeolojik Özellikleri

Havzada görülen en yaşlı birim Üst Kretase yaşlı flişdir. Fliş içerik olarak kumtaşı, çamurtaşı, seyl ve kireçtaşından oluşmaktadır. Bu birimlerin üzerinde kireçtaşları vardır. Havzada geniş bir yayılım gösteren Paleosen yaşlı birimleri ise kumtaşı, çamurtaşı ve marnlar temsil etmektedir. İkinci derece yayılım gösteren kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı ve çakıltaşı içeriğine sahip Eosen yaşlı birimler Paleosen üzeridne yer almaktadır. Havzanın güneyinde yer alan Akpınar tepesinde gözlenen Miyosene ait tüf ve aglomeralar ufak bir alanı kapsamaktadır. En genç birimler Kuvarterner yaşlı güncel alüvyonlar olup dere kenarlarında yer almaktadır. Havzanın genel hidrojeolojik özelliği ise lokal olarak zayıf pekişmemiş birimlerden oluşmaktadır.

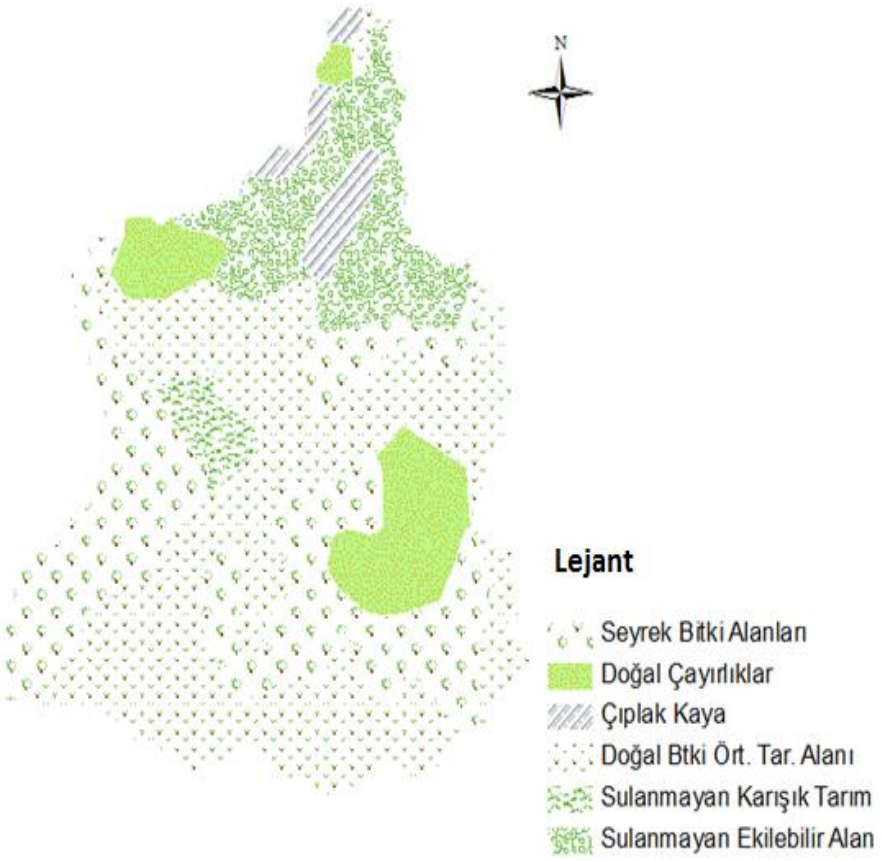
2.5 Güvenç Havzası Arazi Örtüsü

Güvenç Havzasının arazi özellikleri incelenirken CORINE haritalarından faydalanılmıştır. Güncel olarak oluşturulan CORINE 2012 haritasına ek olarak eski yıllarda Güvenç Göleti çalışmalarına kıyas için CORINE 1990 haritası da araştırılmıştır. Araştırma sonucuna göre havzada farklı iki ayrı eğri numarası (CN) belirlenmiştir. Taşkın hidrolojisi hesaplamalarında en önemli parametrelerden biri olan akış eğri numarası (CN), Corine 1990 ve Corine 2012 haritalarından faydalanılarak hesaplanmıştır. Günümüzde taşkın riski, iklim değişikliğinin yanısıra nüfusun hızla artışı ile birlikte kentleşmenin artması ve buna bağlı olarak toprak örtülerinin, ormanlık alanların, tarımsal sahaların yerini beton zeminlere bırakması sebeiyle daha da artmaktadır. Bu etkenler ülkemizdeki taşkın riskini arttıran en önemli faktörler konumundadır.

Güvenç Havzası içerisinde herhangi bir regülatör, Hidro Elektrik Santrelleri (HES) gibi akarsu rejimini etkileyecek faktör bulunmamaktadır. CORINE 2012 haritasına göre arazi örtüsü incelendiğinde havzada; seyrek bitki alanları, doğal çayırlıklar, doğal bitki örtüsü ile kaplı tarım alanı, çıplak kaya, doğal çayırlıklar, sulanmayan karışık tarım, sulanmayan ekilebilir alan olmak üzere sınıflandırılmıştır. Corine 2012 haritasına göre doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları Havzanın neredeyse yarısını kapsamaktadır. Güneç Havzasının arazi örtüsü, Tablo 2.6 ve Şekil 2.7'de verilmektedir.

Tablo 2.6 Güvenç Havzası arazi örtüsü (CORINE, 2012)

Güvenç Havzası Arazi Örtüsü (Corine 2012)	Alanı (km^2)	Yüzdesi
Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanları	7,533	49,4
Sulanmayan Karışık Tarım	0,133	0,855
Seyrek Bitki Alanları	4,4902	29,44
Doğal Çayırlıklar	1,401	9,189
Çıplak Kaya	0,489	3,212
Sulanmayan Ekilebilir Alan	1,201	7,88



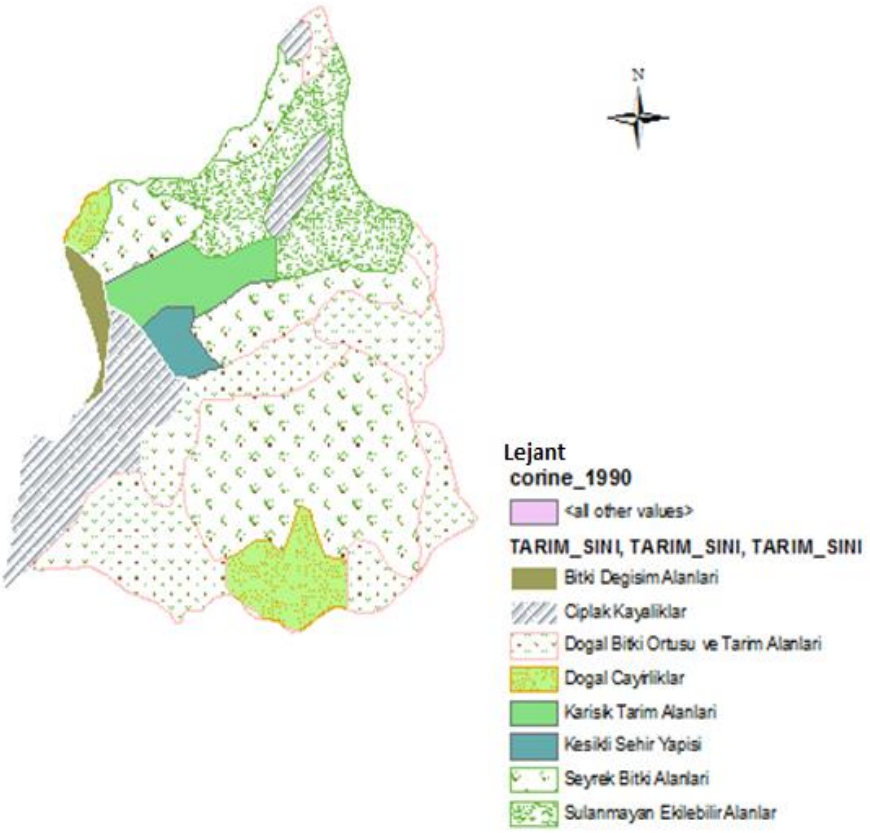
Şekil 2.7 Güvenç Havzası arazi örtüsü (CORINE 2012)

1990 yılına ait Corine haritası arazi örtüsü incelendiğinde, havza bitki değişim alanları, çıplak kayalar, doğal bitki örtüsü ve tarım alanları, doğal çayırlıklar, karışık tarım alanları, kesikli şehir yapısı, seyrek bitki alanları, sulanmayan ekilebilir alanlar olarak sınıflandırılmıştır. 2012 Corine haritası ile kıyaslandığında, 1990 yılında çıplak kayalıkların özellikle daha yoğun olduğu, farklı olarak kesikli şehir yapısının olduğu, tarım alanların, doğal çayırlıkların nispeten daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 2.7 Güvenç Havzası arazi örtüsü (CORINE 1990)

Güvenç Havzası Arazi Örtüsü (Corine 1990)	Alanı (km^2)	Yüzdesi
Bitki Değişim Alanları	2,38	15,64
Çıplak Kayalıklar	0,821	5,39
Doğal Bitki Örtüsü ve Tarım Alanları	7,806	51,202
Doğal Çayırlıklar	0,708	4,64
Karışık Tarım Alanları	0,211	1,38
Kesikli Şehir Yapısı	0,077	0,506
Seyrek Bitki Alanları	2,319	15,210
Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	0,916	6,008

Tablo 2.7'deki değerlerden görüldüğü gibi özellikle seyrek bitki alanları 2012 yılındaki Corine haritasındaki değerlere göre yaklaşık iki kat artmıştır. Doğal bitki örtüsü ve tarım alanları fazla değişmemiş olup doğal çayırlıklar 2012 yılında daha fazladır. 1990 yılında şehirleşme yapısı gözükmekte olup alansal oranı oldukça azdır. Çalışmada, iki farklı tarihe sahip Corine haritalarından elde edilen akış eğri numaraları kullanılarak, pik taşkın debilerinde meydana gelebilecek değişiklikler incelenmiş ve bu tasarım değerlerinin kullanılmasıyla hidrolik yapılarda öngörülecek tasarım boyutlarındaki değişiklikler araştırılmıştır. Havzanın 1990 yılına ait Corine haritası Şekil 2.8'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere doğal bitki örtüsü ve tarım alanları havzanın yaklaşık yarısını oluşturmaktadır.



Şekil 2.8 Güvenç Havzası arazi örtüsü (Corine 1990)

2.5.1 Güvenç Havzası Akış Eğri Numarası

Havzanın akış eğri numarası arazi örtüsü haritaları (1990 Corine ve 2012 Corine haritaları) kullanılarak arazi sınıflandırılması belirtilmiş olup Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİGM) tarafından Ankara bölgesi için arazi örtü sınıflarına göre belirlenmiş akış eğri numaraları Tablo 2.8'de verilmiştir. Havzanın akış eğri numarası ise lansal olarak olarak hesaplanarak gerek Corine 1990 haritası arazi sınıflarına göre gerekse de Corine 2012 arazi sınıflarına göre oluşturulmuştur. DSİGM tarafından Ankara bölgesi için oluşturulan eğri numaraları Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8 Ankara bölgesi arazi sınıfları akış eğri numaraları (DSİGM)

Endüstriyel veya Ticari Alanlar	91	Doğal Bitki Örtüsü ile Bulunan Tarım Alanl.	84
Üzüm Bağları	77	Sulanmayan Karışık Tarım	82
Meralar	81	Sürekli Sulanan Karışık tarım	80
Geniş Yapraklı Ormanlar	70	Sulanmayan Ekilebilir Alan	81
Sklerofil Bitki Örtüsü	73	Sürekli Sulanan Meyve Bahçesi	75
Sahil,Kumsal,Kumluk	85	Sulanan Alan	78
Bitki Değişim Alanları	75	Seyrek Bitki Alanları	78
Doğal Çayırlıklar	70	Sürekli Şehir Yapısı	94
Kesikli Şehir Yapısı	90	Spor ve Eğlence Alan	93
Kesikli Kırsal Yapı	84	Bataklıklar	70
Yeşil Şehir Alanları	80	Karayolları, Demiryolları ve ilg.al	88
Çıplak Kaya	100	Maden Çıkarım Sahaları	87
Havalanları	95	İnşaat Sahaları	91
Su Kütleleri	98	Sulanmayan Meyve Bahçesi	77
İğne Yapraklı Ormanlar	76	Karışık Ormanlar	71

Corine 1990 yılı arazi sınıflandırılması yapılarak oluşturulan hesaplamada; bitki değişim alanları, çıplak kayalıklar, doğal bitki örtüsü ve tarım alanları, doğal çayırlıklar, karışık tarım alanları, kesikli şehir yapısı, seyrek bitki alanları, sulanmayan ekilebilir alanlar kullanılmıştır. Corine 1990 haritasına göre oluşturulan akış eğri numarası Tablo 2.9'da verilmiştir. Tablo incelendiğinde 1990 yılına ait sınıflandırmada havza genel olarak bitki değişim alanları, doğal bitki örtüsü ve seyrek bitki alanlarından oluşmaktadır.

Tablo 2.9 Güvenç Havzası alansal eğri numaraları (Corine 1990)

Arazi Örtüsü	Eğri No	Yüzde	Alansal Oran
Bitki Değişim Alanları	75	15,64	11,73
Çıplak Kaya	100	5,39	5,39
Doğal Bitki Örtüsü ile Bulunan Tarım Alanl.	84	51,202	43,00968
Doğal Çayırlıklar	70	4,64	3,248
Karışık Tarım Alanları	81	1,38	1,1178
Kesikli Şehir Yapısı	90	0,506	0,4554
Seyrek Bitki Alanları	78	15,21	11,8638
Sulanmayan Ekilebilir Alan	81	6	4,86
Toplam	-	-	**81,67**

Hesapalama sonucunda Güvenç Havzasının Corine 1990 kullanılarak akış eğri numarası **(CN)** değeri ortalaması **81,67** olarak belirlenmiştir.

Corine 2012 yılı arazi sınıflandırılması yapılarak oluşturulan hesaplamada; Çıplak kayalıklar, doğal bitki örtüsü ve tarım alanları, doğal çayırlıklar, sulanmayan karışık tarım alanları, seyrek bitki alanları, sulanmayan ekilebilir alanlar kullanılmıştır (Tablo 2.10)

Tablo 2.10 Güvenç Havzası alansal eğri numaraları (Corine 2012)

Arazi Örtüsü	**Eğri No**	**Yüzde**	**Alansal Oran**
Seyrek Bitki Alanları	78	29,44	22,9632
Çıplak Kaya	100	3,212	3,212
Doğal Bitki Örtüsü ile Bulunan Tarım Alanl.	84	49,4	41,496
Doğal Çayırlıklar	70	9,189	6,4323
Sulanmayan Karışık Tar. Alanları	82	0,855	0,7011
Sulanmayan Ekilebilir Alan	81	7,88	6,3828
Toplam	-	-	**81,19**

Hesaplama sonucunda Güvenç Havzasının Corine 2012 kullanılarak akış eğri numarası **(CN) ortalama değeri 81,19** olarak belirlenmiştir. Corine 1990 değerlerine

göre de 81,67 olarak hesaplanan eğri numarası ile karşılaştırıldığında akış eğri numarasında önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir.

BÖLÜM ÜÇ
GÜVENÇ HAVZASI YAĞIŞ-AKIŞ SİMÜLASYONU HEC-HMS MODEL YAKLAŞIMI

Güvenç Havzası Akış Özellikleri

Havzada meydana gelen akımları ölçmek için 1984 yılında havza çıkışına 1/5 şevli beton üçgen savak inşaa edilmiş olup savağın sol tarafına ve dere yatağı banketi üzerine daimi dönüşken mekanızmalı yazıcı su seviyesi aleti (Limnigraf) yerleştirilmiştir. Değerler gözlem süresi boyunca saatlik olarak ölçülmüştür Güvenç Havzasına yağış ve akım karaktersitiklerini incelemek amacıyla yerleştirilen Limnigraf ve yağış ölçer ile gözlem süresi boyunca parametreler araştırılmıştır (Tekeli ve Demirkıran, 2010). Güvenç Havzasının aylık yağış ve akım değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Güvenç Havzası aylık ortalama yağış ve akım değerleri

26 Yıllık Ort.	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Yıllık
Yağış (mm)	37,1	49,4	62,8	40,1	37,3	50,7	56,9	51,1	35,6	20	13,3	18,9	473,3
Top. Akım (l/s)	2,96	13,27	38,58	48,49	76,41	120,4	134,6	83,07	39,98	14,62	2,3	0,73	575,1
Yüzey Akım (l/s)	1,82	7,62	16,91	11,18	23,35	24,38	31,15	16,21	8,26	3,73	0,72	0,39	145,68
Yüz. A. Akım (l/s)	0,35	3,08	5,98	7,32	9,38	19,44	14,441	7,09	3,31	1,324	0,199	0,035	71,99

Güvenç Havzası yağış ve akım değerleri incelendiğinde akım değerlerinin Mart ve Nisan aylarında en yüksek değere ulaştığı ve yıl içeirisinde yağış ile akımın orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Havzanın yükseltisi gereğince kar yağışı, özellikle Nisan ve Mayıs aylarında akış miktarını arttırmaktadır. Güvenç Göleti için tasarlanan dolusavak tasarım yapısında, bölgede şehirleşme olmadığından Devlet Su İşleri

standartlarına göre 1000 yılda bir oluşabilecek taşkın değeri kullanılacaktır. Çalışmada yağış akış simülasyonu hidrolojik modelleme ile gerçekleştirilmiştir. Bunun yanısıra, frekans analizi ve sentetik yöntemlerden DSİ Sentetik ve Mockus yöntemleri ile de havzada oluşabilecek anlık pik taşkın debileri hesaplanarak elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

3.1 HEC-HMS Model Yaklaşımı

Güvenç Havzası'nda hidrolojik modelleme kapsamında U.S. Army Corps of Engineers tarafından geliştirilmiş olan ve uluslararası benzer uygulamalarda sıklıkla kullanılan Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) modeli tercih edilmiştir.

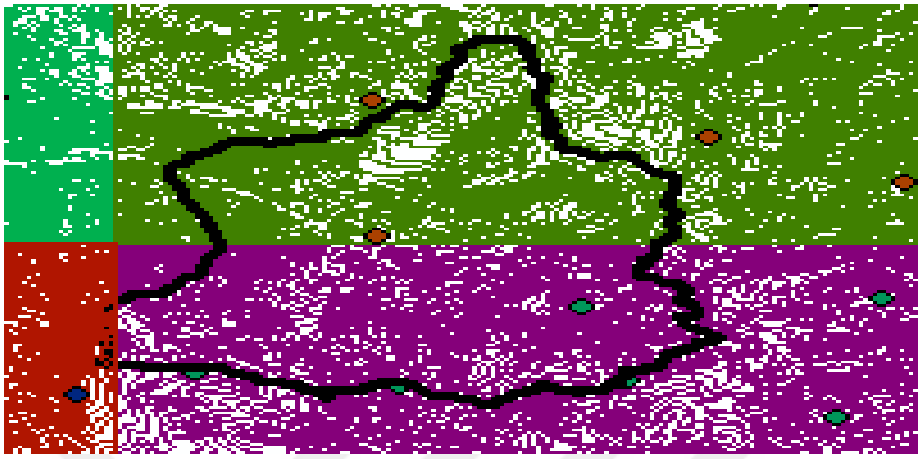
HEC-HMS'de hidrolojik elemanların modellenmesi kapsamında, bu elemanların özellikleri ve birbirleriyle olan ilişkileri bir hidrolojik model ağı veri yapısı içinde tanımlamaktadır. Hesap membadan mansaba doğru yapılmaktadır. Bu yaklaşımın en önemli özelliği birim veya sentetik hidrograflar kullanılarak yağış-akış ilişkilerinin temsil edilmesi olmaktadır.

HEC-HMS modelinde, havza bir bütün olarak tüm özellikleriyle ele alınmaktadır. Taşkın hidrograflarının elde edilmesi, bu sistem içerisinde yer alan hidrolik yapıların (baraj, gölet, regülatör vs.) taşkınlara olan etkilerinin dikkate alınabilmesi, havzanın yapısı ve özellikleri açısından taşkınlara karşı davranışının belirlenebilmesi mümkün olabilmektedir. Bunların yanı sıra, farklı mertebelerde taşkınlardan oluşan senaryoların üretilmesine imkan tanıdığından nihai planlama ve tasarım kararlarının tutarlı biçimde verilmesi ve model kapsamında optimizasyonunun yapılması bu modelin kullanımını yaygın hale getiren özelliklerin başında gelmektedir. Sunulan çalışmada, model altlıklarının oluşturulması CBS ortamında gerçekleştirilmiştir.

3.1.1 Güvenç Havzası CBS Altlıklarının Oluşturulması

Çalışmada öncelikle, gerekli altlıkların oluşturulması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için gerekli 25000'lik ölçekte topoğrafya haritalarının yanısıra, sayısal eş

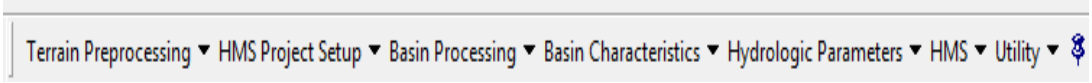
yükselti eğrileri ile çalışılmıştır. Havza sınırının oluşturulması için 4 farklı 25000'lik paftalardan faydalanılmıştır (H29C4, H29C1, H29D2, H29D3), (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Güvenç Havzası eş yükselti eğrileri

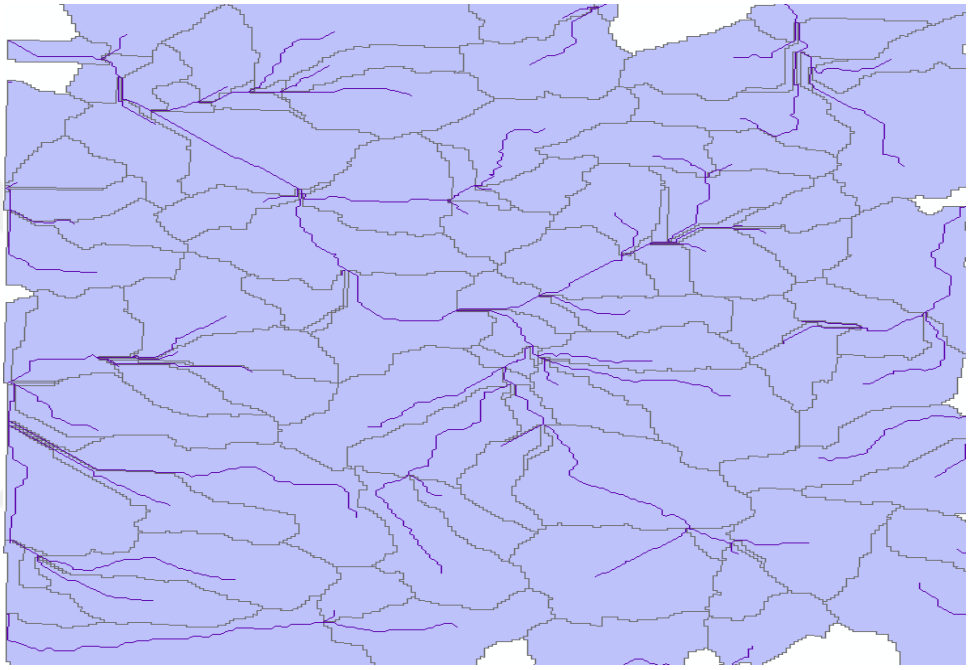
Eş yükselti eğrileri ArcGIS programı 3D Analyst eklentisi yardımı ile Triangular Irregular Network (TIN) kullanılarak oluşturulmuştur. TIN, düzensiz üçgen ağı olup noktaların üçgenler ile birleştirilmesi ile oluşturulmakta olup raster veya vektör olmayıp bir veri yapısıdır.

Oluşturulan TIN ile birlikte 3D Analyst eklentisi kullanılarak havzanın sayısal yükseklik modeli (DEM) oluşturulmuştur. Oluşturulan DEM ile birlikte koordinat sistemi havzanın konumsal olarak European Datum 1950 UTM 36N olarak belirlenmiştir. Havza özelliklerinin belirlenmesinde ise tez çalışmasında kullanılan ArcGIS 9.3 programına bağlı olarak çalışan HecGeo-HMS 5.0 yazılımı, http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/ adresinden temin edilerek ArcGIS programına uzantısı eklenmiştir. DEM, modelin kullanılmasında ilk aşama olup bundan sonraki süreçlerde Şekil 3.2'de belirtilen işlemler sırasıyla uygulanmıştır.



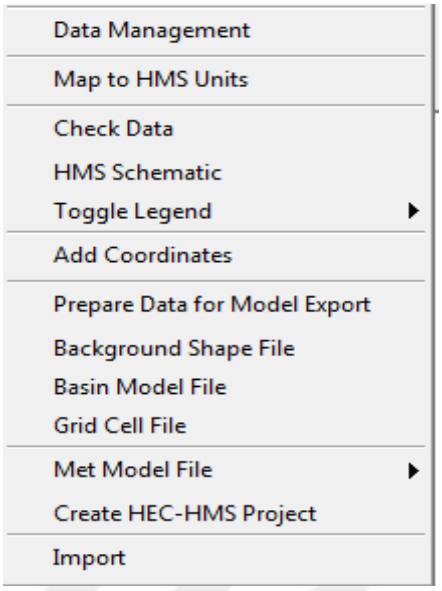
Şekil 3.2 HecGeo-HMS 5.0 işlem adımları.

Uygulanan HecGeo-HMS modeli ile birlikte havzanın özellikleri belirlenmiştir. Model çıktıları olarak;Boşlukları doldurma, Akım yönü belirleme, Kümülatif akım hesaplama, Nehir tanımlama, Nehir bölümleme, Su toplama alanı oluşturma, Su toplama alanı poligonlama, Drenaj çizgilerini belirleme, Bitişik su toplama alanını belirleme adımları, Arazi ön işleme işlemi altında ilk aşama olarak uygulanmıştır. İşlem sonunda Şekil 3.3'te belirtilen Güvenç Havzası'nın alt havzalar ve akarsu yolları belirtilerek Havza sınırı oluşturma işlemine geçilmiştir.



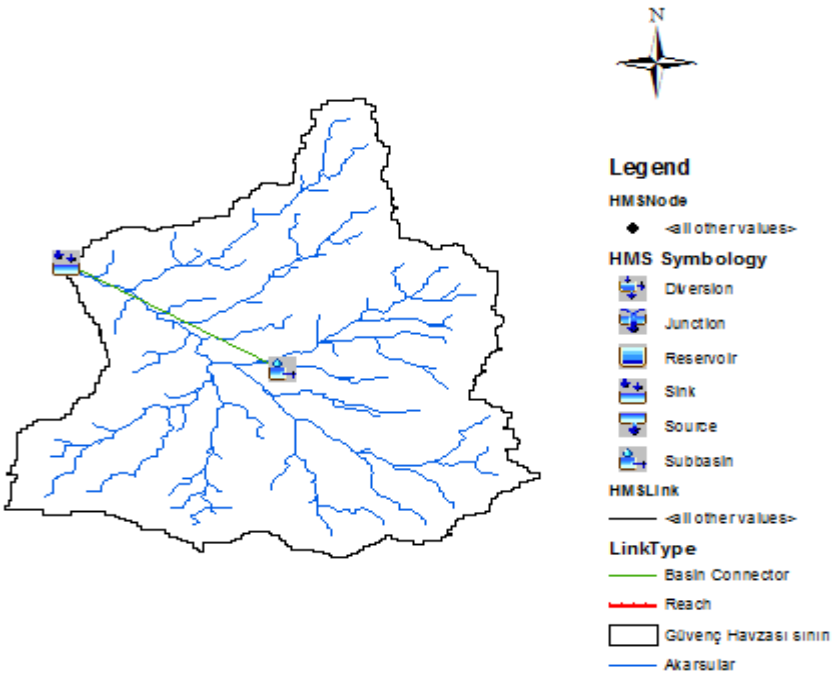
Şekil 3.3 Güvenç Havzası bağlı paftaların alt havza ve akarsu yolları

HecGeo-HMS yazılımından HEC-HMS modeline geçiş ile ilgili havzanın gerekli bütün özellikleri belirlendikten sonra Şekil 3.4'de belirtilen HMS modelinde kullanılmak üzere belirtilen dosyalar oluşturulmuştur. Böylece HEC-HMS modelinde kullanılacak olan özellikler CBS formatında modelin kullanımına hazır olarak gelmektedir.



Şekil 3.4 HecGeo-HMS yazılımı HMS uzantıları işlemleri

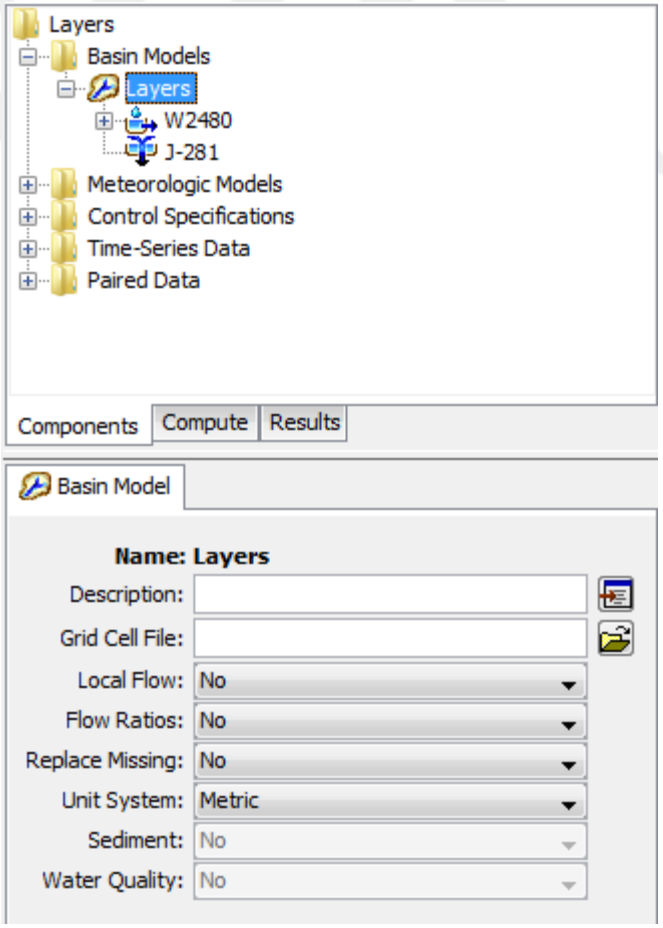
Gerekli bütün özellikler belirlendikten sonra Güvenç Havzasının HMS Şematiği oluşturulmuştur (Şekil 3.5).



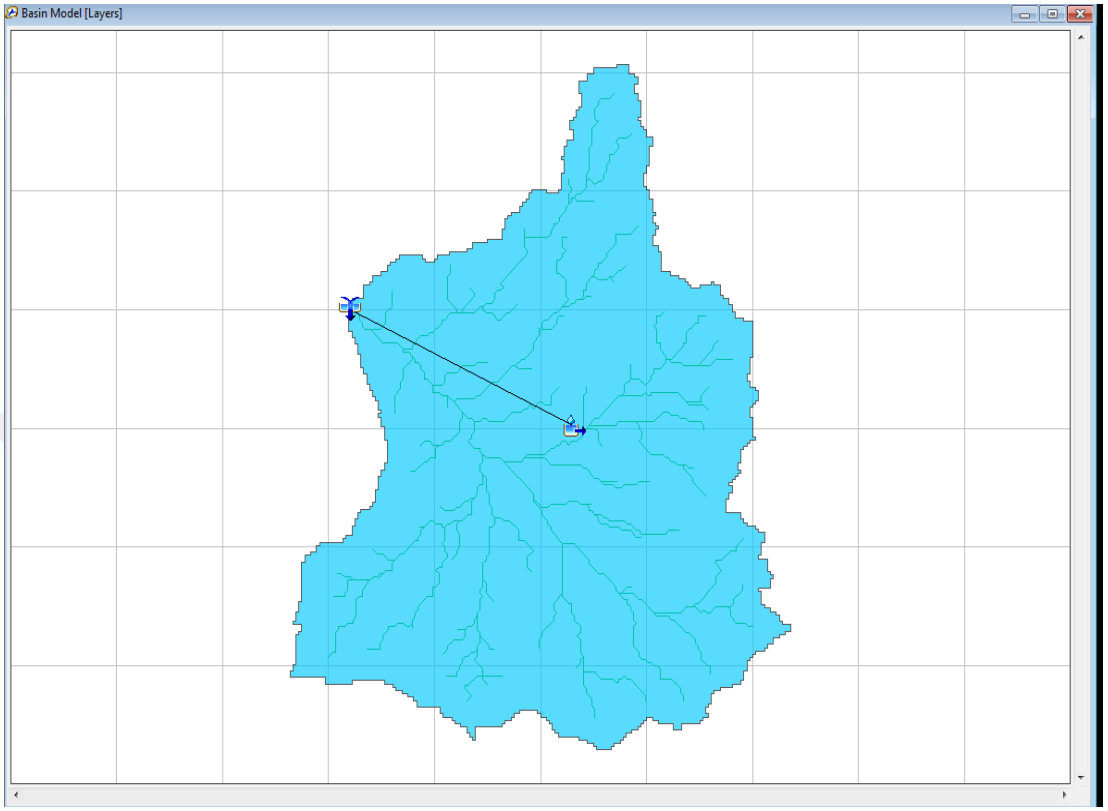
Şekil 3.5 Güvenç Havzası HMS şematiği

3.2 Güvenç Havzası Yağış Akış Simülasyonu

Güvenç Havzası'nda yağış-akış simülasyonunu oluşturabilmek için hidrolojik model olan HEC-HMS modeli ArcGIS programı ile CBS çalışmaları tamamlandıktan sonra HEC-HMS modeli için gerekli olan Basin Models, Meteorologic Models, Control Specifications dosyaları da HecGeo-HMS yazılımında oluşturulduktan sonra Layer.hms dosyası HEC-HMS modelinde hazır hale gelmektedir. ArcGIS 9.3 programıyla oluşturulan "Layer.hms" HEC-HMS 3.4 modeli ile desteklenmektedir. Dolayısıyla Havzanın yağış-akış simülasyonu ve frekans analizi çalışmalarında HEC-HMS 3.4 modeli kullanılarak araştırma yapılmıştır. HEC-HMS 3.4 model içeriği Şekil 3.6'da verilmiştir. Güvenç Havzasının HMS şematiği ise Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.6 HEC-HMS 3.4 model içeriği



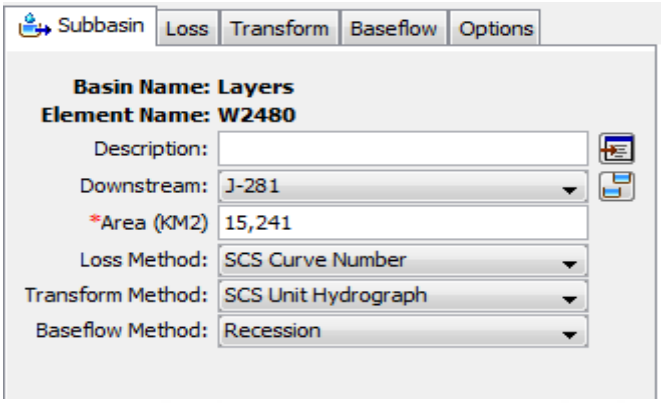
Şekil 3.7 Güvenç Havzası HEC-HMS modeli

Yağış akış simülasyonu için geçmiş yıllarda gözlenmiş yağış akış ilişkileri incelenerek kalibrasyon ve validasyon çalışmaları yapılmıştır. Güvenç Havzası için anlık yağış akış ölçümleri 10 farklı yılda araştırılan anlık gözlemler içerisinde kalibrasyon ve validasyon için 6 farklı yılın anlık yağış akış ilişkileri incelenmiştir.

3.3 Güvenç Havzası Kalibrasyon Çalışmaları

Havzaya ait pik taşkın debileri araştırılmadan önce modelin sonuçlarını güvenilir hale getirmek için öncelikle kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Model içerisinde bulunan Meteorolojik Model sekmesinde elimizde anlık yağış ölçümleri var olduğu için spesifik hiyetograf sekmesi seçilerek belirlenen yıllardaki ölçümler girilmiştir.

Havza modelinde layers sekmesi HecGeo-HMS yazılımından otomatik gelmekte olup alt sekmelerinde ise Şekil 3.8'deki gibi belirtilmiştir.



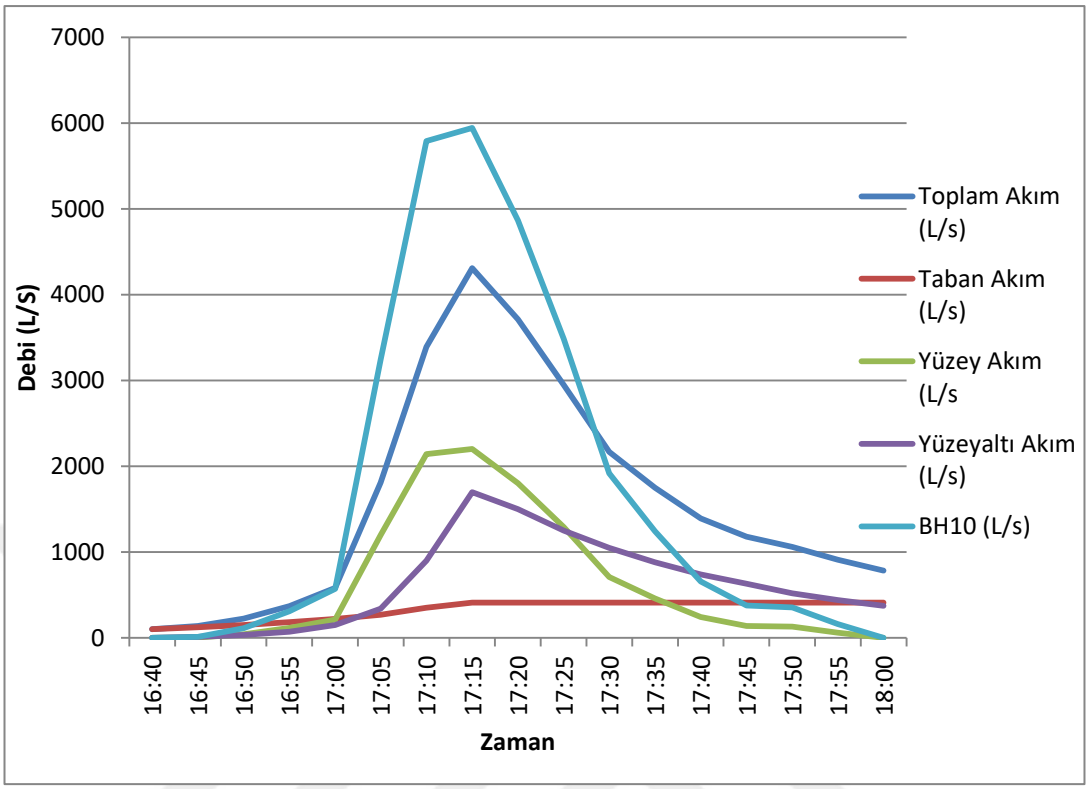
Şekil 3.8 Güvenç Havzası "Basin Models" tanımlamaları

Havza Modeli sekmelerindeki tanımlamalar havzanın özelliklerine görebelirlenmiştir. Kalibrasyon çalışmaları için Şekil 3.8'de belirtilen Kayıp Dönüşümü ve Taban akım yöntem parametreleri kullanılarak gözlenmiş akım verileri ile gözlenmiş yağış verilerinden simüle edilen akım verileri tutarlılıklarına ve havzanın karakteristik özelliklerine göre belirlenmiştir. Kalibrasyon verileri için havzada kullanılmak üzere gözlenmiş akım verileri olarak 1992, 1993 ve 1998 yılları kullanılmıştır. Havza veri tabanına, Tarımsal Araştırmalar ve Politikaları Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen araştırma projesi kapsamında temin edilmiştir (Tekeli ve Demirkıran, 2010).

Güvenç Havzası 01.07.1992 tarihli plüviyograf analizi Tablo 3.2'de verilmiştir. Birim hidrograf ordinat değerleri de Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Güvenç Havzası "01.07.1992" tarihli plüviyograf analizi

Zaman	Süre	Yağış İstasyonları (mm)					Ort. Yağış (mm)	
		R-24	R-25	R-26	R-27	R-28	Aritmetik	Thiessen
16:30	10	0,4	0,6	0,3	0,2	0,1	0,3	0,3
16:40	10	0,3	2,4	1,4	1,5	0,2	1,2	1,3
16:50	10	5,3	4,2	7,4	7	4,6	5,7	6
17:00	10	1,6	0,1	0,6	1,5	2,5	1,2	1,3
Toplam	40	11,6	9	11	11,6	8,5	10,3	10,5



Şekil 3.9 Güvenç Havzası "01.07.1992" tarihli akım ve birim hidrograf ordinat değerleri

HEC-HMS modelinde gözlenmiş yağış akış değerleri, "Time-Series Data ve Paired Data" uzantıları altında "Precipitation Gages, Discharge Gages ve Unit Hydrograph" eklentileri içinde veriler işlenmiştir. Akış eğri numarası (CN) katsayısı Tablo 2.10'da belirtildiği gibi 81 alınmıştır. 01.07.1992 tarihli çalışma için yapılan kalibrasyon kalibrasyon çalışmasındaki parametreler aşağıda gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

Akışa geçmeden önceki su miktarı:1,2 mm

Geçirgenlik:1

Çekilme katsayısı:1

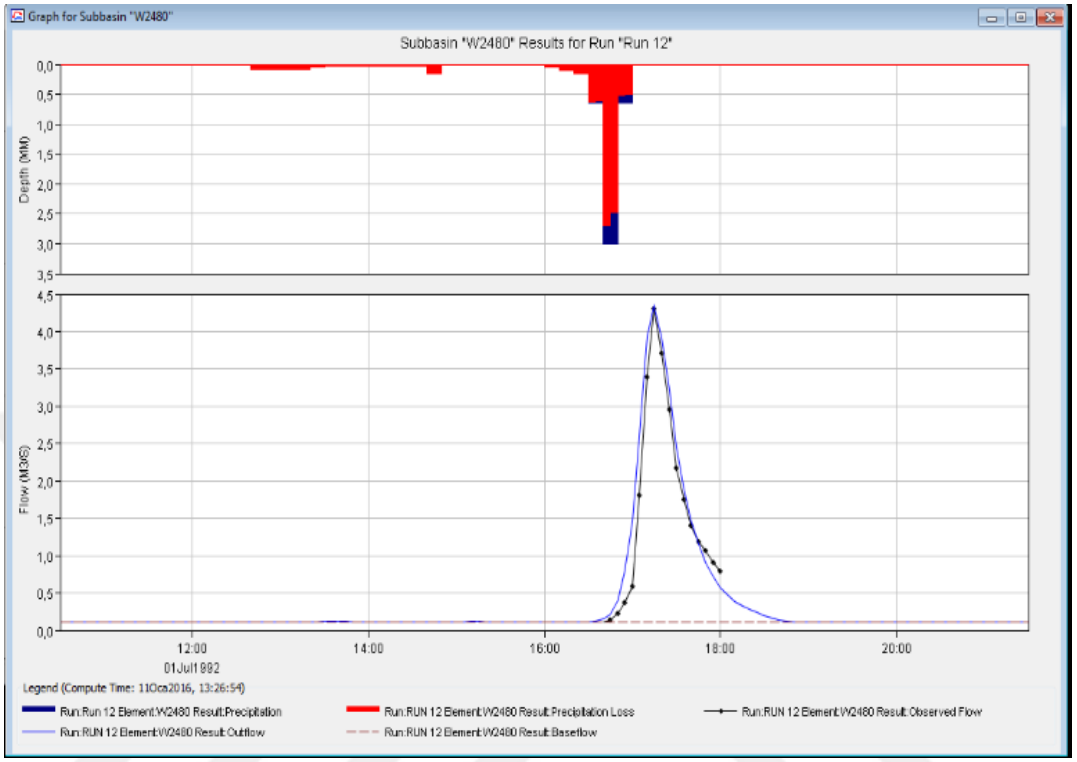
Oran:0,01

Başlangıç Akımı:0,102 m^3/s

olarak belirlenmiştir. Havzanın genelinde kentleşme veya betonlaşma yapıları hakim olmadığı için geçirimlilik değeri oldukça az alınmıştır.

Şekil 3.10'da HEC-HMS modeli ile gözlenmiş akım verileri ve gözlenmiş yağış verilerinden simüle edilen akım verileri verilmektedir. Ayrıca, model tarafından

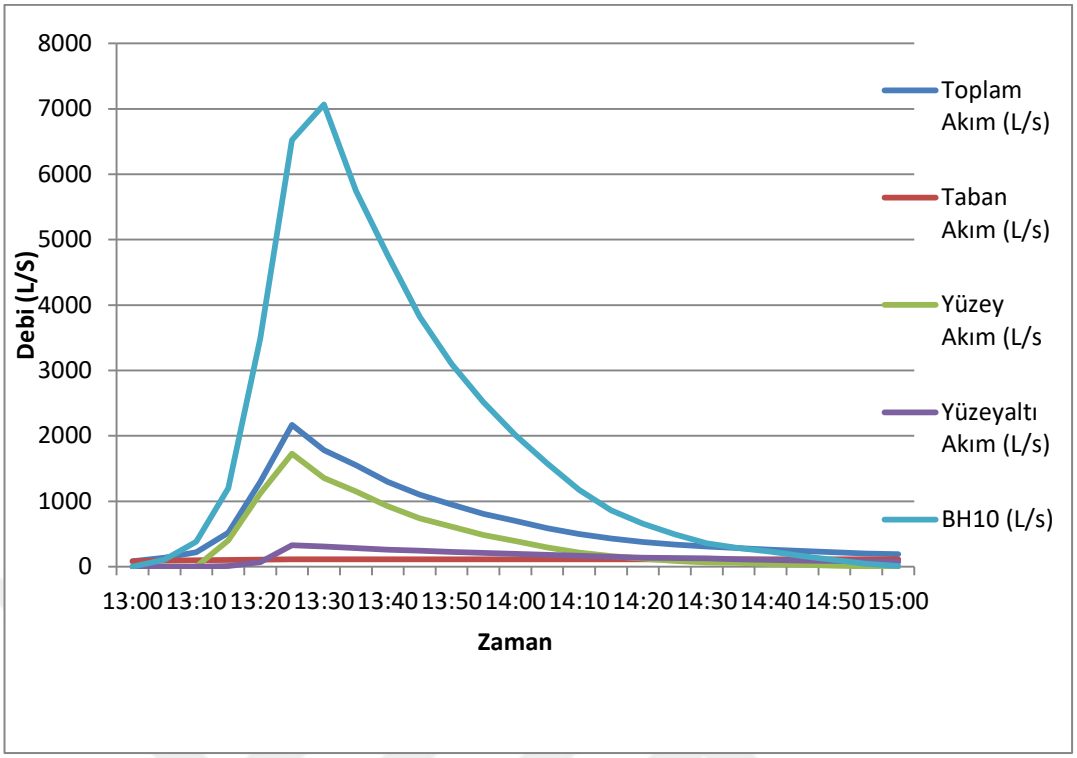
oluşturulan şeklin üst tarafında, yağış şiddetlerinden oluşan hiyetograf gösterilmektedir.



Şekil 3.10 HEC-HMS modeli "01.07.1992" tarihli kalibrasyon çalışması

Tablo 3.3 Güvenç Havzası "05.06.1993" tarihli plüviyograf analizi

Zaman	Süre	Yağış İstasyonları					Ort. Yağış	
		R-24	R-25	R-26	R-27	R-28	Aritmetik	Thiessen
12:50	-							
12:55	5	3,4	0,3	3	3	1,8	2,3	2,3
13:00	5	1	2	3	2,5	1	1,9	2,1
13:05	5	3,7	2,5	3,5	4	2,7	3,3	3,4
13:10	5	0,8	1,3	2	2	1	1,4	1,6
13:20	10	1,1	1,7	1,3	1,5	0,6	1,2	1,3
13:40	20	-	0,8	0,2	0,3	-	0,3	0,3
Toplam	50	10	8,6	13	13,3	7,1	10,4	11



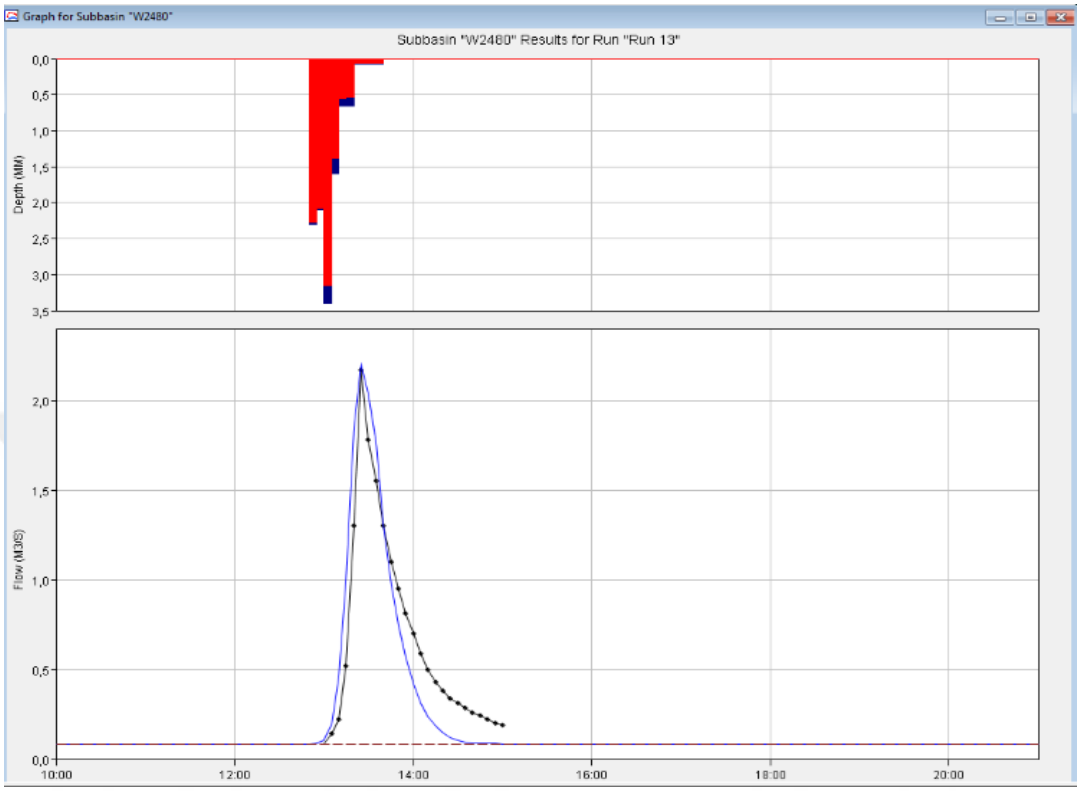
Şekil 3.11 Güvenç Havzası "05.06.1993" tarihli akım ve birim hidrograf ordinat değerleri

Tablo 3.3'de 5 Haziran 1993 tarihli birim hidrograf ordinat değerleri, toplam akım, taban akımı, yüzey akımı ve yüzeyaltı akımı değerleri verilmektedir (Tekeli ve Demirkıran, 2010). Şekil 3.11'de Güvenç Havzasının 5 Haziran 1993 tarihli akım ve birim hidrograf ordinat değerleri verilmiştir.

"05.06.1993 tarihli çalışmada uygulanan kalibrasyon çalışmasındaki parametreler aşağıda gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

Akışa geçmeden önceki su miktarı: 3,8 mm
Geçirgenlik: 0,8
Çekilme katsayısı: 1
Oran: 0,01
Başlangıç Akımı: 0,085 m^3/s

Şekil 3.12'de HEC-HMS modeli 5 Haziran 1993 tarihli kalibrasyon çalışması verilmiştir.



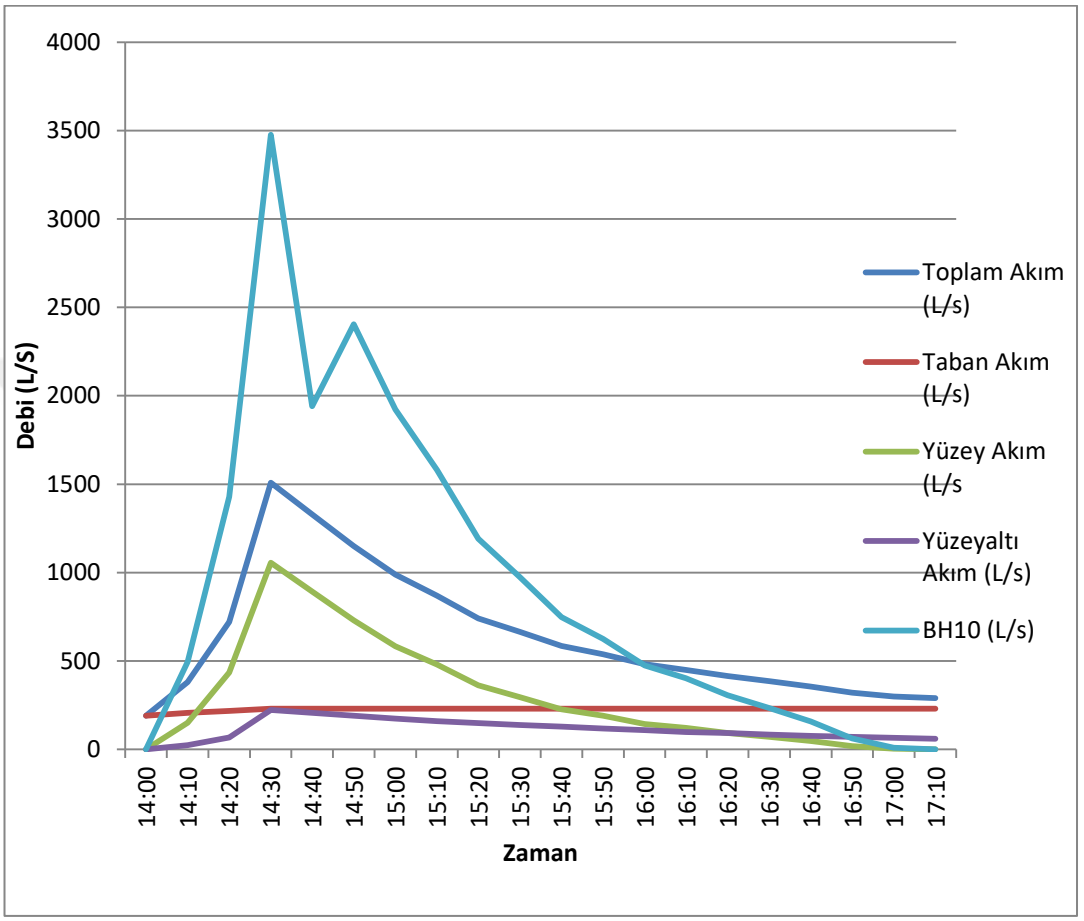
Şekil 3.12 HEC-HMS modeli "05.06.1993" tarihli kalibrasyon çalışması

Güvenç Havzası'nda kalibrasyon çalışmasında son olarak "10.05.1998" tarihi için bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın plüviyograf analizi Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4 Güvenç Havzası "10.05.1998" tarihli plüviyograf analizi (TAGEM, 2010)

Zaman	Süre	Yağış İstasyonları (mm)					Ort. Yağış (mm)	
		R-24	R-25	R-26	R-27	R-28	Aritmetik	Thiessen
13:30	-							
14:00	30	0,9	1,6	0,6	1,1	0,2	0,9	0,9
14:10	10	11	8,2	13,7	13,2	9	11	11,4
14:20	10	5,2	3,2	6,2	8,7	2,3	5,1	5,7
14:30	10	-	0,2	1,7	3,6	1,3	1,4	1,9
Toplam	60	17,1	13,2	22,2	26,6	12,8	18,4	19,9

Şekil 3.13'te Güvenç Havzası 10 Mayıs 1998 tarihli birim hidrograf ordinat değerleri verilmiştir.



Şekil 3.13 Güvenç Havzası "10.05.1998" tarihli akım ve birim hidrograf ordinat değerleri (TAGEM, 2010)

"10.05.1998 tarihli çalışmada uygulanan kalibrasyon kalibrasyon çalışmasındaki parametreler aşağıda gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

Akışa geçmeden önceki su miktarı: 13 mm

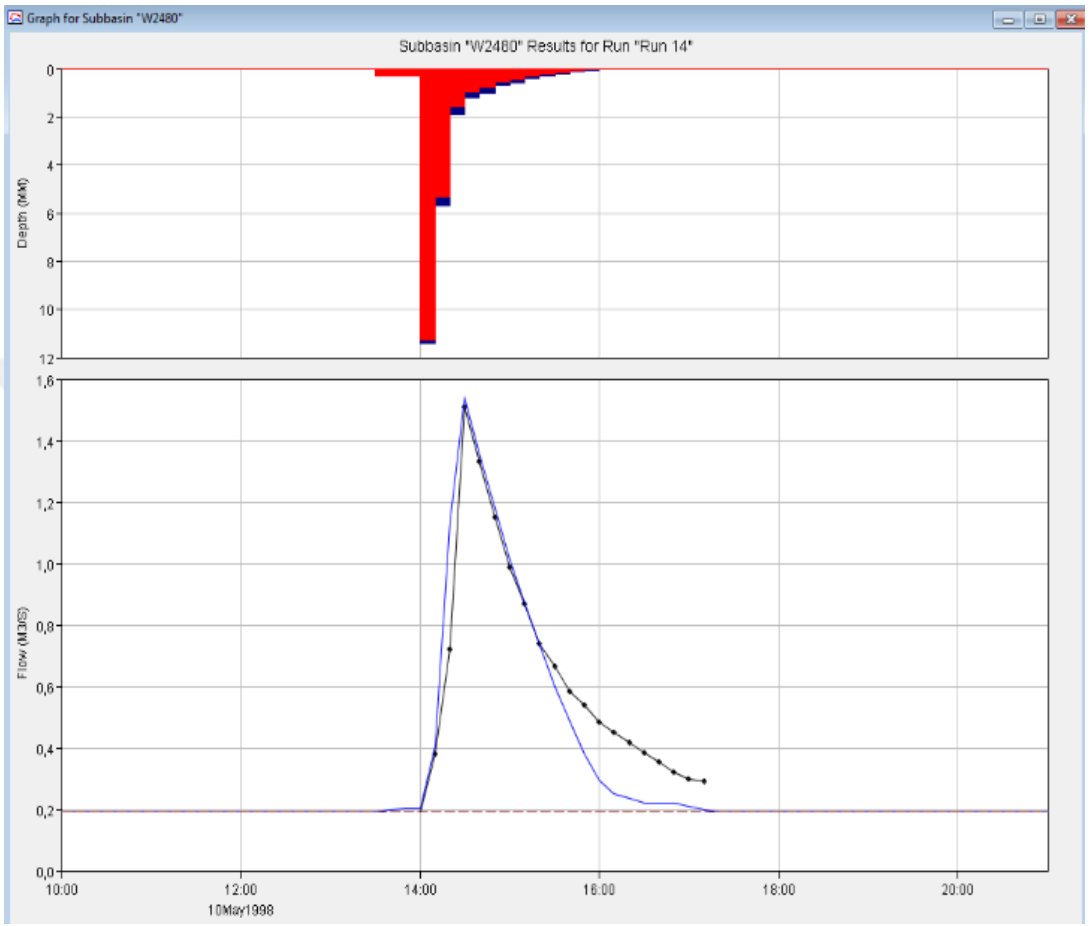
Geçirgenlik: 1

Çekilme katsayısı: 1

Oran: 0,01

Başlangıç akımı: 0,191 m^3/s

Kalibrasyon parametrelerine bağlı gözlenmiş ve modellenmiş hidrograf Şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.14 HEC-HMS modeli "10.05.1998" tarihli kalibrasyon çalışması

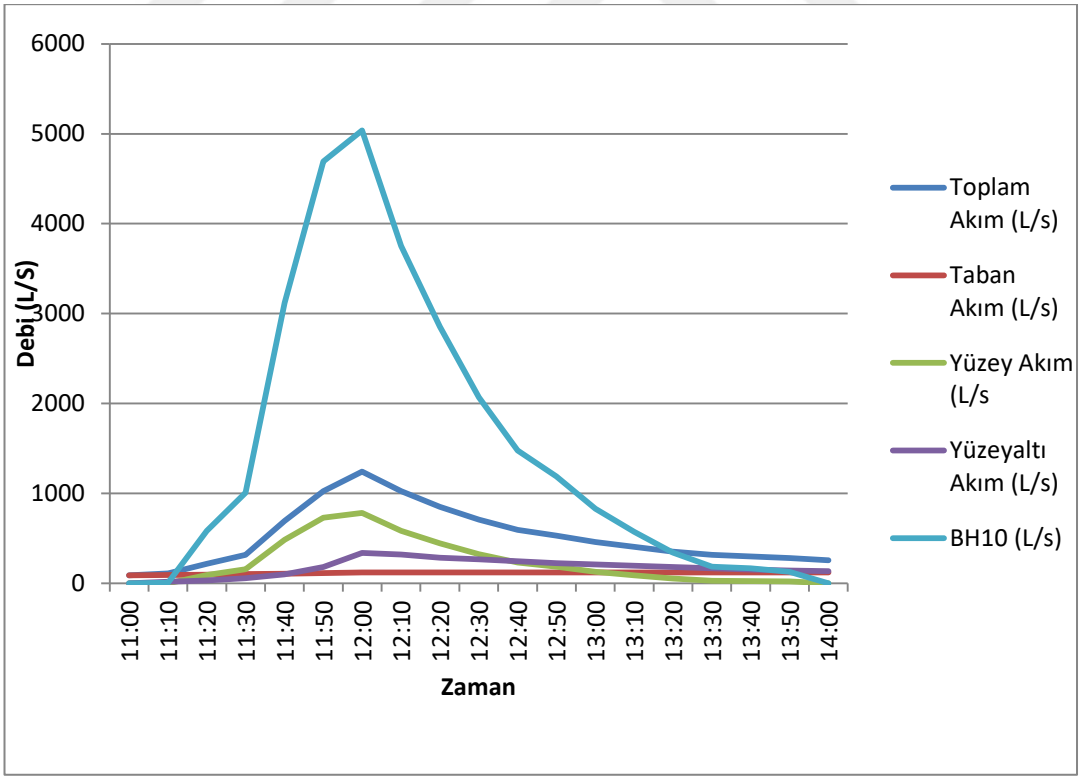
3.4 Güvenç Havzası Model Doğrulama Çalışmaları

Güvenç Havzası'nda farklı tarihlerdeki kalibrasyon çalışmasından sonra aynı şekilde validasyon (doğrulama) çalışması yürütülmüştür. Doğrulama çalışması için 2000, 2002 ve 2005 tarihlerinin belirli zamanlarındaki anlık yağış-akış ölçümlerinden yararlanılmıştır. Öncelikli olarak 02.06.2000 yılındaki ölçümler değerlendirilmiş olup sırasıyla; 01.05.2002 ve 26.05.2005 tarihleri için doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.5'de 2 Haziran 2000 tarihli yağış ve akım değerleri verilmiştir (TAGEM, 2010).

Tablo 3.5 Güvenç Havzası "02.06.2000" tarihli plüviyograf analizi (TAGEM, 2010).

Zaman	Süre	Yağış İstasyonları (mm)					Ort. Yağış (mm)	
		R-24	R-25	R-26	R-27	R-28	Aritmetik	Thiessen
10:40								
10:50	10	0,3	0,5				0,2	0,2
11:00	10	3	5	2,7	5,8	5,5	4,4	4,8
11:30	30	2	4	3	3	2	2,8	3,2
12:00	30	1	0,7	0,5	1	0,4	0,7	0,8
12:30	30	0,5	0,5	0,6	0,9	0,5	0,6	0,9
13:00	30	0,2	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	0,3
13:30	30	0,1	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2
14:00	30	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1
Toplam	200	7,4	11,6	8,7	11,8	9,1	9,8	10,5



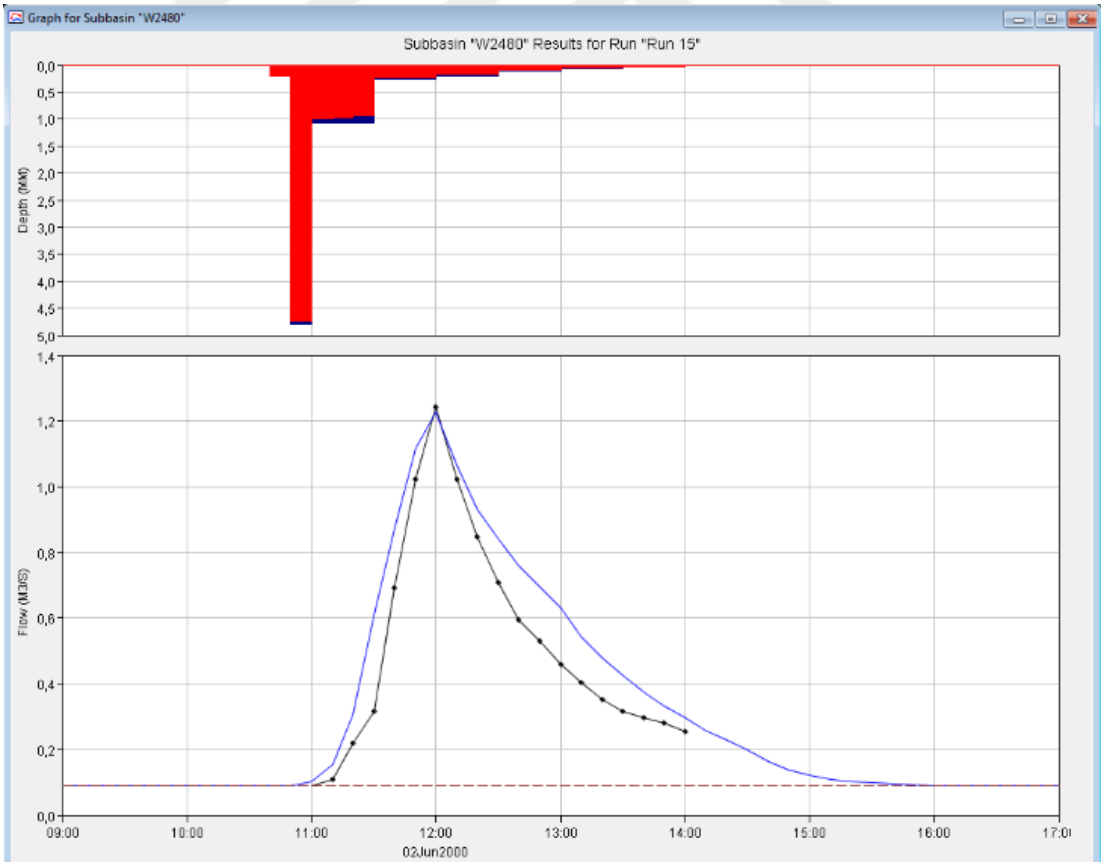
Şekil 3.15 Güvenç Havzası "02.06.2000" tarihli akım ve birim hidrograf ordinat değerleri (TAGEM, 2010)

Şekil 3.16'da HEC-HMS modeli 2 Haziran 2000 tarihli doğrulama çalışması verilmektedir.

Güvenç Havzası doğrulama işleminde Initial Abstraction Impervious ve Ratio değerleri sırasıyla; 1, 1, 0,01 olarak alınmış ve doğrulama işlemi için uygulanan 3 yıl için de değiştirilmemiştir.

"02.06.2000" tarihli çalışmada uygulanan validasyon çalışmasındaki parametreler aşağıda gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

Akışa geçmeden önceki su miktarı: 3,8 mm
Geçirgenlik: 1
Çekilme katsayısı: 1
Oran: 0,01
Başlangıç akımı: 0,089 m^3/s

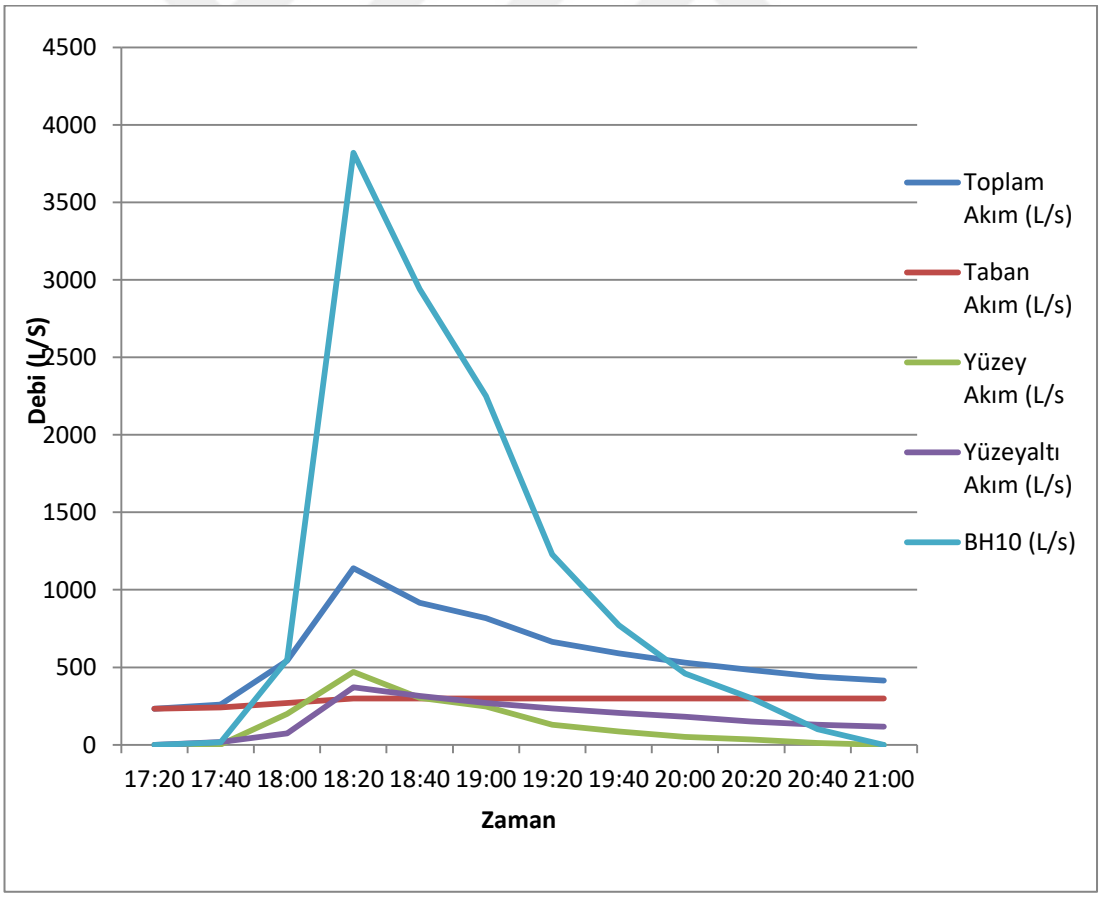


Şekil 3.16 HEC-HMS modeli "02.06.2000" tarihli doğrulama çalışması

Şekil 3.17'de 1 Mayıs 2002 tarihli birim hidrograf ordinat değerleri verilmiştir (TAGEM, 2010).

Tablo 3.6 Güvenç Havzası "01.05.2002" tarihli plüviyograf analizi

Zaman	Süre	Yağış İstasyonları (mm)					Ort. Yağış (mm)	
		R-24	R-25	R-26	R-27	R-28	Aritmetik	Thiessen
16:10								
16:30	20			1,9			0,4	0,3
16:40	10	1,1	0,5	5	1,5	0,5	1,8	1,8
16:50	10	5,8	3,2	6,8	2,5	1	3,9	3,3
17:40	50	1,5	5,2	2	0,5	1,5	2,1	1,9
17:45	5	1,5	0,8	1,2	0,5	1	1	0,9
17:55	10	0,9	2	2	2	1	1,6	1,7
18:05	10	0,2	1,1	0,5	2	0,5	0,9	1,2
18:25	20		0,9	0,5	1	0,5	0,6	0,7
Toplam	135	11	14	19,9	10	6	12,3	11,8



Şekil 3.17 Güvenç Havzası "01.05.2002" tarihli akım ve birim hidrograf ordinat değerleri

“01.05.2002” tarihli çalışmada uygulanan kalibrasyon çalışmasındaki parametreler aşağıda gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Şekil 3.18’de 1 Mayıs 2002 tarihli doğrulama çalışması verilmiştir.

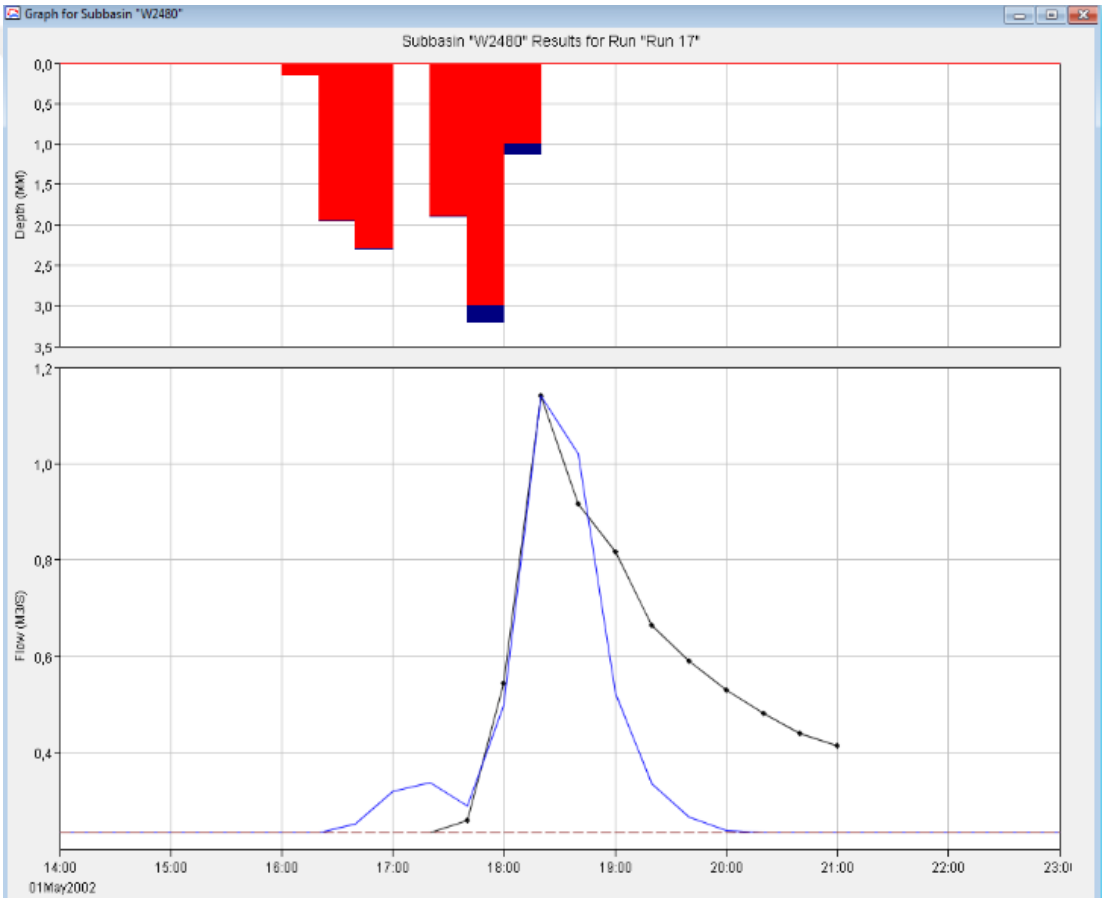
Akışa geçmeden önceki su miktarı: 5,75 mm

Geçirgenlik: 1

Çekilme katsayısı: 1

Oran: 0,01

Başlangıç Akımı: 0,233 m^3/s

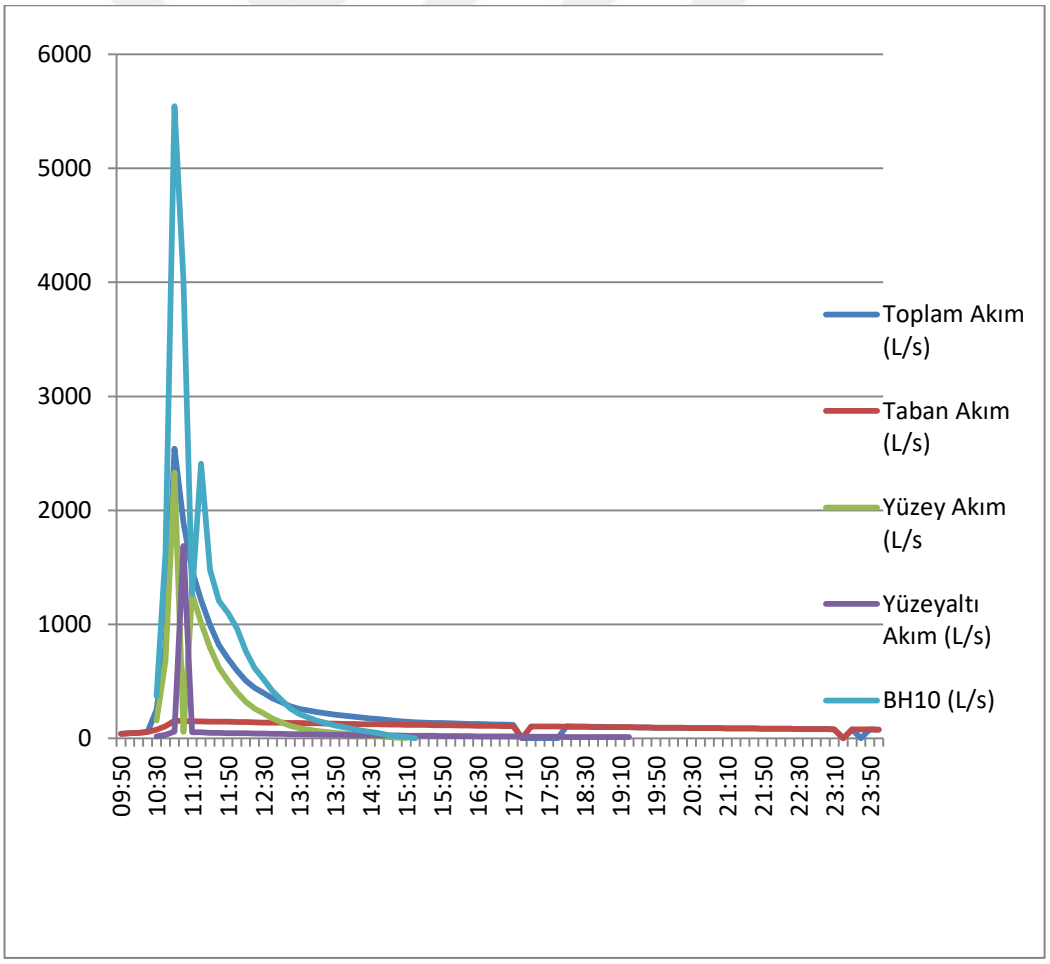


Şekil 3.18 HEC-HMS modeli “01.05.2002” tarihli doğrulama çalışması

Tablo 3.7’de 26 Mayıs 2002 tarihli yağış ve akış değerleri, Şekil 3.19’da 26 Mayıs 2005 tarihli birim hidrograf ordinat değerleri verilmiştir (TAGEM, 2010).

Tablo 3.7 Güvenç Havzası “26.05.2005” tarihli plüviyograf analizi

Zaman	Süre	Yağış İstasyonları (mm)					Ort. Yağış (mm)	
		R-24	R-25	R-26	R-27	R-28	Aritmetik	Thiessen
09:50								
10:30	10	5,6	14,1	18,6	3,5	10,8	10,52	9,89
10:40	10	1	4,5	3	0,5	0,2	1,84	1,66
10:50	10	0,5	2,3	1,9	1	0,2	1,18	1,2
11:00	20	1	2,6	2,3	0,5	0,3	1,34	1,21
11:40	40	0,7	1	0,8	1	1	0,9	0,94
12:20	40	1,1	1,1	2,4	1,5	0,7	1,36	1,41
Toplam	135	9,9	25,6	29	8	13,2	17,2	16,3



Şekil 3.19 Güvenç Havzası “26.05.2005” tarihli akım ve birim hidrograf ordinat değerleri

“26.05.2005” tarihli çalışmada uygulanan kalibrasyon çalışmasındaki parametreler aşağıda gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Şekil 3.20’de 26 Mayıs 2005 tarihli doğrulama çalışması verilmiştir.

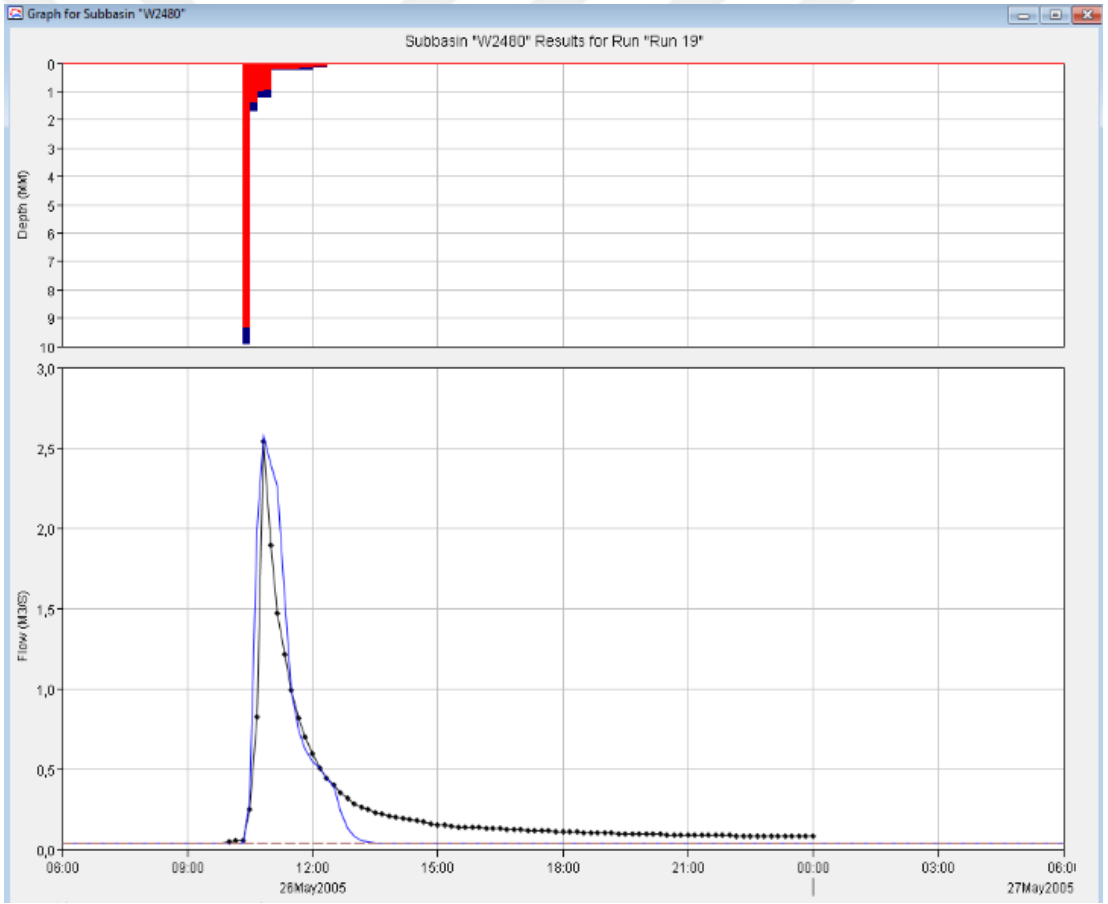
Akışa geçmeden önceki su miktarı: 4 mm

Geçirgenlik: 1

Çekilme katsayısı: 1

Oran: 0,01

Başlangıç akımı: 0,039 m³/s



Şekil 3.20 HEC-HMS modeli “26.05.2005” tarihli doğrulama çalışması

Güvenç Havzası için yürütülen kalibrasyon ve doğrulama işlemleri sonucu tez çalışmasının ilk aşaması olan havzanın taşkın pik debilerinin hesaplanmasında modelin parametre değerleri belirlenmiş ve doğrulaması gerçekleştirilmiştir.

Akış eğri numarası: 81
Geçirgenlik: 1
Çekilme katsayısı: 1

Initial Abstaction değeri çalışılan kalibrasyon ve doğrulama işlemleri için ortalama değer olarak "5,25 mm" olarak hesaplanmıştır.

Akışa geçmeden önceki su miktarı değeri için elde mevcut anlık yağış-akım değerleri mevcut değil ise USA Urban Hydrology hesaplamalarına göre çeşitli eşitlikler yardımı ile hesaplanmaktadır. Hesaplama;

$$Ia = 0{,}2S \tag{3.1}$$

$$S = \frac{1000}{\mathrm{CN}} - 10 \tag{3.2}$$

(3.1) ve (3.2) denklemleri ile belirlenmektedir (USDA, 1986). Eşitliklerde Güvenç Havzası için Akış eğri numarası (CN) belirlendiğinden Akış eğri numarası değeri yukarıda verilen formüllere uygun olarak hesaplanabilmektedir. Güvenç Havzası için Tablo 2.10'da belirlenen Akış eğri numarası katsayısı eşitlikte yerine yazıldığında; Akış eğri numarası değeri 0,457 in olarak, birim değişikliği yapıldığında, bu değer 11,06 mm olarak elde edilmiştir.

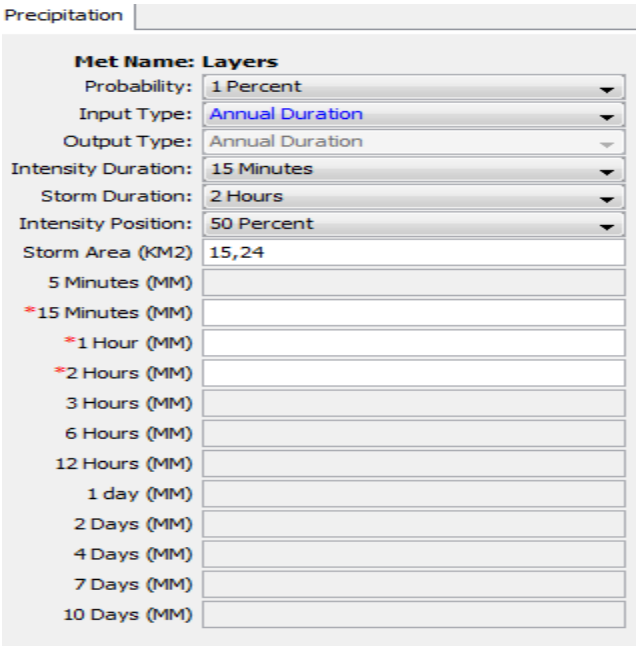
Havzanın kalibrasyon ve validasyon işlemlerinde gerçek birim hidrograf değerlerinin de modelde değerlendirilmesi, taban akımı, yüzeysel akış, yüzey altı akımı gibi değerlerin mevcut olması havzanın karakteristik olarak güvenilirliğini arttırmakta olup modelde oluşabilecek hata payını azaltmaktadır.

BÖLÜM DÖRT
GÜVENÇ HAVZASI PİK TAŞKIN DEBİLERİNİN HESAPLANMASI

4.1 HEC-HMS Modeli ile Farklı Tekerrüre Sahip Taşkın Değerlerinin Bulunması

Güvenç Havzası'na ait HEC-HMS modeli oluşturulup, kalibrasyon ve doğrulama aşamalarından sonra HEC-HMS modelinde pik taşkın debilerinin ve hidrografların hesaplanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Modelde, "Meteorologic Models" kısmında "Frequency Storm" seçilerek farklı tekerrüre sahip yağışların oluşturacağı taşkın hidrograflarını elde etmek mümklün olmaktadır. Modelde parametrelerin en etkililerinden olan proje sağanak süresinin belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Proje sağanak süresi için en yüksek taşkın değerinin hangi saatte elde edildiği deneme yanılma yoluyla elde edilmiştir. Ayrıca proje sağanak süresinin bulunması için Bölüm 3.2'de belirtilen sentetik yöntemlerle de karşılaştırılma yapılmıştır. Güvenç Havzası için proje sağanak süresi 2 saat olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.1'de farklı tekerrüre sahip yağış verilerinin giriş sekmesi görülmektedir.



Şekil 4.1 HEC-HMS modelinde farklı tekerrüre sahip yağışların gösterilmesi

Güvenç Havzası için 2, 5, 10, 25, 50, 100 yılda bir oluşabilecek olası maksimum yağışların modelde yürütülebilmesi için havzanın işletilmiş olan plüviyograf değerlerinden yararlanılmıştır. PLV katsayısı pik taşkın debilerinin belirlenmesinde hem frekans analizi yöntemlerinde hem de sentetik yöntemler için en önemli parametrelerden biridir. Geçmiş yıllarda yürütülen araştırma projesi kapsamında Havzanın bağlı olduğu 5 farklı meteoroloji istasyonu (R-24, R-25, R-26, R-27, R-28) için 5 dakika ile 1440 dakika arasındaki en yüksek yağış değerleri mevcuttur. Bu çalışmada, havzanın ortasında bulunan ve havza ortalama yağışına çok yakın olan R-25 istasyonunun sonuçları kullanılmıştır. Güvenç Havzası için belirlenen PLV katsayıları Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Güvenç Havzası R-25 istasyonu plüviyograf katsayıları (TAGEM, 2010)

	PLV (R-25 İstasyonu)													
Süre (sa.)	1/12	1/6	1/4	1/2	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
PLV kat.	0,20	0,29	0,36	0,46	0,55	0,65	0,72	0,68	0,81	0,70	0,73	0,80	0,90	1,00

Belirlenen Plüviyograf katsayılarına göre R-25 istasyonunda kaydedilen en yüksek yağış miktarları standart zaman aralıklarında bölgedeki plüviyograf analizine göre belirlenmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 R-25 İstasyonunda standart zaman aralıklarına göre kaydedilen en yüksek yağış değerleri (mm) (TAGEM, 2010).

Yıllar	Standart Süreler (Dakika)										
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	360	1440
1984	6,3	9,3	9,3	9,3	12,3	17,3	18,8	23,5	30,6	35,2	35,2
1985	3,8	4,4	6	7,5	8,3	9,4	9,4	13,9	14,9	22,5	40,5
1986	5	7	9	11	12	14,2	15,3	17	18,5	18,8	26,5
1987	8	15	18	21	24,8	27,3	27,8	28	28,5	32,8	40
1988	5	6	7	7,5	8,7	13	14,4	17,4	17,5	17,9	24,7
1989	5,5	7	8	10	12,5	12,5	12,6	12,7	12,8	18	48
1990	4	5,6	5,8	6	8	9	11	14,2	15,4	25	39,3
1991	6	7,4	7,9	8,3	8,4	9,4	10,1	11,2	12	13	22,7
1992	5	7	9	10	12	13	13	13	15,5	21,7	30,5
1993	4	5,8	7	7,6	8	8,4	8,5	10,6	15,8	17,8	30,5
1994	3,2	4	4,1	4,2	4,3	4,4	5	6,1	7	14	30,5
1995	3,6	4,8	6	6,6	7,2	10,8	12	15,7	15,8	27,5	60,7
1996	9,2	13,2	14,4	16	17,1	17,8	18,5	23,1	24,5	26	34,9
1997	6,4	8,8	9	10	12,3	13,6	17,3	19,7	22,5	33,7	37,7
1998	8,4	16,4	24	25	26	26,8	26,8	26,8	28,4	29	37,8
1999	8,1	12,4	14,7	15	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	16	36,4
2000	9,2	16,3	18,7	19,4	20,6	21,8	22,7	23,3	26,4	29,3	37,3
2001	4,8	5	5,2	6,3	7,2	9,5	12,3	14,2	15,4	17,7	21,3
2002	6,5	7,8	10,4	13,9	16,8	18,9	19,7	21,2	23	23,5	23,8
2003	2,2	3,8	4,1	4,4	5,8	6	6,3	6,7	8,8	22,5	44,5
2004	5,6	8,3	9,2	9,5	9,7	9,9	10	13	17	20,2	35,6
2005	10	14	16	18,3	21	22,2	23,3	24	25	26	50
2006	6,3	8,7	10,1	10,4	10,6	11,3	14,3	17,8	18,2	23,3	29,8
2007	3	4,3	4,5	5,3	5,8	6	6,3	7,5	8,5	18,7	19,3
2008	4	5,3	6,6	7,9	9,3	9,9	10,6	11,9	13,2	19,4	36,5
2009	5,3	6	7,1	8,2	11,5	16,2	18,9	22,4	26,2	31,1	44,2
2010	6,1	7,5	8,2	10,9	14	17,5	22,1	26,5	29,4	34,1	46,3

Güvenç Havzasında, yağış miktarları tekerrür analizi çalışması için herbir standart süre için olasılık dağılım fonksiyonları uygulanmıştır. Öncelikli olarak Standart süreli maksimum yağışların örnek istatistikleri belirlenmiştir (Tablo 4.3). Daha sonra uygun dağılım fonksiyonu belirlenmiştir. Standart sürelerdeki örnek istatistiklerin olasılık dağılım fonksiyonları olarak, Normal dağılım, Log-Normal 2, Log-Normal 3, Extreme Value (Gumbel), Log-Pearson 3 dağılımları kullanılmıştır.

Yağış istasyonunun standart süreli maksimum yağışların örnek istatistik değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 R-25 İstasyonunda standart süreli maksimum yağışların örnek istatistiği

		5	10	15	20	30	45	60	90	120	360	1440
Ortalama	Xort	5,7	8.2	9.6	10.7	12.2	13.6	14.9	16.9	18.7	23.5	35.7
Standart sapma	Sx	2,0	3.8	4.8	5.2	5.6	5.9	6.1	6.2	6.7	6.3	9.5
Varyans	Sx^2	4,0	14	23,5	26,8	31.2	34.4	36.5	38	44.4	39.1	89.6
Standart Sapma	Sx	2,00	3.8	4.9	5.2	5.6	5.9	6.1	6.2	6.7	6.3	9.5
Değişkenlik Katsayısı	Cvx	0,35	0,4	0,51	0,48	0,46	0,43	0,41	0,36	0,36	0,27	0,26
3. dereceden merkezi mom.	m3	31,1	59	78,6	97,1	124	158	185	242	295	489	1073
Yanlı Çarpıklık Katsayısı	g1	3,87	1,1	0,69	0,70	0,71	0,79	0,84	1,03	1,00	2	1,27
Yansız Çarpıklık Katsayısı	g1	4,34	1,2	0,77	0,78	0,80	0,88	0,94	1,16	1,12	2,25	1,42
4. dereceden merkezi mom.	m4	20.9	36	45.3	51.6	58.7	63.9	66.3	65.4	65.0	34.6	103.8
Yansız sivrilik katsayısı	g2	1,64	0,2	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,04	0,03	0,02

T= 2, 5, 10, 20, 50, 100 yıl tekerrürlü yağışlar ve standart hataları hesaplayabilmek için dağılım modeleri, Probability Pilot Correlation Coefficient (PPCC) uygunluk testine tabi tutulmuş olup en uygun dağılım modelleri belirlenmiştir.

Tablo 4.4 Standart süreli maksimum yağışların uygun dağılım modelleri

	5 dk	10 dk	15 dk	20 dk	30 dk	45 dk	60 dk	90 dk	120 dk	360 dk	1440 dk
Dağılım modelleri	Gumbel	LPT3	LPT3	LN2	LN2	LPT3	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Normal

Gumbel modeli için gerekli bütün parametreler hesaplandıktan sonra Güvenç Havzası yağış miktarları tekerrür analizi çalışmasının sonuçları Tablo 4.5'de verilmiştir.

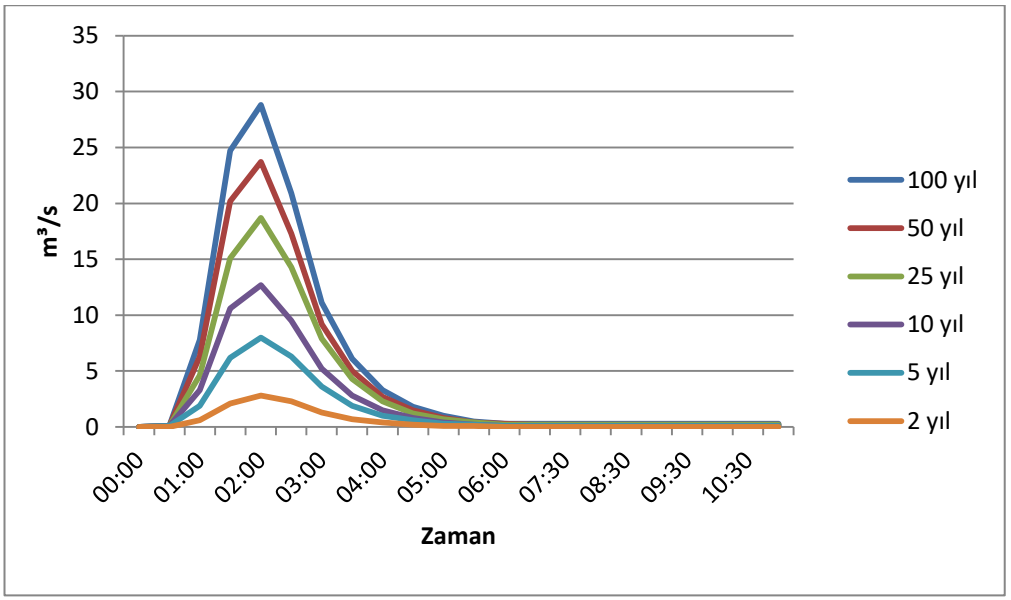
Tablo 4.5 Güvenç Havzası yağış miktarları tekerrür analizi

	Standart zamanlar (Dak.)-Yağış Miktarları (mm)										
Tekerrür	5	10	15	20	30	45	60	90	120	360	1440
2 yıl	5,5	7,4	8,6	9,7	10,9	12,3	13,2	15,2	16,7	21,4	33,7
5 yıl	7,7	11,1	13,3	14,8	16,5	18,2	18,7	21,6	23,1	27,4	42,6
10 yıl	9,2	13,8	16,9	18,6	20,6	22,1	24,5	25,9	27,5	31,3	47,9
25 yıl	11,2	17,8	22,1	24	26,2	27,2	27,8	31,3	32,9	36,3	54,1
50 yıl	12,6	21,1	26,4	28,3	30,7	32	34,1	35,3	36,9	40	58,5
100 yıl	14	24,6	31,2	33	35,5	36,7	38,2	39,3	40,9	43,7	62,6

Güvenç Havzası için elde edilen standart zamanlara göre tekerrür analizi sonuçlarını hem HEC-HMS modeli için hem de sentetik yöntemlerle hesaplanan pik taşkın debilerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. HEC-HMS modeli çalışmasında sağanak süresini hesaplamak için 2, 4,6,12 saatlik sonuçlar karşılaştırılmış ve Güvenç Havzasının sağanak süresinin iki saat olduğu sonucuna varılmıştır. İki saatlik sağanak süresine göre Şekil 4.1'de belirtilen parameter değerleri kullanılarak 2, 5, 10, 25, 100 yıl tekerrüre göre pik taşkın debileri ve hidrografları elde edilmiştir. HEC-HMS model çıktıları her bir tekerrür süresi için hesaplanmış olup EK'te verilmiştir. Bütün tekerrür süreleri dikkate alınarak oluşturulan pik taşkın debileri Tablo 4.6 ve Şekil 4.2'de sunulmuştur.

Tablo 4.6 Güvenç Havzası HEC-HMS modeli pik taşkın debileri

	Tekerrür Yılları HEC-HMS SONUÇLARI (m³/s)					
Süre	2 yıl	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl
00:00	0	0	0	0	0	0
00:30	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
01:00	0,6	1,9	3,3	4,6	6,3	7,8
01:30	2,1	6,2	10,6	15,1	20,2	24,7
02:00	2,8	8	12,7	18,7	23,7	28,8
02:30	2,3	6,3	9,5	14,3	17,3	20,9
03:00	1,3	3,6	5,2	7,9	9,2	11,1
03:30	0,7	1,9	2,8	4,3	5	6,1
04:00	0,4	1	1,5	2,3	2,7	3,3
04:30	0,2	0,6	0,8	1,2	1,5	1,8
05:00	0,1	0,3	0,4	0,7	0,8	1
05:30	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5
06:00	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3
07:00	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
07:30	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
08:00	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
08:30	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
09:00	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
09:30	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
10:00	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
10:30	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
11:00	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3



Şekil 4.2 Güvenç Havzası HEC-HMS modeli pik taşkın debileri

4.2 Sentetik Yöntemler ile Farklı Tekrrüre Sahip Taşkın Değerlerinin Hesaplanması

Güvenç Havzası çalışmalarında araştırma merkezi tarafından elde edilmiş olan yağış ve akım değerleri kullanılmıştır. Havza çevresinde DSİ veya EİE istasyonu çok az olup var olanlar da havzadan uzak noktalardadır. Bu durumda HEC-HMS modeli ile elde edilen sonuçlar, DSİ Sentetik ve Süperpozesiz Mockus yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

4.2.1 Güvenç Havzası DSİ Sentetik ve Mockus Yöntemi ile Taşkın Değerlerinin Eldesi

Güvenç Havzasında sentetik yöntemlerin hesaplanabilmesi için havzanın bazı karakteristik özellikleri belirlenmektedir. Bunların birçoğu HEC-HMS modeli için yukarıda bahsedilen bölümlerde hesaplanmıştır. Gerekli olan diğer parametreler için öncelikle havzanın en uzun akarsu boyunun 10 eşit parçaya ayırarak herbir noktadaki kot belirlenerek harmonik eğim hesaplanmaktadır (Tablo 4.7).

Tablo 4.7 Güvenç Havzası harmonik eğim hesap tablosu

HARMONİK EĞİM HESAP TABLOSU	Sıra No	H (m)	h (m) (fark)	l = L /10 (m)	$S = \sqrt{1}/Si$
	0	1054	0	590	-
	1	1070	16		6,07
	2	1086	16		6,07
	3	1095	9		8,10
	4	1114	19		5,57
	5	1137	23		5,06
	6	1169	32		4,29
	7	1230	61		3,11
	8	1249	19		5,57
	9	1291	42		3,75
	10	1341	50		3,44
	Top.		287	S*(1/S1/2)	51,04

Harmonik eğim hesabı;

$$\sqrt{S} = 10/(S(1/\sqrt{S})) \quad (4.1)$$

Tablo 4.7'den, S*(1/S1/2) = 51,04

Harmonik Eğim (S) = 0,038

DSİ Sentetik yöntem için gerekli 24 saatlik yinelenmeli yağışlar ve yağış alan dağılım katsayıları Tablo 4.8'de ve Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.8 Yinelenmeli yağışlar (24 Saatlik)

Yinelenmeli Yağışlar (24 Saatlik)					
2 (yıl)	5 (yıl)	10 (yıl)	25 (yıl)	50 (yıl)	100(yıl)
33,70	42,60	47,90	54,10	58,50	62,60

Tablo 4.9 Yağış alan dağılım katsayıları

YADK				
(0,5 /sa.)	(1 /sa.)	(3 /sa.)	(6 /sa.)	(24 /sa.)
0.937	0,963	0,983	0,989	0,993

Sentetik yöntemler için gerekli havza ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

Yağış Alanı: 15,242 km²

L (En uzun akarsu boyu) = 5900 m

Lc (Orta noktasından merkeze en uzun akarsu boyu) = 2610 m

CN (akış eğri numarası) =81

Mockus yöntemi için $h_{akış}$ (akış yüksekliği) değeri 3 No'lu formülde verilmiştir.

$$h_{akış} = (P - 0{,}2S)^2 / (P + 0{,}8S) \quad (4.2)$$

Mockus yönteminde P parametresinin belirlenebilmesi için hidrograf tepe noktası ve çekilme eğri numaralarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için gerekli formülasyonlar;

$$T_C = 0{,}0003245\ (L^{0,77}(m) / S^{0,385}) \quad (4.3)$$

$$S = ((1000/ EN_{II}) - 10) * 25{,}4 \quad (4.4)$$

$$D = 2 \times \sqrt{Tc} \quad (4.5)$$

$$Tp = 0{,}5 \times D + 0{,}6 \times Tc \quad (4.6)$$

$$Qp = (K \times A)/Tp \quad (4.7)$$

Gerekli formülasyonlar hesaplandığında;

S = 55,76

Tc = 0,91 sa

Tp = 1,55 sa

K =0,208 (Mockus)

Qp =2,05

Qbaz =0,1 m³/s

Parametrelerine bağlı olarak tekerrürlü $h_{akış}$ değerleri Tablo 4.10'da verilmektedir.

Tablo 4.10 Mockus yöntemi tekerrürlü akış yükseklikleri

	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{500}	Q_{1000}
hakış (mm)=	2,67	5,34	7,24	9,69	11,56	13,39	17,65	19,48

Mockus yöntemi tekerrürlü pik taşkın debilerini hesaplanması için;

$$Q\ (t) = hakış \times Qp + Qbaz \quad (4.8)$$

Formülü ile tekerrürlü pik taşkın debileri Tablo 4.11'de verilmektedir.

Tablo 4.11 Mockus, DSİ Sentetik yöntemi ve HEC-HMS tekerrürlü pik taşkın debileri

		Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{500}	Q_{1000}
Q (t)=	Mockus	5,57	11,05	14,93	19,95	23,79	27,54	36,26	40,02
	DSİ Sentetik	4,64	9,19	12,41	16,57	19,76	22,87	30,26	33,44
	HEC-HMS	2,8	8	12,7	18,7	23,7	28,8	39,94	44,73

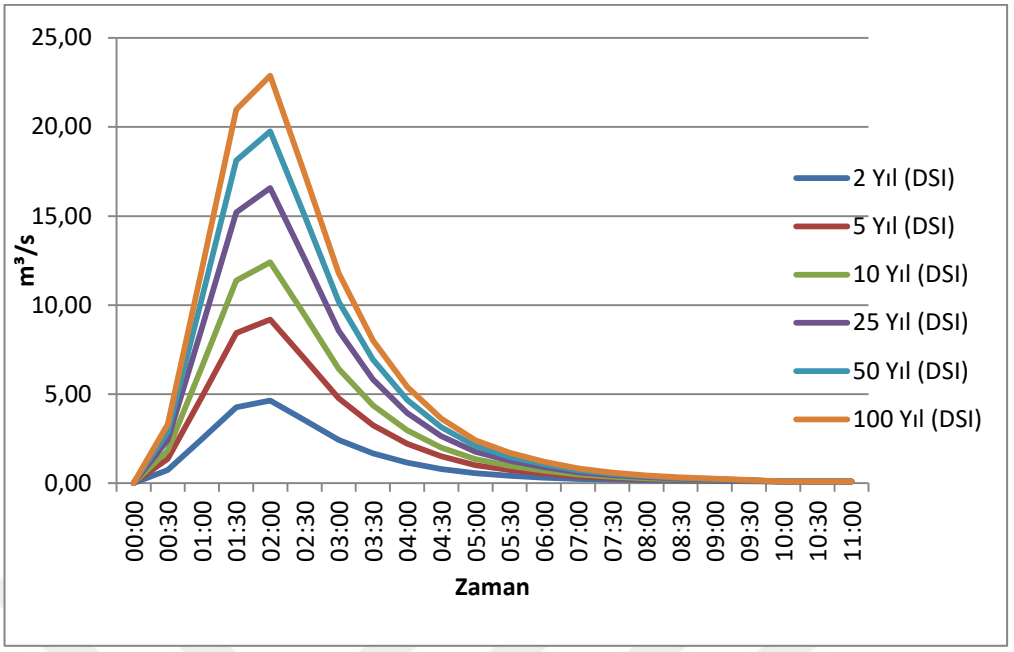
$$Q500 = Q10 + 1{,}692 \times (Q100 - Q10) \quad (4.9)$$

$$Q1000 = Q10 + 1{,}99 \times (Q100 - Q10) \quad (4.10)$$

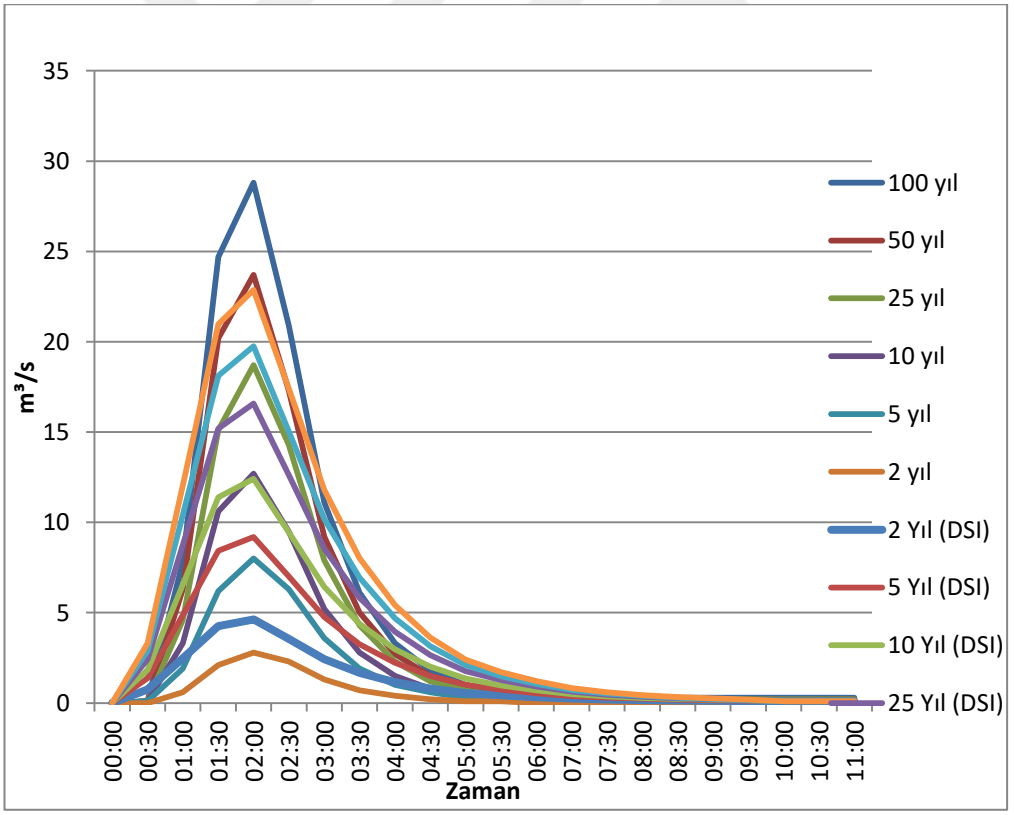
Tablo 4.12 Güvenç Havzası DSI Sentetik yöntemi pik taşkın debileri

	Tekerrür Yılları DSI Sentetik Sonuçları (m³/s)					
Süre	2 yıl	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl
00:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:30	0,74	1,38	1,84	2,42	2,87	3,31
01:00	2,48	4,87	6,55	8,74	10,41	12,04
01:30	4,26	8,43	11,38	15,20	18,12	20,97
02:00	4,64	9,19	12,41	16,57	19,76	22,87
02:30	3,55	7,01	9,45	12,62	15,04	17,41
03:00	2,43	4,76	6,42	8,56	10,19	11,79
03:30	1,68	3,26	4,38	5,83	6,94	8,02
04:00	1,16	2,22	2,97	3,94	4,69	5,41
04:30	0,80	1,51	2,01	2,65	3,15	3,63
05:00	0,56	1,02	1,35	1,77	2,10	2,41
05:30	0,42	0,74	0,97	1,26	1,49	1,71
06:00	0,32	0,55	0,70	0,91	1,06	1,22
07:00	0,25	0,39	0,49	0,63	0,73	0,83
07:30	0,20	0,30	0,37	0,46	0,53	0,60
08:00	0,17	0,24	0,28	0,35	0,39	0,44
08:30	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	0,33
09:00	0,13	0,16	0,18	0,21	0,23	0,25
09:30	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19
10:00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
10:30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
11:00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Sonuçlar değerlendirildiğinde 100 yılda bir oluşabilecek taşkın debileri HEC-HMS modelinde 28,8 m³/s, Mockus yönteminde 27,54 m³/s ve DSI Senteik yönteminde ise 22,87 m³/s olarak bulunmuştur. Model ile Mockus yöntemi sonuçları oldukça yakın olup DSI Sentetik yöntemindeki taşkın pik debileri nispeten daha az çıkmıştır. DSI Sentetik hidrograf grafiği Şekil 4.3'te HEC-HMS modeli ile Senteik hidrograflarının karşılaştırılması grafiği Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.3 Güvenç Havzası DSI Sentetik yöntemi pik taşkın debileri



Şekil 4.4 Güvenç Havzası DSI Sentetik yöntemi ve HEC-HMS modeli pik taşkın debileri

BÖLÜM BEŞ
GÜVENÇ HAVZASI İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİNİN PİK TAŞKIN DEBİLERİNE OLASI ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

İklim değişikliğinin etkilerini araştırmak amacıyla hazırlanan bölgesel iklim modeli sonuçları kullanılmış olup Güvenç Havzasının bağlı olduğu Sakarya Havzasındaki 10 km-10 km'lik gridlerin yılda günlük maksimum yağış değerlerinden faydanılmıştır (OSİB, 2016).

Türkiye İklim Değişikliği Metodolojisi

Türkiye İklim Değişikliği Projeksiyonları Raporu'nda Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin 5. Değerlendirme Raporu'nun tabanını oluşturan CMIP5 arşivinden seçilmiş 3 farklı küresel modelin çıktılarıyla ve RCP 4.5 ve RCP 8.5 salım senaryoları ile bir bölgesel iklim modelinin (RegCM) tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde çalıştırılması öngörülmüştür. Böylece model çıktılarıyla tüm havzalarda yağış, buharlaşma ve akış projeksiyonları oluşturulabilecek ve bölgesel iklim modeli sonuçları hidrolojik modellemeye teşkil edecektir.

İklim Değişikliği Projeksiyonları Raporu kapsamında HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5.1 küresel modelin sonuçlarından RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile dinamik ölçek küçültmesi (downscaling) yapılmıştır.

5.1 Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP)

Temsili konsantrasyon rotaları (RCP) 5. Değerlendirme Raporu (AR5) için IPCC tarafından adapte edilen dört sera gazına ait konsantrasyon yörüngeleridir. Diğer bir deyişle temsili konsantrasyon rotaları, yeryüzünün radyasyon dengesini bozan emisyonlara ait konsantrasyon yörüngeleri için oluşturulan senaryolardır. Radyatif zorlama seviyeleri ve rotalarına göre dört tip RCP tanımlanmıştır. Bu senaryolar aynı zamanda IPCC'nin 5. Değerlendirme Raporu için adapte edilen 4 sera gazı konsantrasyon rotalarıdır (Moss ve diğer., 2010). Bu dört senaryo 2100 yılında ne

kadar sera gazının yayılacağını göz önüne alarak gelecek iklimi açıklar. Söz konusu dört RCP senaryosu 2100 yılında sanayi devrimi öncesine göre radyatif zorlanmanın olası değerlerini göz önüne alan +2,6 +4,5 +6,0 ve + 8,5 W/m2 referanslı RCP2.6, RCP4.5, RCP6 ve RCP8.5'dan oluşur. RCP8.5, RCP6 ve RCP 4.5 senaryoları 2100 yılında ulaşılacak radyatif zorlamayı ifade etmektedir. Güvenç Havzası pik taşkın debilerinin hesaplanmasında RCP 4.5 ve RCP 8.5 kullanılmış olup üç farklı küresel model (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5.1) ve RegCM (Bölgesel İklim Modeli) 10 km-10 km gridlik sonuçlar değerlendirilerek kullanılmıştır (OSİB, 2016).

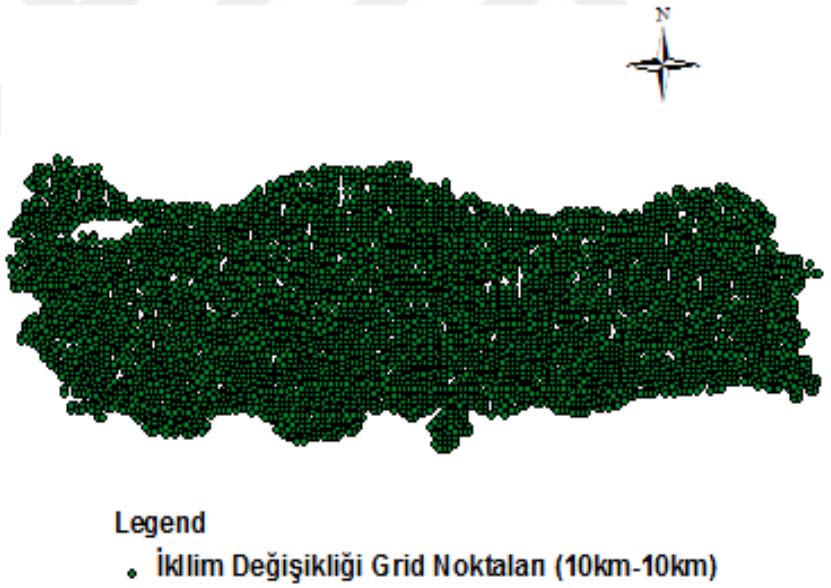
5.1.1 Ölçek Küçültme Yaklaşımları

Hava ve iklim olaylarının su kaynakları, tarım, sağlık vb. olaylar üzerindeki etkilerinde ortaya çıkan büyük artışlar son on yılda ölçek küçültmeye duyulan ihtiyacı arttırmıştır (NCAR/UCAR 2013). Küresel model çıktılarının lokal etki çalışmaları için kullanılması küçük atmosferik süreçlerin temsil edilememesi nedeniyle mümkün değildir. Çünkü küresel iklim/yer sistemleri modellerinde çözünürlüğün yüzlerce kilometreyi bulması bu model çıktılarında belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Bu sorun, bölgesel iklim senaryosunu daha hassas yapıda oluşturan iklim değerlendirmelerine imkan vermek üzere ölçek küçültülerek aşılabilir. Ölçek küçültme istatistik ya da dinamik olarak iki şekilde gerçekleştirilebilir. Belli bir bölge için bir bölgesel iklim modelinin yardımıyla (dinamik ölçek küçültme) ya da istatistiki bir model yoluyla (istatistiki ölçek küçültme) küresel modellerdeki geniş ölçekli bilgilerin istasyon verilerine ilişkilendirilmesi ile yapılabilir. Bu seçimde yüzey tipi ve irtifa önemli belirleyicilerdir. Ölçek küçültme tekniği çeşitli çalışmalarda tartışılmıştır (Yoon ve diğer. 2012, Soarez ve diğer. 2012, Flaounas ve diğer. 2012, Colette ve diğer. 2012, Bastola ve Misra 2013). Farklı konfigürasyonlarda ve farklı çözünürlükte kullanılan Weather Research Forecast (WRF) modeli ile yapılan dinamik ölçek küçültmede elde edilen sonuçlar ile kümülatif yoğunluk fonksiyonları ile gerçekleştirilen istatistik ölçek küçültmenin başarılarının test edildiği bu çalışmalarda dinamik model çözünürlüğü arttıkça yanlılığın azaldığı ve daha başarılı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Türkiye için yürütülen Küresel İklim Modellerinin 2100 yılında 4,5

W/m2 ve 8,5 W/m2 iklim zorlamalarına karşı gelen RCP4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon rotalarına dayanan simülasyonlarıyla kuple edilen RegCM4.3 bölgesel iklim modeli ile 2015-2100 yılları arasında 10x10 km çözünürlükteki iklim simülasyonları elde edilmiştir. Bu iklim değişikliği çalışmalarında dinamik ölçeklendirme yöntemi kullanılarak sonuçlar 10 km-10 km çözünürlükte 7351 adet gridlere ayrılmıştır.

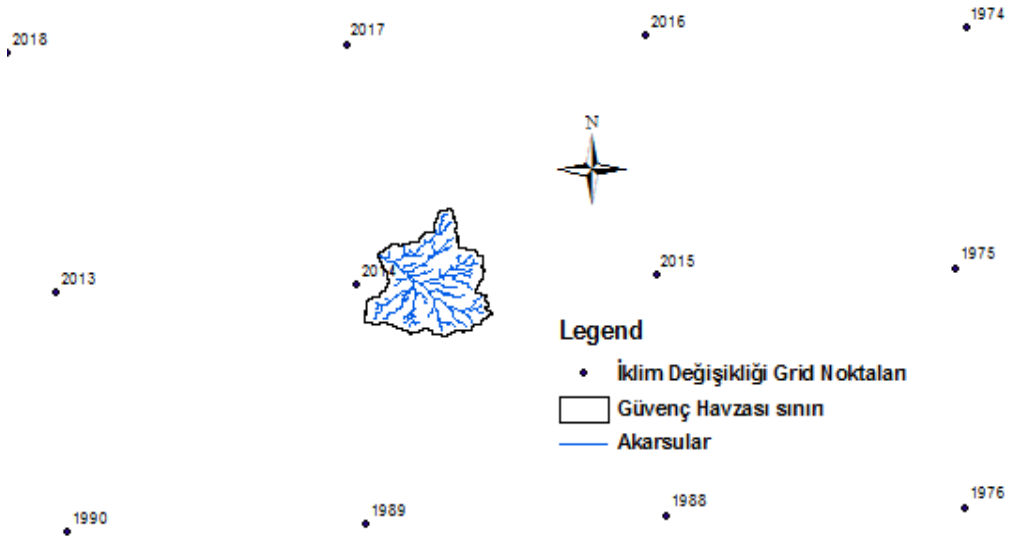
5.2 Güvenç Havzasının İklim Değişikliği Etkilerinin Belirlenmesi

Çalışmada öncelikli olarak Türkiye için belirlenen bölgesel iklim modeli (RegCM) grid noktaları CBS ortamında belirlenmiştir (Şekil 5.1). Daha sonra koordinatlı Güvenç Havza sınırı gridli harita ile çakıştırılmıştır (Şekil 5.2). Bu şekilde Güvenç Havzasının bağlı olduğu grid numarası belirlenirken thiessen poligonu uygulanmıştır (Şekil 5.3)



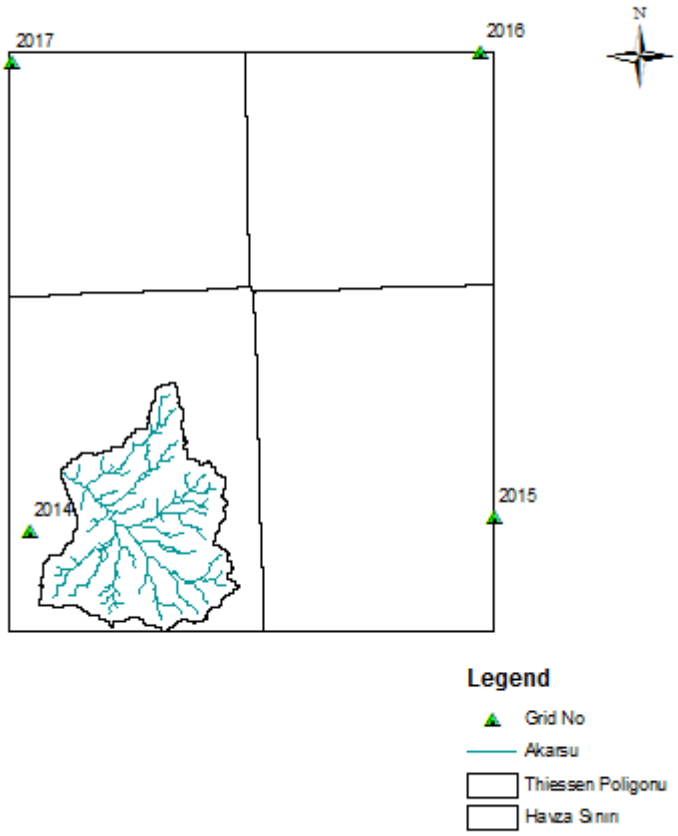
Belirlenen grid noktaları tüm Türkiye'de 7351 adet bulunmaktadır.

Şekil 5.1 Türkiye bölgesel iklim modeline (RegCM) göre belirlenmiş grid noktaları (10km-10km) (OSİB, 2016).



Şekil 5.2 Güvenç Havzası çevresinde bulunan grid noktaları (OSİB, 2016)

Grid noktaları ile havza sınırı çakıştırıldığında açıkça görülmektedirki havza aks noktasına çok yakın olan 2014 grid numarası temsil etmektedir. Havza yakınında bulunan diğer grid noktalarının da etki edebileceği ihtimaline karşılık havza yakın çevresinde bulunan; 2015, 2016, 2017 grid numaraları için thiessen poligonu uygulanmıştır (Şekil 5.3).

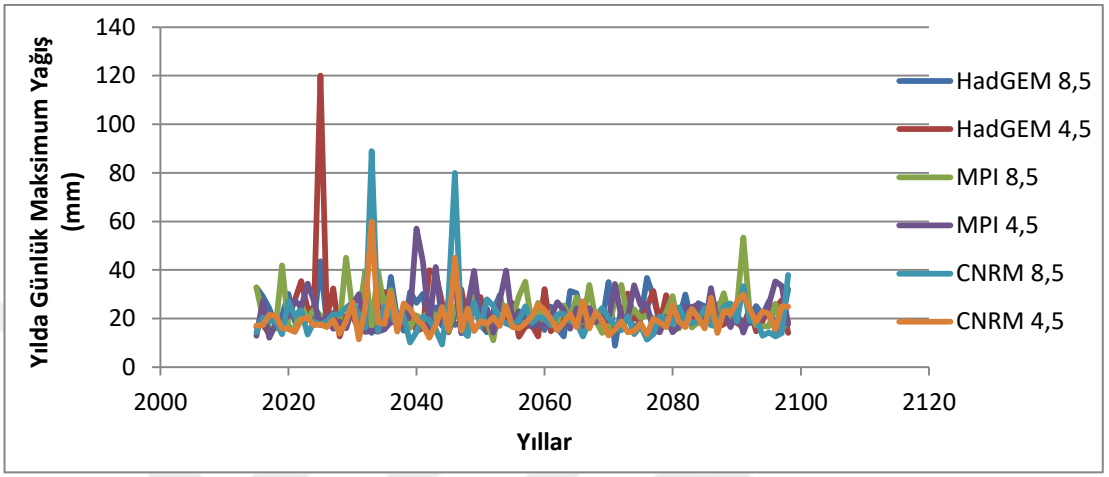


Şekil 5.3 Güvenç Havzası yakın çevrede bulunan gridlerin thiessen poligonu

Thiessen poligonu sonucu Şekil 5.3'de görüleceği üzere 2014 grid numarası havzayı maksimum yağışların frekans analizi çalışması için yeterli olmaktadır. İklim değişikliğine göre havzada yılda anlık günlük maksimum yağış değerleri kullanılırken 2014 no'lu gridin sonuçları dikkate alınmıştır.

Güvenç Havzası için belirlenen 2014 nolu grid numarası üç farklı küresel iklim modeli (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5.1) ve RegCM (Bölgesel İklim Modeli) 10 km-10 km gridlik sonuçlar değerlendirilerek kullanılmıştır. HEC-HMS modeline göre tekerrürlü pik taşkın debilerini bulmak için bölgesel iklim modeli veri setlerinde yılda günlük anlık maksimum yağışlar kullanılmıştır.

Bölgesel iklim modeli (RegCM) sonuçlarına göre 2014 no'lu gridin yılda günlük maksimum yağış değerleri iki senaryo grubu (RCP 4.5, RCP 8.5) ve üç küresel iklim modeli (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5.1) sonuçları Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 2014 No'lu 10 km-10 km çözünürlükte bölgesel iklim modeli (RegCM) yılda anlık maksimum yağış değerleri

Şekilde görüldüğü üzere HadGEM 4.5 Senaryo grubu'nun 2025 yılında görülen 120 mm'lik sapma değerinden başka bölgesel iklim modelinin diğer sonuçları birbirine yakın çıkmıştır.

5.2.1 Bölgesel İklim Modeli Sonuçlarına göre Standart Zamanlardaki Yağış Miktarlarının Hesaplanması

Bölgesel iklim modeli sonuçlarına göre iki farklı senaryo ve üç farklı küresel iklim modeli sonuçlarıyla toplamda altı farklı tekerrürlü pik taşkın debileri hesaplanmıştır. Bu çalışma için herbir very seti için uygun dağılım yöntemi (Gumbel, Log-Normal, LPT3 gibi) belirlenerek Güvenç Havzasının iklim değişikliği etkileri altında tekerrürlü pik taşkın debileri araştırılmıştır.

Bölgesel iklim modeli sonuçlarının uygun dağılm yöntemine göre günlük maksimum yağışların ekstrem dağılımı uygun dağılım modelleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 2014 No'lu Gridin bölgesel iklim modeli değerlerine göre günlük maksimum yağışların ekstrem dağılımı (mm)

Tekerrürlü Maksimum Yağışların Ekstrem Dağılımı		2 yıl	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl	500 yıl
HadGEM 8.5	LPT3	21,35	27,57	31,95	37,80	42,40	47,20	57,75
HadGEM 4.5	LN3	21,00	30,00	33,48	45,82	57,43	71,33	97,51
MPI 8.5	LN3	21,15	27,63	32,21	38,29	43,01	47,88	58,73
MPI 4.5	LPT3	20,93	27,72	32,73	39,69	45,34	51,41	64,34
CNRM 8.5	LN2	18,99	29,03	36,24	45,93	53,51	61,40	78,80
CNRM 4.5	Gumbel	17,97	24,38	30,13	39,42	48,07	58,38	77,92

Havzanın, bölgesel iklim modeli sonuçlarına göre standart zamanlara göre yağış miktarları tekerrür analizi için Tablo 4.1'de belirtilen PLV katsayıları kullanılmıştır (Tablo 5.2 - Tablo 5.7).

Tablo 5.2 HadGEM 8.5 modeline göre standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi (mm)

	Tekerrür	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	480	720	1080	1440
HadGEM 8.5	2	4,27	6,19	7,69	9,82	11,7	13,8	14,30	14,5	14,7	14,95	15,5	17,0	19,22	21,3
	5	5,51	7,99	9,92	12,6	15,1	17,9	18,47	18,7	19,0	19,30	20,1	22,0	24,81	27,5
	10	6,39	9,27	11,5	14,7	17,5	20,7	21,41	21,7	22,0	22,37	23,3	25,5	28,76	31,9
	25	7,56	10,9	13,6	17,3	20,7	24,5	25,33	25,7	26,0	26,46	27,5	30,2	34,02	37,8
	50	8,48	12,3	15,2	19,5	23,3	27,5	28,41	28,8	29,2	29,68	30,9	33,9	38,16	42,4
	100	9,44	13,6	16,9	21,7	25,9	30,6	31,63	32,1	32,5	33,04	34,4	37,7	42,48	47,2

Tablo 5.3 HadGEM 4.5 modeline göre standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi (mm)

HadGEM 4.5	Tekerrür	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	480	720	1080	1440
	2	4,20	6,09	7,56	9,66	11,55	13,65	14,07	14,28	14,49	14,70	15,33	16,80	18,90	21,00
	5	6,00	8,70	11	13,80	16,50	19,50	20,10	20,40	20,70	21,00	21,90	24,00	27,00	30,00
	10	6,70	9,71	12,05	15,40	18,41	21,76	22,43	22,77	23,10	23,44	24,44	26,79	30,13	33,48
	25	9,16	13,29	16,49	21,08	25,20	29,78	30,70	31,16	31,61	32,07	33,45	36,65	41,24	45,82
	50	11,49	16,65	20,67	26,42	31,58	37,33	38,48	39,05	39,62	40,20	41,92	45,94	51,68	57,43
	100	14,27	20,69	25,68	32,81	39,23	46,36	47,79	48,50	49,22	49,93	52,07	57,06	64,20	71,33

Tablo 5.4 MPI 8.5 modeline göre standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi (mm)

MPI 8.5	Tekerrür	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	480	720	1080	1440
	2	4,23	6,13	7,61	9,73	11,63	13,75	14,17	14,38	14,59	14,81	15,44	16,92	19,04	21,15
	5	5,53	8,01	9,95	12,71	15,19	17,96	18,51	18,79	19,06	19,34	20,17	22,10	24,86	27,63
	10	6,44	9,34	11,60	14,82	17,72	20,94	21,58	21,90	22,22	22,55	23,51	25,77	28,99	32,21
	25	7,66	11,11	13,79	17,62	21,06	24,89	25,66	26,04	26,42	26,81	27,95	30,64	34,46	38,29
	50	8,60	12,47	15,48	19,78	23,66	27,96	28,82	29,25	29,68	30,11	31,40	34,41	38,71	43,01
	100	9,58	13,89	17,24	22,03	26,34	31,13	32,08	32,56	33,04	33,52	34,96	38,31	43,10	47,88

Tablo 5.5 MPI 4.5 modeline göre standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi (mm)

MPI 4.5	Tekerrür	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	480	720	1080	1440
	2	4,19	6,07	7,54	9,63	11,51	13,61	14,03	14,24	14,44	14,65	15,28	16,75	18,84	20,93
	5	5,54	8,04	9,98	12,75	15,25	18,02	18,57	18,85	19,13	19,40	20,24	22,18	24,95	27,72
	10	6,55	9,49	11,78	15,06	18,00	21,27	21,93	22,26	22,58	22,91	23,89	26,18	29,46	32,73
	25	7,94	11,5	14,29	18,26	21,83	25,80	26,59	26,99	27,39	27,78	28,97	31,75	35,72	39,69
	50	9,07	13,1	16,32	20,86	24,94	29,47	30,38	30,83	31,28	31,74	33,10	36,27	40,81	45,34
	100	10,2	14,91	18,51	23,65	28,28	33,42	34,45	34,96	35,47	35,99	37,53	41,13	46,27	51,41

Tablo 5.6 CNRM 8.5 modeline göre standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi (mm)

CNRM 8.5	Tekerrür	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	480	720	1080	1440
	2	3,80	5,51	6,84	8,73	10,44	12,34	12,72	12,91	13,10	13,29	13,86	15,19	17,09	18,99
	5	5,81	8,42	10,45	13,35	15,97	18,87	19,45	19,74	20,03	20,32	21,19	23,22	26,13	29,03
	10	7,25	10,51	13,05	16,67	19,93	23,56	24,28	24,65	25,01	25,37	26,46	29,00	32,62	36,24
	25	9,19	13,32	16,54	21,13	25,26	29,85	30,77	31,23	31,69	32,15	33,53	36,74	41,34	45,93
	50	10,70	15,52	19,26	24,61	29,43	34,78	35,85	36,39	36,92	37,46	39,06	42,81	48,16	53,51
	100	12,28	17,80	22,10	28,24	33,77	39,91	41,14	41,75	42,36	42,98	44,82	49,12	55,26	61,40

Tablo 5.7 CNRM 4.5 modeline göre standart zamanlardaki yağış miktarları tekerrür analizi (mm)

CNRM 4.5	Tekerrür	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	480	720	1080	1440
	2	3,59	5,21	6,47	8,27	9,89	11,68	12,04	12,22	12,40	12,58	13,12	14,38	16,18	17,97
	5	4,88	7,07	8,78	11,21	13,41	15,84	16,33	16,58	16,82	17,06	17,79	19,50	21,94	24,38
	10	6,03	8,74	10,85	13,86	16,57	19,58	20,19	20,49	20,79	21,09	22,00	24,10	27,12	30,13
	25	7,88	11,43	14,19	18,13	21,68	25,62	26,41	26,81	27,20	27,60	28,78	31,54	35,48	39,42
	50	9,61	13,94	17,31	22,11	26,44	31,25	32,21	32,69	33,17	33,65	35,09	38,46	43,26	48,07
	100	11,68	16,93	21,02	26,85	32,11	37,95	39,11	39,70	40,28	40,87	42,62	46,70	52,54	58,38

Küresel iklim modelleri, RCP 8.5 ve RCP 4.5 senaryo gruplarıyla 10 km-10 km çözünürlükte RegCM, Bölgesel İklim Modeli, ile değerlendirildiğinde HEC-HMS modeli frequency storm uzantısı için gerekli standart süreli yağış miktarları tekerrür analizi iklim değişikliği sonuçlarına göre oluşturulmuştur.

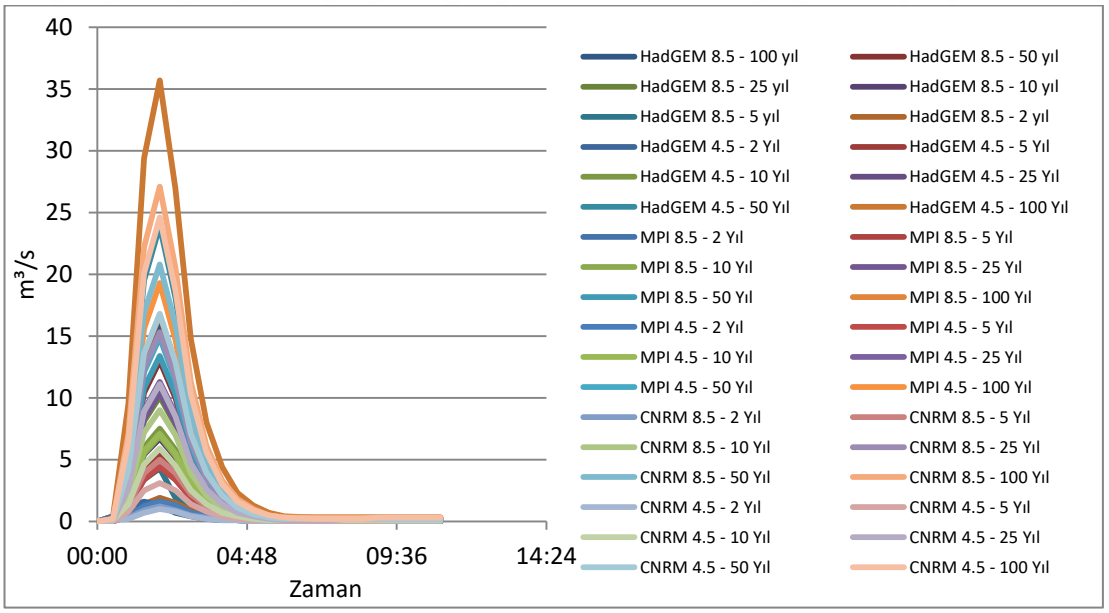
5.2.2 Bölgesel İklim Modeli Sonuçlarına göre Güvenç Havzası Farklı Tekerrüre Sahip Pik Taşkın Debilerinin Hesaplanması

Çalışmanın bu aşamasında, HEC-HMS modeli ve DSİ Sentetik yöntemleri kullanılarak iklim değişikliği etkileri altında standart zamanlardaki yağış değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.. İki farklı senaryo grubu altında üç farklı küresel iklim modeli çalışılarak altı farklı bölgesel iklim modeli sonuçları değerlendirilmiş olup buna bağlı iklim değişikliği etkileri altında altı farklı hidrograf

oluşturulmuştur. Çalışmada 2 saatlik sağanak süresi en büyük akış değerlerini oluşturduğundan iklim değişikliği etkileri altında da 2 saatlik sağanak süreli standart zamanlardaki yağış miktarları kullanılmıştır. Güvenç Havzası iklim değişikliği etkileri altında HEC-HMS modeli pik taşkın debileri Tablo 5.8 ve Şekil 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.8 Güvenç Havzası iklim değişikliği etkileri altında HEC-HMS modeli pik taşkın debileri (m^3/s)

	Tekerrür Yılları Pik Debiler					
İklim Modelleri	2 yıl	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl
HadGEM 8.5	1,90	4,30	6,70	10,10	13,00	16,20
HadGEM 4.5	1,30	5,40	7,50	15,30	23,90	35,70
MPI 8.5	1,60	4,40	6,90	10,40	13,40	16,70
MPI 4.5	1,60	4,40	7,10	11,30	14,90	19,30
CNRM 8.5	1,20	5,00	9,00	15,30	20,80	27,10
CNRM 4.5	1,00	3,10	5,90	11,10	16,80	24,60

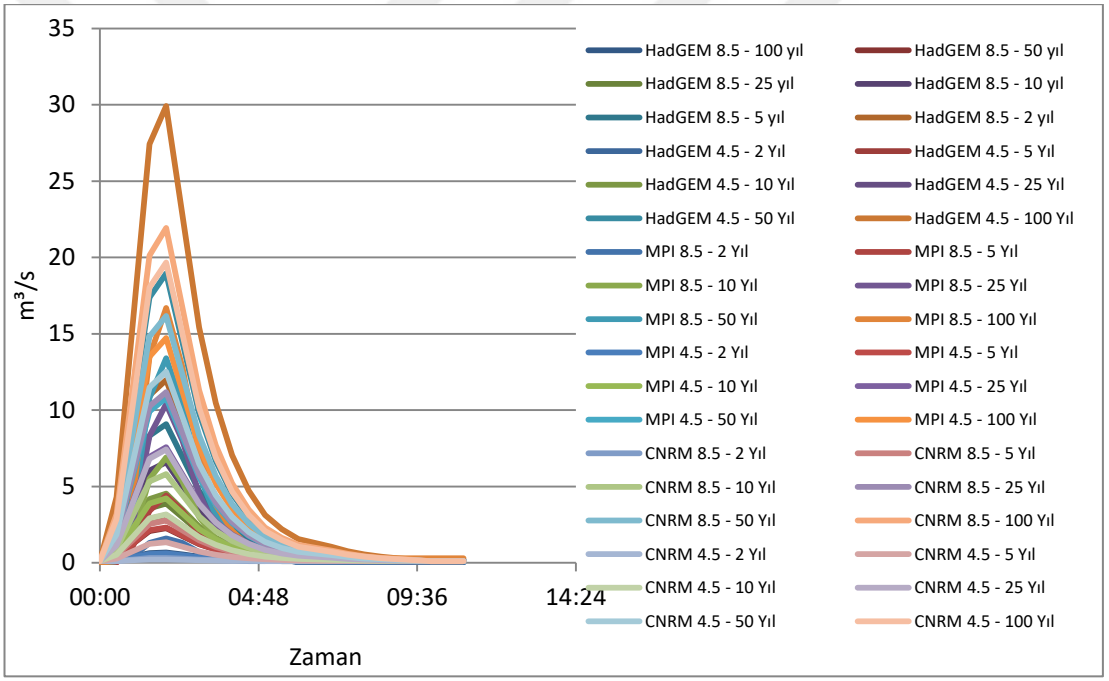


Şekil 5.5 Güvenç Havzası iklim değişikliği etkileri altında HEC-HMS modeli pik taşkın debileri

İklim değişikliğinin etkilerinin DSİ Sentetik yöntemine göre yapılan çalışmada pik taşkın debileri Tablo 5.9 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.9 Güvenç Havzası iklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik yöntemi pik taşkın debileri (m^3/s)

	Tekerrür Yılları Pik Debiler					
İklim Modelleri	2 yıl	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl
HadGEM 8.5	0,82	2,27	3,89	6,59	9,07	11,96
HadGEM 4.5	0,79	3,12	4,54	11,10	18,96	29,91
MPI 8.5	0,80	2,29	4,0	6,84	9,42	12,40
MPI 4.5	0,78	2,32	4,21	7,57	10,81	14,72
CNRM 8.5	0,59	2,77	5,81	11,17	16,16	21,94
CNRM 4.5	0,50	1,34	3,17	7,43	12,52	19,67



Şekil 5.6 Güvenç Havzası iklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik yöntemi pik taşkın debileri

500 ve 1000 yılda bir oluşabilecek olası en büyük taşkın miktarı aşağıda gösterilen formüllerle hesaplanmıştır.

$$Q500 = Q10 + 1{,}692 \times (Q100 - Q10)$$

$$Q1000 = Q10 + 1{,}99 \times (Q100 - Q10)$$

Güvenç Havzası iklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik ve HEC-HMS Modeli, 500 ve 1000 yıl tekerrürlü pik taşkın debileri Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10 Güvenç Havzası iklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik ve HEC-HMS modeli 500 ve 1000 yıllık pik taşkın debileri (m³/s)

	Tekerrür Yılları Pik Debiler			
İklim Modelleri	500 Yıl (HEC-HMS)	500 Yıl (DSİ Sentetik)	1000 Yıl (HEC-HMS)	1000 Yıl (DSİ Sentetik)
HadGEM 8.5	22,77	17,54	25,61	19,95
HadGEM 4.5	**55,21**	**47,47**	**63,62**	**55,03**
MPI 8.5	23,48	18,21	26,40	20,72
MPI 4.5	27,74	21,99	31,38	25,12
CNRM 8.5	39,63	33,10	45,02	37,91
CNRM 4.5	37,54	31,09	43,11	36,01

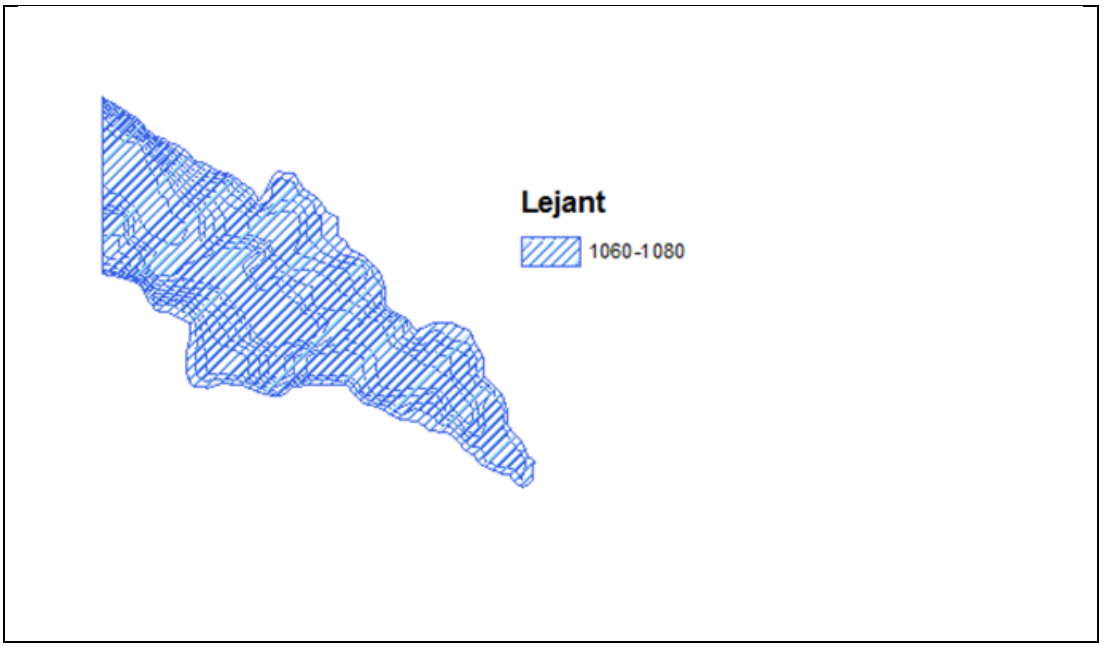
İklim değişikliği etkileri incelendiğinde, pik taşkın debilerinde genel olarak azalma söz konusuyken sadece HadGEM 4.5 iklim modelinin 100 yılda bir oluşabilecek taşkın debisi yüksek çıkmıştır. HEC-HMS modeli ile tarihsel veriler kullanılarak hesaplanan 1000 yıllık pik taşkın debisi 44,73 m³/s iken HadGEM 4.5 iklim modeli kullanılarak hesaplanan 1000 yıllık pik taşkın debisi 63,62 m³/s olarak bulunmuştur.

BÖLÜM ALTI
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİNİN GÜVENÇ GÖLETİ YAPI TASARIMINA OLAN ETKİSİ

Güvenç Havzası'nın farklı tekerrüre sahip pik taşkın debileri, tarihsel gözlemler ve iklim değişikliği etkileri altında HEC-HMS ve DSİ Sentetik yöntemlerine göre hesaplanmış olup yarım saatlik aralıklarla taşkın hidrografları da elde edilmiştir. İklim değişikliğnin su yapılarının tasarımına etkisi olarak taşkın öteleme hesaplaması yapılarak gölete giren ve öteleme sonucu çıkan debiler, kot-alan-hacim değerleri hesaplanarak dolusavak üzerindeki su yükü (H0) değeri, HEC_HMS, DSİ Sentetik yöntemlerinin tarihsel verileri ile bu yöntemlerin iklim değişikliği etkileri altındaki (H0) sonuçları karşılaştırılmıştır.

6.1 Güvenç Göleti Kot-Alan-Hacim

Güvenç Göletinin kot-alan-hacim diyagramını çizmek için 25.000'lik sayısal yükseklik haritası (DEM) kullanılmıştır. Havzanın minimum su kotu (1054 m) ile Normal Su Seviyesi (1074,52 m) kotları hesaba katılarak 1060 ile 1080 kotları arasında ikişer metre aralıklarla öncelikli olarak kot-alan eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 6.1)



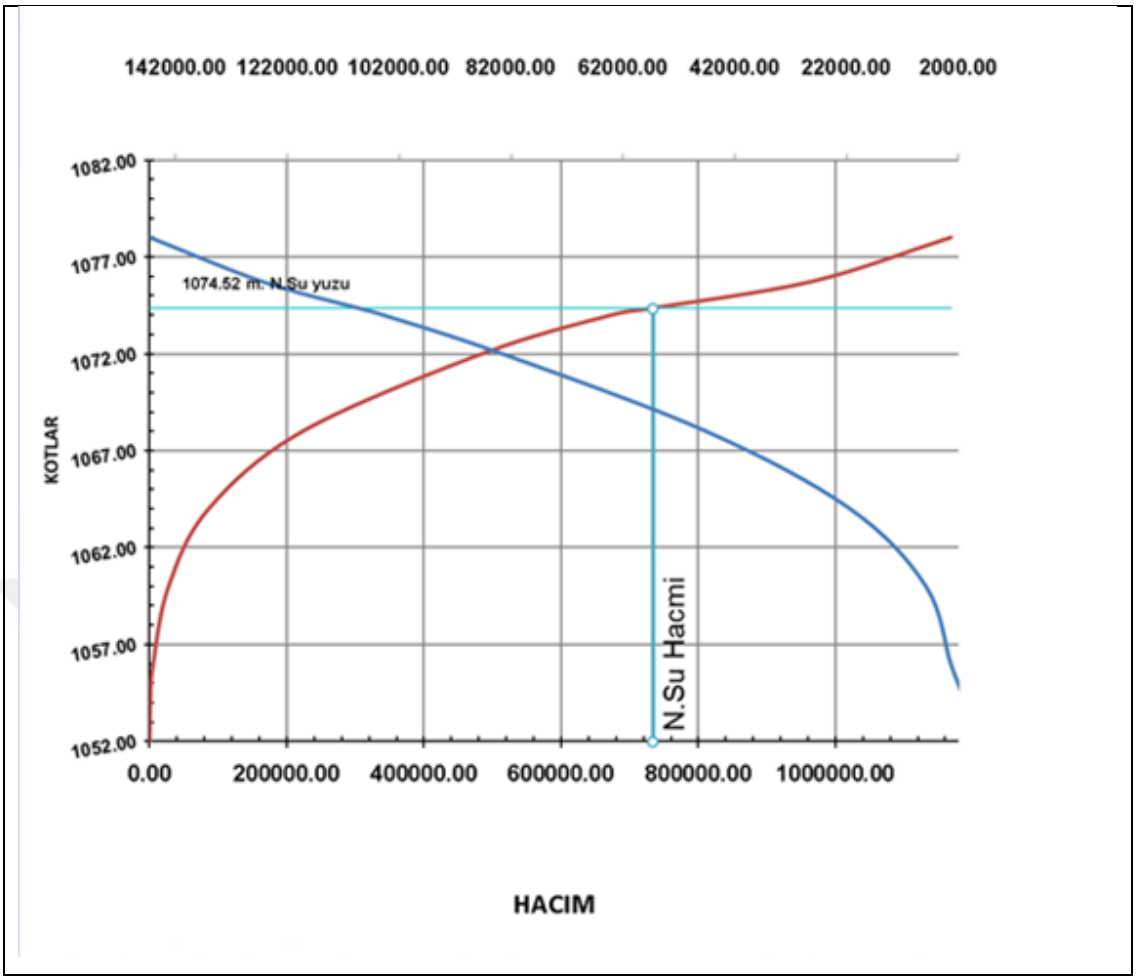
Şekil 6.1 Güvenç Havzası 1060-1080 kotları arası 2 (m) aralıklı eş yükselti eğrileri

Şekildeki belirtilen eş yükselti eğrilerinin alan ve hacim hesaplamaları Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Güvenç Havzası kot-alan-hacim değerleri

KOT (m)	ALAN (m^2)	HACİM (m^3)
1060	10532	14123
1062	19740	30272
1064	36478	86490
1066	39124	162092
1068	47207	248423
1070	58109	353739
1072	83728	495576
1074	105103	684407
1076	121435	910945
1078	140874	1173254
1080	157780	1471908

Gölette normal su seviyesi 1074.52 m olup, bu kota karşılık gelen hacim değeri ise 733.503 m³'dür. Kot-alan-hacim diyagramı Şekil 6.2'de verilmiştir. Normal su seviyesi kotu ile dolusavak üzerindeki su yükü (H0) toplanarak maksimum su seviyesi elde edilir. Bu değerin 1080 kotunu aşamayacağı düşünüldüğü için kot-alan-hacim hesaplaması 1080 kotuna kadar yapılmıştır.



Şekil 6.2 Güvenç Göleti kot-alan-hacim eğrileri

6.2 Güvenç Göleti Taşkın Öteleme Hesaplamaları

Güvenç Göleti'nin taşkın öteleme hesaplamaları yapılırken öncelikli olarak geçmiş yılların hidrolojik verilerinden DSİ Sentetik ve HEC-HMS yöntemlerine göre hesaplanan gölete giren Q1000 değerlerinin ne kadarının ötelendiği hesaplanmıştır. Bu öteleme sonucunda dolusavak üzerindeki su yükü (H_0) değerleri karşılaştırılmıştır. İkinci kısımda ise iklim değişikliği etkileri altında gölete giren

Q1000 değerlerinin ne kadarının ötelendiği ve bu öteleme sonucundaki (H_0) değerlerindeki sonuçlar ve birbirleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

6.2.1 HEC-HMS Modeli ve DSİ Sentetik Yöntemi Sonuçları için Taşkın Öteleme Hesaplamaları

Taşkın öteleme hesaplamalarında, normal su seviyesi kotunda hesaplamalara başlanılarak Q1000 dolusavak giriş debileri eklenerek Δt süresi sonunda dolusavak çıkış debileri hesaplanmıştır. DSİ dolusavak tasarımı ve taşkın öteleme hesaplama programına göre göletler için eşik yüksekliği (P) değeri genellikle (0,9-1) m olarak alınmaktadır. Güvenç Göleti çalışması için P değeri 0,9 m olarak, optimum dolusavak genişliği (L) ise, giriş debileri gözöüne alarak gerek tarihsel gerekse de iklim değişikliği etkileri altında 7 m olarak alınmıştır. Bu değerler, tarihsel ve iklim değişikliği etkileri altında incelenerek tasarım yükü (H_0) değerleri karşılaştırılmıştır.

HEC-HMS modelinin Q_{1000} değerlerine göre taşkın öteleme hesaplaması yapıldığında Δt süresi sonundaki rezervuar su seviyesi kotu ile çıkış debileri hesaplanarak oluşan rezervuar su kotu değerleri birbirine eşit olana kadar maksimum su seviyesi kotu ve hacmi değiştirilir. Giriş ve çıkış debileri sonucunda rezervuar su seviyesi kotları eşit oluncaya kadar enterpolasyon yapılarak taşkın ötele sonucundaki maksimum su seviyesi kotu ile normal su seviyesi kotu arasındaki fark incelenerek, tasarım yükü (h_0) değerleri incelenmiştir.

HEC-HMS modelinin tarihsel verileri sonucu taşkın öteleme değerleri;
Maksimum Su Seviyesi (MSS) kotu: 1075,84 m
Normal Su Seviyesi (NSS) kotu: 1074,52 m
Maksimum Su Seviyesi Göl Hacmi: 876,118.00 m^3
Normal Su Seviyesi Göl Hacmi: 723,231.00 m^3
P = 0,90

$$C0 = (-0.061690849275692 * \left(\frac{P}{H0}\right)6 + 0.641752263429225 * \left(\frac{P}{H0}\right)5 - 2.63164981623413 * (P/H0)4 + 5.40995906759053 * (P/H0)3 - 5.88353369949618 * (P/H0)2 + 3.30796954619291 * (P/H0) + 3.09505053193288) * 0.552)^4$$

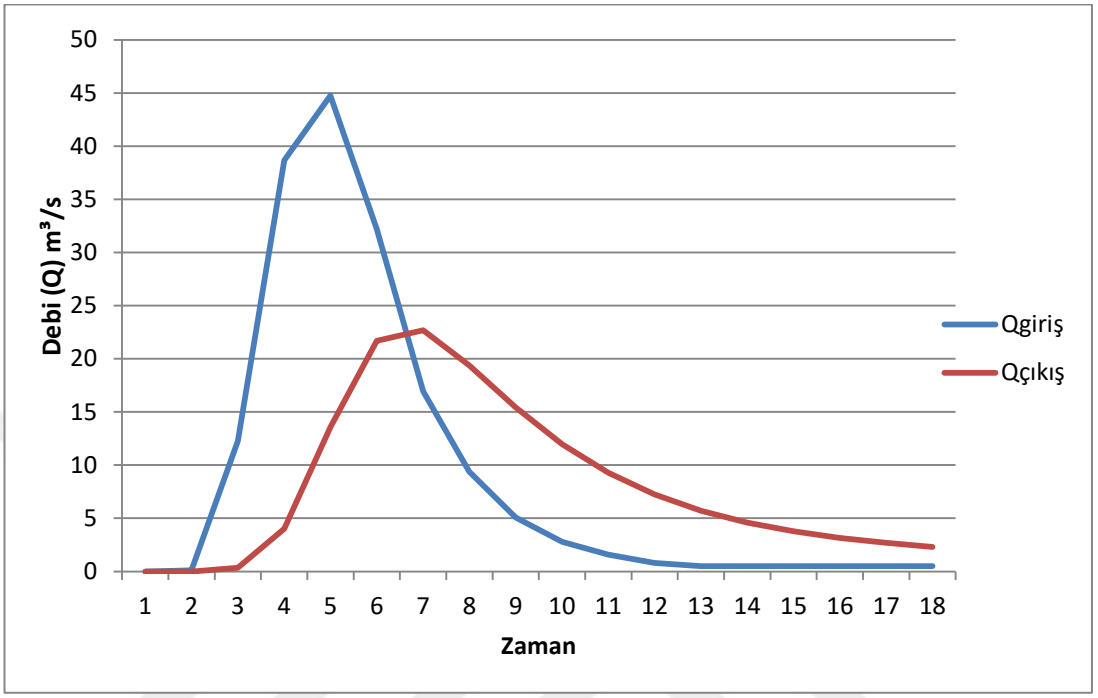
C0 Katsayısı: 2,125 (6.1)

H_0: 1,32 m

Tablo 6.2 HEC_HMS Modeli taşkın giriş ve çıkış Debileri

T (süre) sa.	Q (Giriş) m³/s	Q (Çıkış) m³/s
0	0	0
0,5	0,1	0
1	12,26	0,35
1,5	38,66	4,01
2	44,74	13,56
2,5	32,19	21,68
3	16,94	22,68
3,5	9,37	19,38
4	5,08	15,42
4,5	2,79	11,96
5	1,59	9,28
5,5	0,8	7,25
6	0,5	5,71
6,5	0,5	4,58
7	0,5	3,77
7,5	0,5	3,16
8	0,5	2,69
8,5	0,5	2,32

HEC-HMS Modeli, Taşkın giriş ve çıkış debileri Tablo 6.2, hidrografları ise Şekil 6.3'de verilmiştir.



Şekil 6.3 HEC-HMS modeli taşkın giriş ve çıkış debileri

DSİ Sentetik yöntemine göre yapılan hesaplamarda Q1000 giriş hidrograf değerleri kullanılarak HEC-HMS modelinde olduğu gibi eşik yüksekliği 0,9 m, dolusavak genişliği (L), 7 m, Normal su seviyesi (NSS) kotu 1074,52 m'dir. Rezervuar su kotuna gelen Q1000 hidrograf değerleri ile Q1000 (Çıkış) hidrograf değerlerindeki rezervuar su seviyeleri eşitlene kadar maksimum su seviyesi kotu ve maksimum su seviyesi hacmi değiştirilir.

DSİ Sentetik yöntemindeki hidrograf değerlerine göre taşkın öteleme hesaplamaları;

Maksimum Su Seviyesi (MSS) kotu: 1075,680

Normal Su Seviyesi (NSS) kotu: 1074,52

Maksimum Su Seviyesi Göl Hacmi: 863,735.00

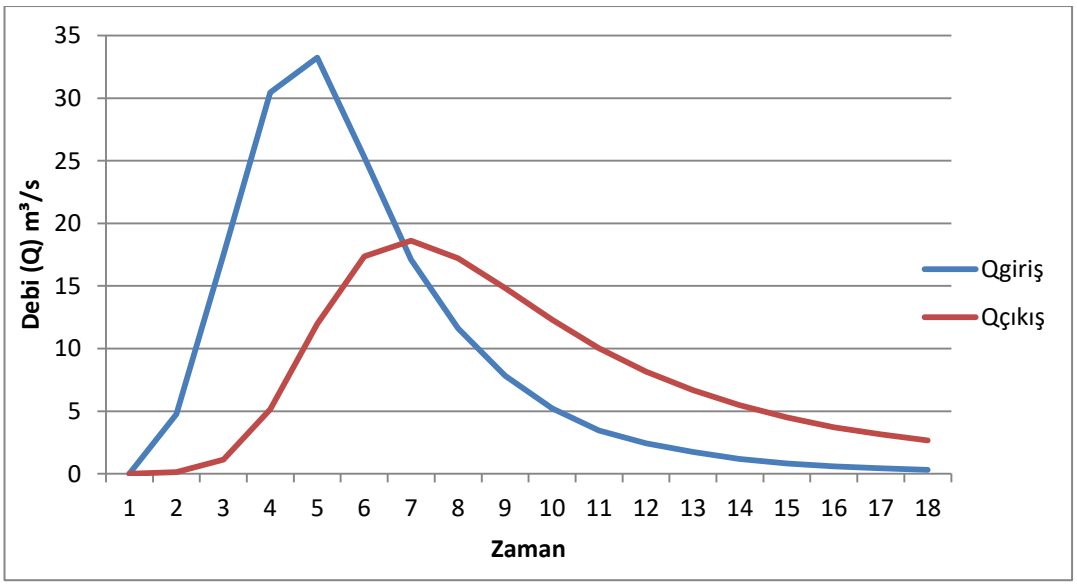
Normal Su Seviyesi Göl Hacmi: 723,231.00

C0 Katsayısı: 2,129

H_0: 1,160 m

Tablo 6.3 DSİ Sentetik yöntemi taşkın giriş ve çıkış debileri

T (süre) sa.	Q (Giriş) m³/s	Q (Çıkış) m³/s
0	0	0
0,5	4,77	0,14
1	17,48	1,13
1,5	30,46	5,14
2	33,23	11,96
2,5	25,29	17,36
3	17,11	18,62
3,5	11,62	17,20
4	7,83	14,82
4,5	5,23	12,29
5	3,46	10,03
5,5	2,44	8,15
6	1,73	6,67
6,5	1,17	5,47
7	0,83	4,5
7,5	0,60	3,7
8	0,44	3,14
8,5	0,32	2,66



Şekil 6.4 DSİ Sentetik taşkın giriş ve çıkış debileri

6.2.2 İklim Değişikliği Etkileri Altında HEC-HMS Modeli ve DSİ Sentetik Yöntemi Sonuçları için Taşkın Öteleme Hesaplamaları

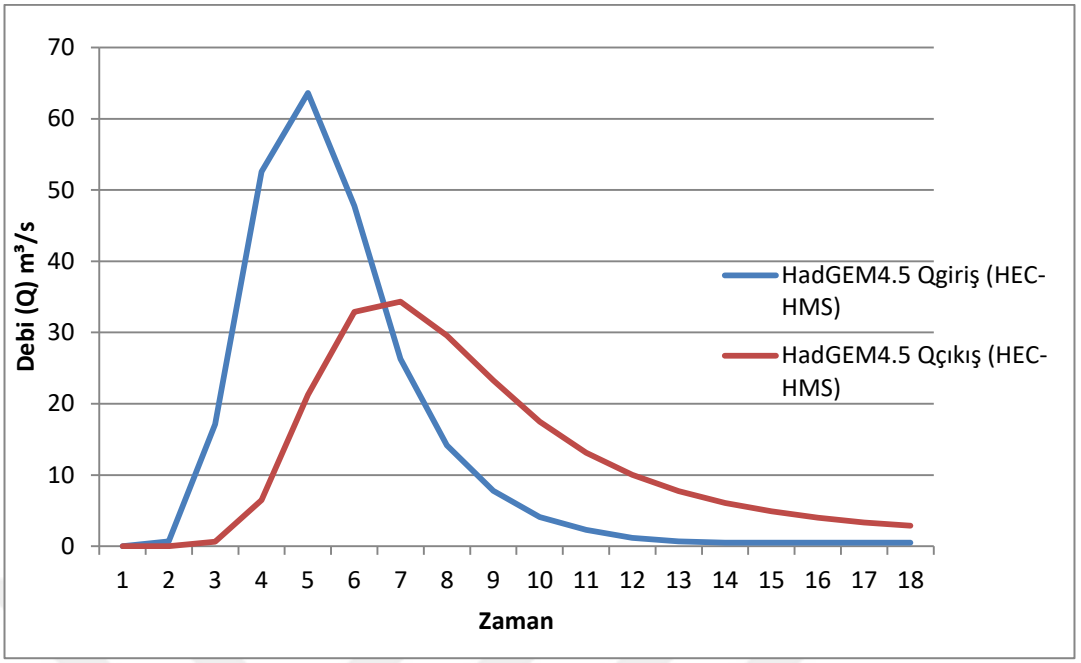
İklim değişikliği etkileri altında dolusavak tasarım yükü (h_0) hesaplanması amacıyla, İklim Değişikliği Senaryolarından RCP (8.5-4.5) ile HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5.1 küresel modelin sonuçları kullanılarak Q1000 giriş hidrografları kullanılarak taşkın öteleme çalışması yapılmıştıtr.

İklim değişikliği etkileri altında HEC-HMS modeli Q1000 hidrograf değerlerine göre taşkın ötelenme hesaplamaları sonuçları Tablo 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.4 İklim değişikliği etkileri altında HEC-HMS modeli taşkın öteleme hesaplamaları

Küresel İklim Modeli	MSS Kot (m)	NSS Kotu (m)	MSS Hacim (m^3)	NSS Hacim (m^3)	C0 Katsayısı	Tasarım yükü (h0) (m)
HadGEM 8.5	1,075,360	1074,52	827,08	733,503	2,142	**0,84**
HadGEM 4.5	1,076,278	1074,52	937,904	733,503	21,009	**1,758**
MPI 8.5	1,075,386	1074,52	830,295	733,503	2,141	**0,866**
MPI 4.5	1,075,517	1074,52	845,336	733,503	2,135	**0,997**
CNRM 8.5	1,075,868	1074,52	885,516	733,503	2,121	**1,348**
CNRM 4.5	1,075,825	1074,52	880,448	733,503	2,123	**1,305**

İklim değişikliği etkileri altında HEC-HMS model çıktılarının değerlendirilmesinde en riskli tasarımın HadGEM 4.5 küresel model sonuçlarına göre oluşmaktadır. HadGEM 4.5 küresel iklim modeline göre maksimum su seviyesi kotu 1076,278 m, maksimum su seviyesi hacmi 937,904 m^3 ve dolusavak tasarım yükü (h_0), 1,758 m olarak belirlenmiştir. Küresel iklim modeli sonuçlarına göre en yüksek tasarım yükü değerini oluşturan HadGEM 4.5 modeli sonuçlarının taşkın giriş ve çıkış debileri Şekil 6.5'de verilmiştir. HEC-HMS modeli çıktılarına göre diğer küresel iklim modeli sonuçları ekte verilmiştir.



Şekil 6.5 İklim değişikliği etkileri altında Hec-Hms modeli taşkın giriş ve çıkış Debileri

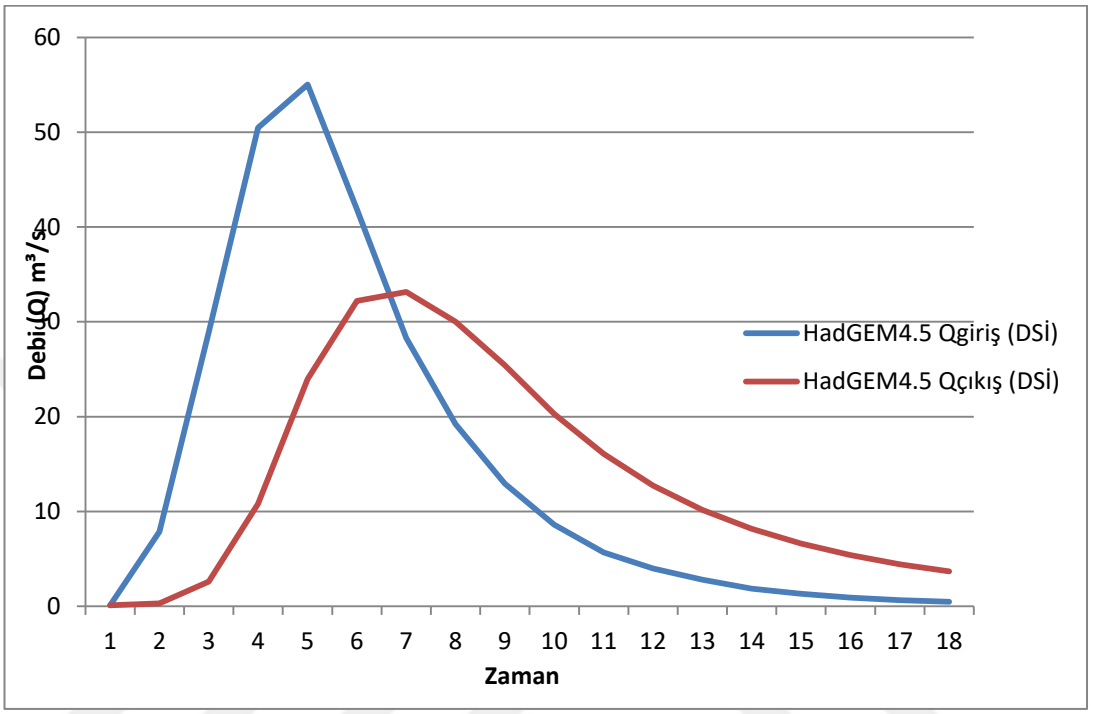
İklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik Yöntemi Q1000 hidrograf değerlerine göre taşkın öteleme hesaplamaları sonuçları Tablo 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.5 İklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik yöntemi taşkın öteleme hesaplamaları sonuçları

Küresel İklim Modeli	MSS Kot (m)	NSS Kotu (m)	MSS Hacim (m^3)	NSS Hacim (m^3)	C0 Katsayısı	Tasarım yükü (h0) (m)
HadGEM 8.5	1,075,281	1074,52	818,55	733,503	2,146	**0,77**
HadGEM 4.5	1,076,233	1074,52	910,603	733,503	2,103	**1,718**
MPI 8.5	1,075,386	1074,52	830,295	733,503	2,141	**0,866**
MPI 4.5	1,075,442	1074,52	840,316	733,503	2,138	**0,930**
CNRM 8.5	1,075,810	1074,52	875,365	733,503	2,124	**1,293**
CNRM 4.5	1,075,757	1074,52	860,456	733,503	2,126	**1,244**

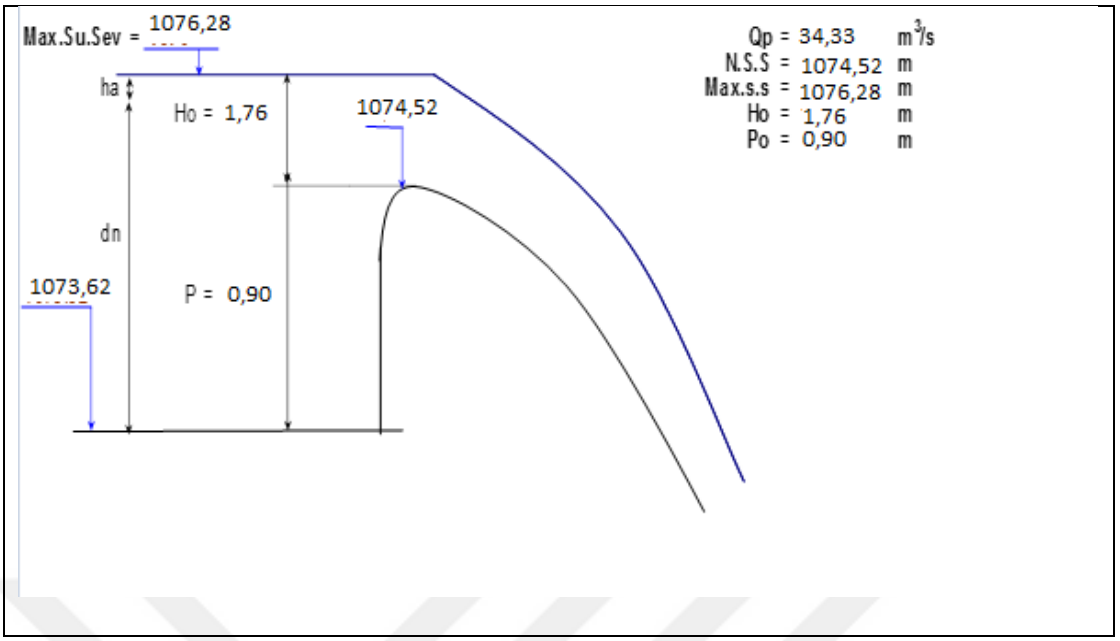
İklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik Yönteminin çıktılarının değerlendirilmesinde en riskli tasarımın HadGEM 4.5 küresel model sonuçlarına göre oluşmaktadır. HadGEM 4.5 küresel iklim modeline göre Maksimum su seviyesi kotu 1076,233 m, Maksimum su seviyesi hacmi 910,603 m^3 ve dolusavak tasarım yükü (h_0), 1,718 m olarak belirlenmiştir. İklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik yöntemi kullanılarak en kritik küresel iklim modeli HadGEM 4.5 olarak

belirlenmiştir. HadGEM 4.5 modeli sonuçlarının taşkın giriş ve çıkış debileri Şekil 6.6'da verilmiştir. Dsi Sentetik yöntemi çıktılarına göre diğer küresel iklim modeli sonuçları ekte verilmiştir.



Şekil 6.6 İklim değişikliği etkileri altında DSİ Sentetik yöntemi taşkın giriş ve çıkış debileri

İklim değişikliği etkileri altında tasarım yükü değerleri incelendiğinde genel olarak azalma görülse de HadGEM 4.5 küresel iklim modeli sonucuna göre etkili artış görülmektedir. Oluşturulacak risk tabanlı tasarım hesaplamalarında en kötü senaryo gözönünde bulundurulmalıdır. Optimum olarak eşik yüksekliği 0,9 m ve dolusavak genişliği 7 m olarak kabul edilen Güvenç Göleti için en riskli tasarım yükü (h_0) değeri HEC-HMS modeli çıktılarına göre iklim değişikliği etkileri altında 1,758 m olarak elde edilmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 Güvenç Göleti risk tabanlı alt yapı profili

BÖLÜM YEDİ
SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel iklim değişikliği ile birlikte ülkemizde ve dünyada bulunan su kaynakları, tarım, sanayi, sağlık başta olmak üzere birçok sektörde iklim değişikliği etkileri gün geçtikçe artmaktadır. Yapılan araştırmalar genellikle iklim değişikliğinin su potansiyeline etkisi üzerinde olup bu bağlamda sektörel etkilenebilirlik analizi şeklindedir. İklim değişimi, sadece sıcaklıklardaki artış ve yağışlardaki azalmanın yanısıra atmosferdeki kararlı yapının kararsız hale gelmesiyle birlikte bazı bölgelerde ani sel, taşkın gibi kısa süreli şiddetli yağışların oluşmasına da etki etmektedir. Son yıllarda iklim değişiminin taşkınlar üzerindeki etkileri konusundaki araştırmalar artmakta olup su yapılarının tasarım boyutlarındaki değişimler de göz önünde bulundurulmaktadır

Sunulan çalışmada, Güvenç Havzası'nda bulunan Güvenç Göleti'nin iklim değişikliği etkileri altında risk tabanlı tasarım araştırması yürütülmüştür. Çalışmada, havzanın karakteristik özellikleri, HEC-HMS model sonuçları, kalibrasyon ve doğrulama çalışmaları ile akış eğri numarası hesaplamaları yapılarak öncelikli olarak hem HEC-HMS modeli için hem de DSİ Sentetik yöntemi için tarihsel veriler analiz edilerek tekerrürlü pik taşkın debileri hesaplanmıştır. İklim değişikliği etkilerinin araştırılması amacıyla, Hükümetlerarası İklim Değişiliği Paneli 5.Değerlendirme toplantısı'nın güncel radyatif zorlamaya dayalı (RCP), iklim değişikliği senaryoları kullanılmıştır. 10 kmX10 km çözünürlükteki 3 farklı küresel iklim modelinin sonuçları kullanılmış olup hidrolojik model ile geleceğe yönelik tekerrürlü pik taşkın debileri simüle edilmiştir. Güvenç Göleti'nin tasarım yükündeki olası değişiklikleri araştırmak için hem tarihsel veriler ile elde edilen pik taşkın debileri, hem de iklim değişikliği etkileri altında elde edilen pik taşkın debileri kullanılarak taşkın öteleme çalışması yürütülmüştür. Optimum dolusavak genişliği 7 m olarak kabul edilen Güvenç Göleti'nin bütün koşullar altında Q1000 sonuçları değerlendirilerek tasarım yükü değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak iklim değişikliği etkileri altında, HadGEM 4.5 küresel iklim modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar en riskli durum olarak tespit edilmiş olup tasarım yükü 1,76 m olarak bulunmuştur.

Ülkemizde güncel olarak yürütülmekte iklim değişikliğinin su potansiyeli üzerindeki etkileri ile kurak dönemlerde alınması gereken önlem çalışmalarının yanısıra, olası anlık maksimum yağışlardaki artışlarla birlikte su yapılarının tasarım boyutlarındaki değişim de incelenerek risk analizinin yapılması, bu türden çalışmaların güvenilirliğini arttıracaktır.

KAYNAKLAR

Bastola, S. ve Mistra, V. (2013). Evaluation of dynamically downscaled reanalysis precipitation data for hydrological application. *Hydrological Processes*, (28), 1989-2002.

Bozkurt, D. ve Lütfi, Ş. (2013). Değişik model ve senaryolara göre iklim değişikliğinin Fırat-Dicle Havzasına olan etkileri. III. *Türkiye İklim Değişikliği Kongresi*.

Chen, Y., Li, W., Xu, C. ve Hao, X. (2002) .Effects of climate change on water resources in Tarim River Basin, Northwest China. *Journal of Environmental Science*, (19) 488-493.

Colette, A., Robert, V. ve Vrac, M. (2012). Regional climate downscaling with prior statistical correction of the global climate forcing. *Geophysical Research Letters*, (39), 13

Cronshey, R. G., Roberts, R. T. ve Miller, N. (1985). Urban hydrology for small watersheds (TR-55 Rev.*). In Hydraulics and Hydrology in the Small Computer Age*, 1268-1273. ASCE.

Flaounas, E., Drobinski, P., Vrac, M., Bastin, S., Lebeaupin-Brossier, C., ve diğer. (2013). Precipitation and temperature space–time variability and extremes in the Mediterranean region: evaluation of dynamical and statistical downscaling methods. *Climate Dynamics*, 40(11-12), 2687-2705.

Gilroy, Kristin, L. ve Richard, H. (2012). A nonstationary flood frequency analysis method to adjust for future climate change and urbanization. *Journal of Hydrology*, (414) 40-48.

Gül, G. O., Aşıkoğlu, Ö. L., Gül, A., Gülçem Yaşoğlu, F. ve Benzeden, E. (2013). Nonstationarity in flood time series. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(7), 1349-1360.

Kuklicke, C. ve Demeritt, D. (2016). Adaptive and risk-based approaches to climate change and the management of uncertainty and institutional risk: The case of future flooding in England. *Global Environmental Change*, (37) 56-68

Lawrence, R., Reisinger, A., Mullan, B. ve Jackson, B. (2013). Exploring climate change uncertainties to support adaptive management of changing flood-risk. New *Zealand Environmental Science & Policy*, (33) 133-142.

Lorenzo, A., Luc F., Francesco, D. ve Alessandra, B. (2015). Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios. *Global Environmental Change*, (35), 199-212.

Lu, Y., Quin X.S. ve Xie, Y.J. (2016). An integrated statistical and data-driven framework for supporting flood risk analysis under climate change. *Journal of Hydrology*, (533), 28-39.

Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K. (2010). Riah the next generation of scenarios for climate change research and zssessment. *Nature*, 463(7282), 747-756.

Muis, S., Güneralp, B., Jongman, B., Aerts, J. ve J.Ward, P. (2015). Flood risk and adaptation strategies under climate change and urban expansion: A probabilistic analysis using global data. *Science of the Total Environment*, (538), 445-457

Orman ve Su İşleri Bakanlığı, (2016). İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi projesi. 19 Temmuz 2016, iklim.ormansu.gov.tr

Özkul, S., Fıstıkoğlu, O. ve Harmancıoğlu, N. (2008). İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisinin Büyük Menderes ve Gediz Havzaları örneğinde değerlendirilmesi. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi.*

Soarez, P.M.M., Cardos, R.M., Miranda, P.M.A., Medeiros, J., Belon Pereira, M., Espirito ve diğer. (2012). "WRF high resolution dynamical downscaling of ERA-Interim for Portugal. *Climate Dynamics,* (39.9-10), 2497-2522.

Tekeli, İ.Y. ve Demirkıran, O. (2010). AnkaraYenimahalle Güvenç Havzası yağış ve akım karakteristikleri. *TAGEM-BB-Topraksu*-2010/89.

Tofiq F.A. ve Güven A. (2015). Potential changes in inflow design flood under future climate projections for Darbandikhan Dam. *Journal of Hydrology,* (528) 45-51

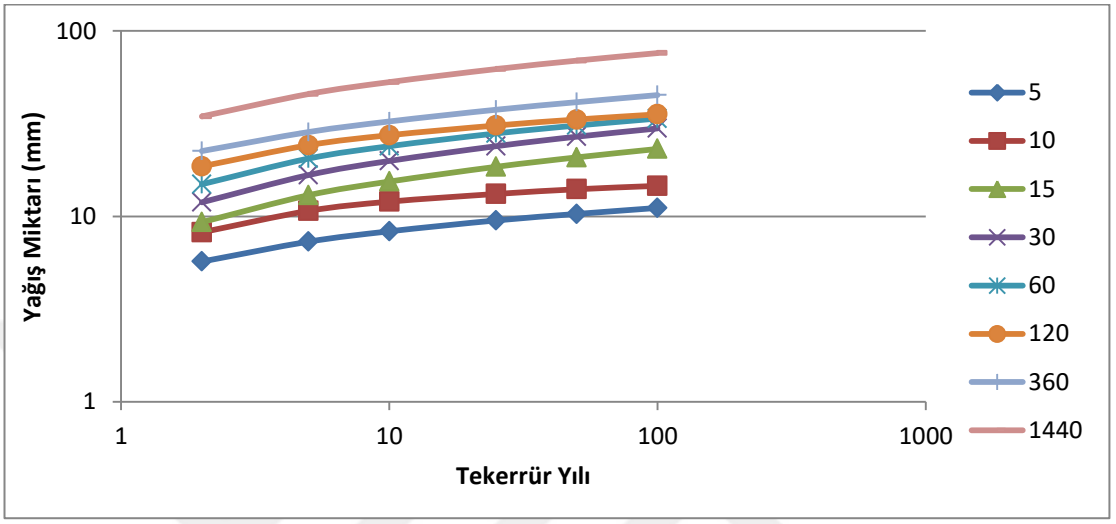
Villarini G., A. Smith J., Serinaldi F., Bales J., D. Bates P. ve F. Krajewski W. (2009). Flood frequency analysis for nonstationary annual peak records in an urban drainage basin. *Advances in Water Resources,* (32) 1255-1266.

Yener M.K.., Şorman A.Ü., Şensoy A. ve Gezgin T. (2011). Modeling studies with HEC-HMS and runoff Scenarios in Yuvacık Basin, Turkey. Ri*ver Basin Flood Management,* (2) 622-634

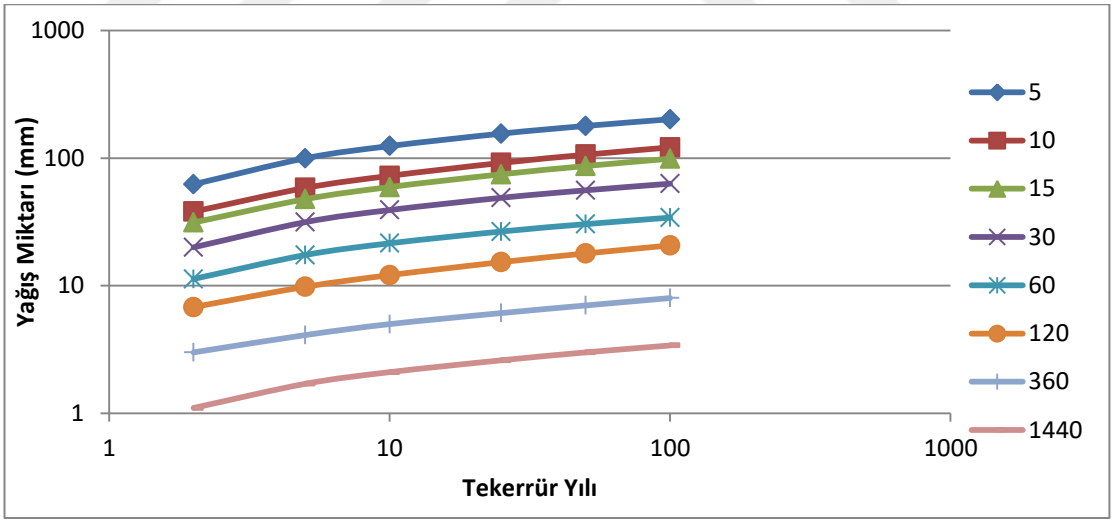
Yoon, J. H., Ruby Leung, L. ve Correia, J. (2012). Comparison of dynamically and statistically downscaled seasonal climate forecasts for the cold season over the United States. *Journal of Geophysical Research*, 117 (D21).

EKLER

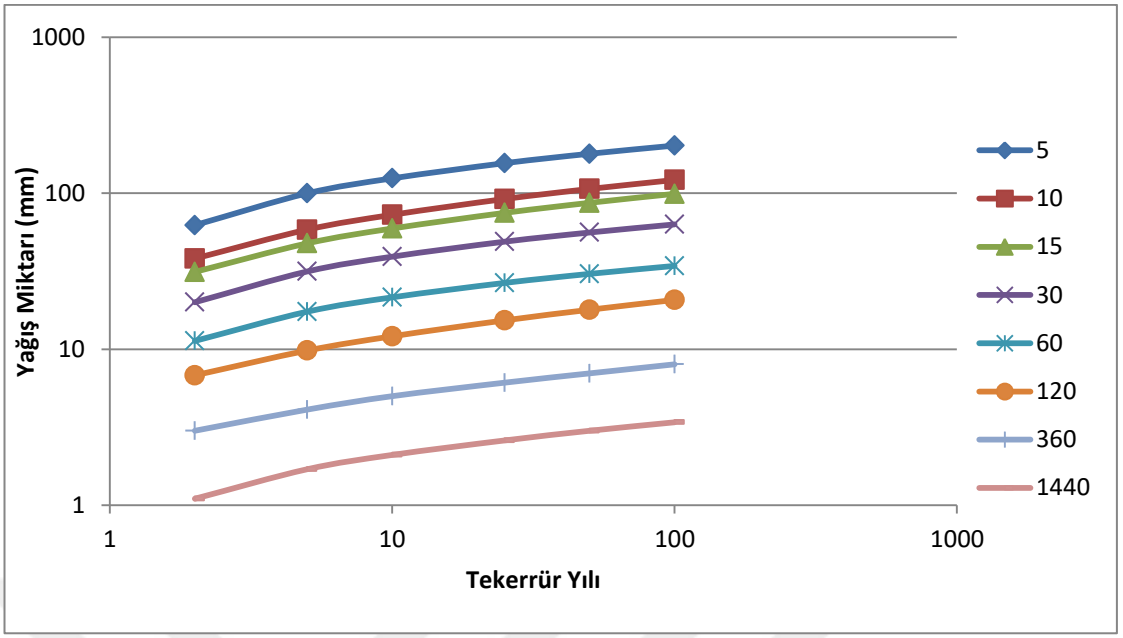
Eklerde, yağış yüksekliği, şiddeti süre tekerrür ilişkileri ve hiyetograf ve birim hidrograf analizleri verilmiştir.



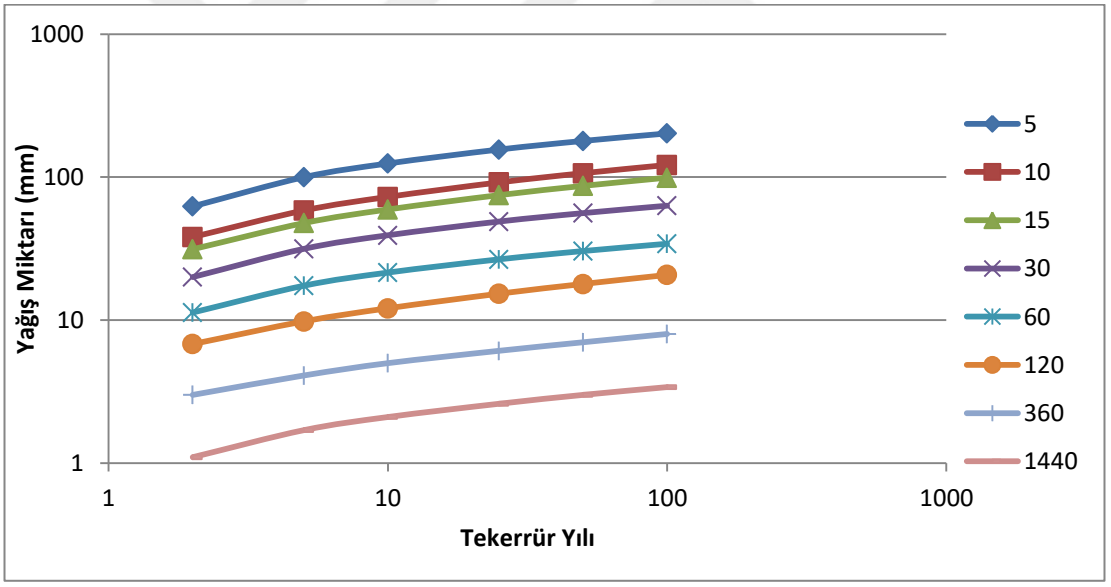
Şekil 1 R24 İstasyonu maksimum yağış yüksekliği süre tekerrür ilişkisi



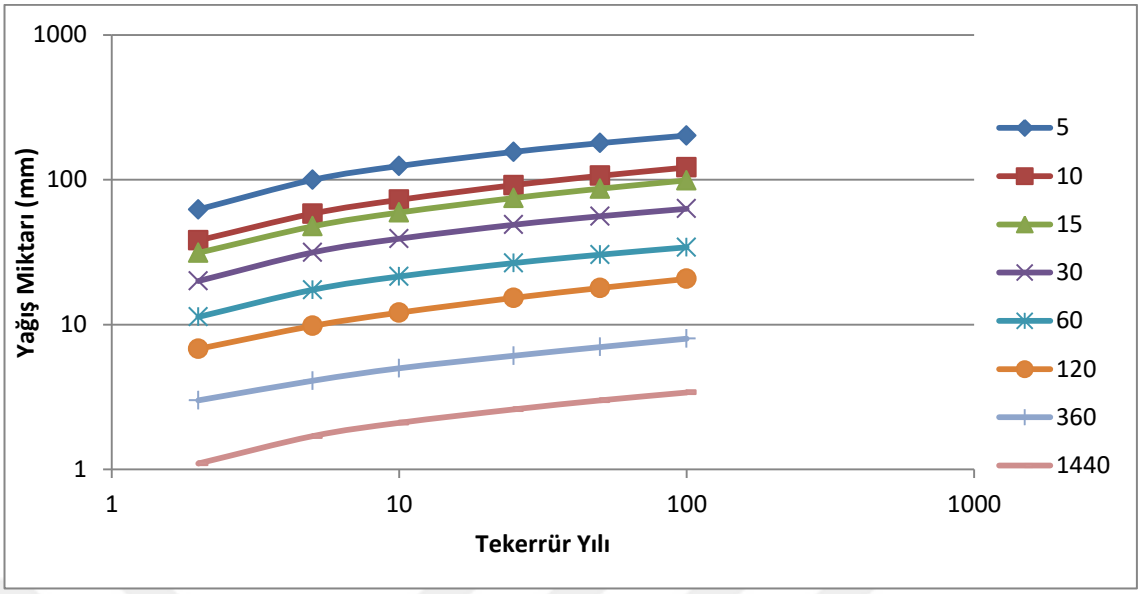
Şekil 2 R25 İstasyonu maksimum yağış yüksekliği süre tekerrür ilişkisi



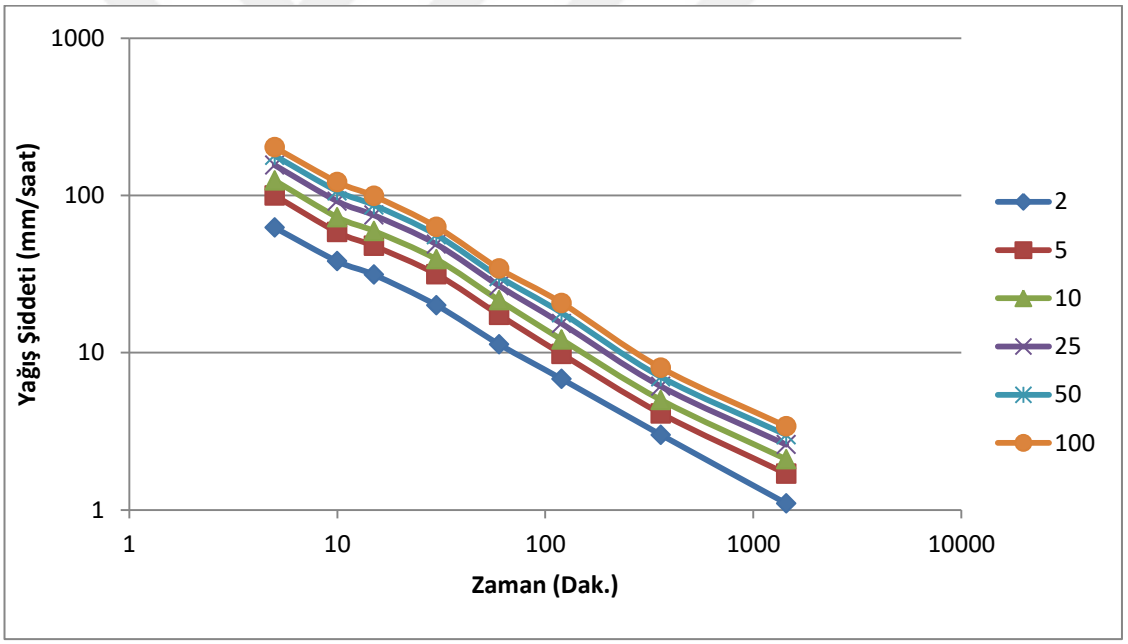
Şekil 3 R26 İstasyonu maksimum yağış yüksekliği süre tekerrür ilişkisi



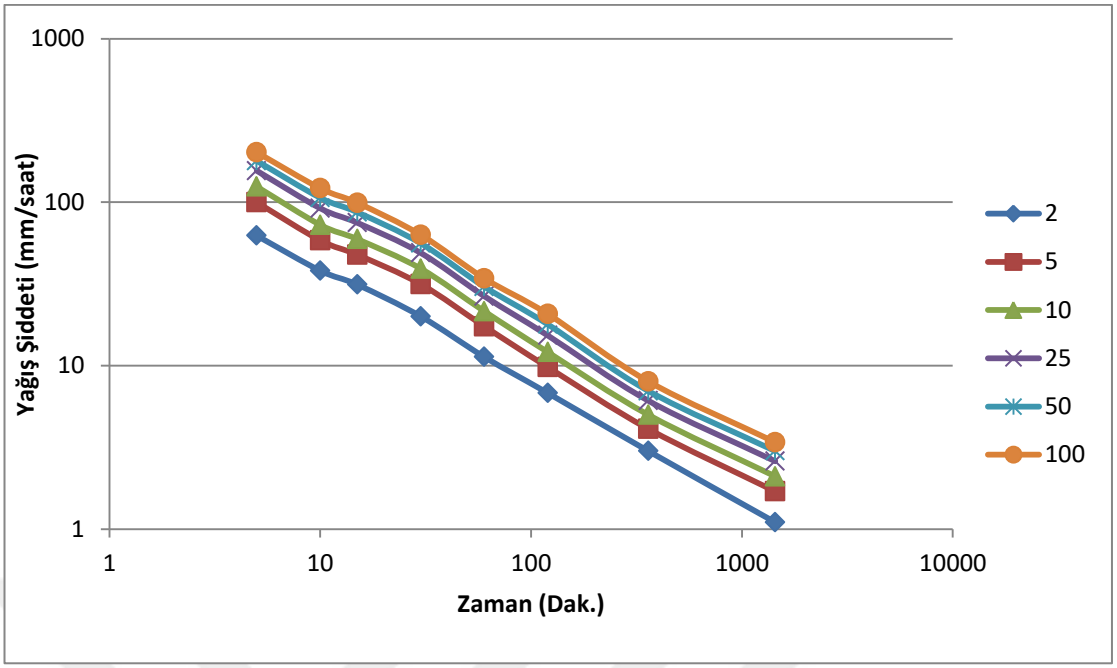
Şekil 4 R27 İstasyonu maksimum yağış yüksekliği süre tekerrür ilişkisi



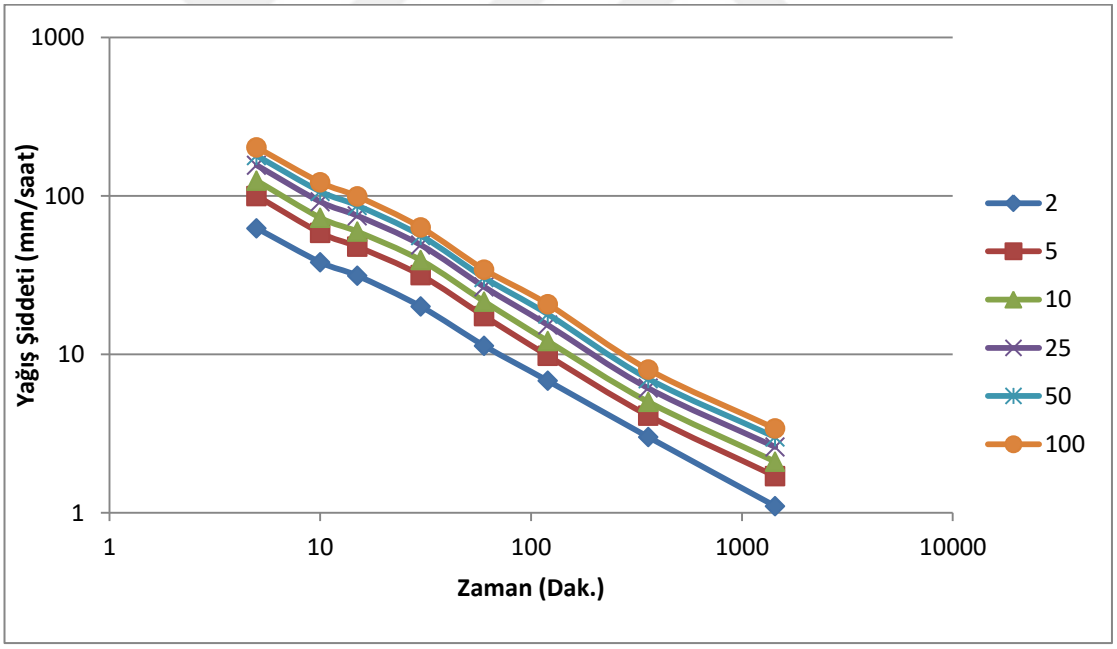
Şekil 5 R28 İstasyonu maksimum yağış yüksekliği süre tekerrür ilişkisi



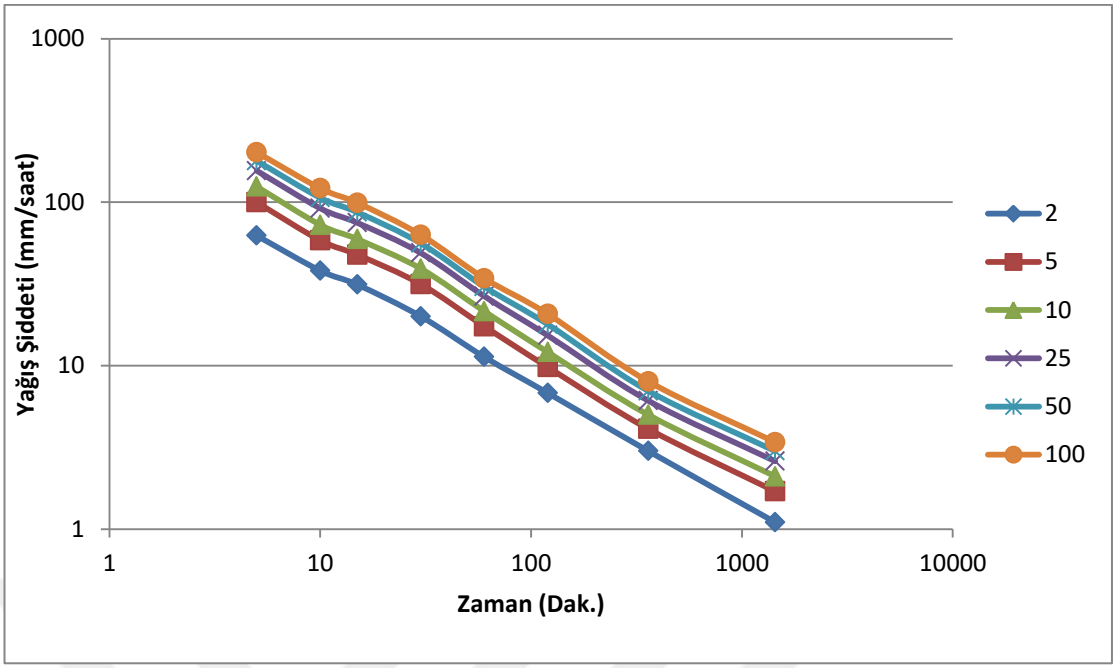
Şekil 6 R24 İstasyonu yağışları şiddet-süre-tekerrür ilişkisi



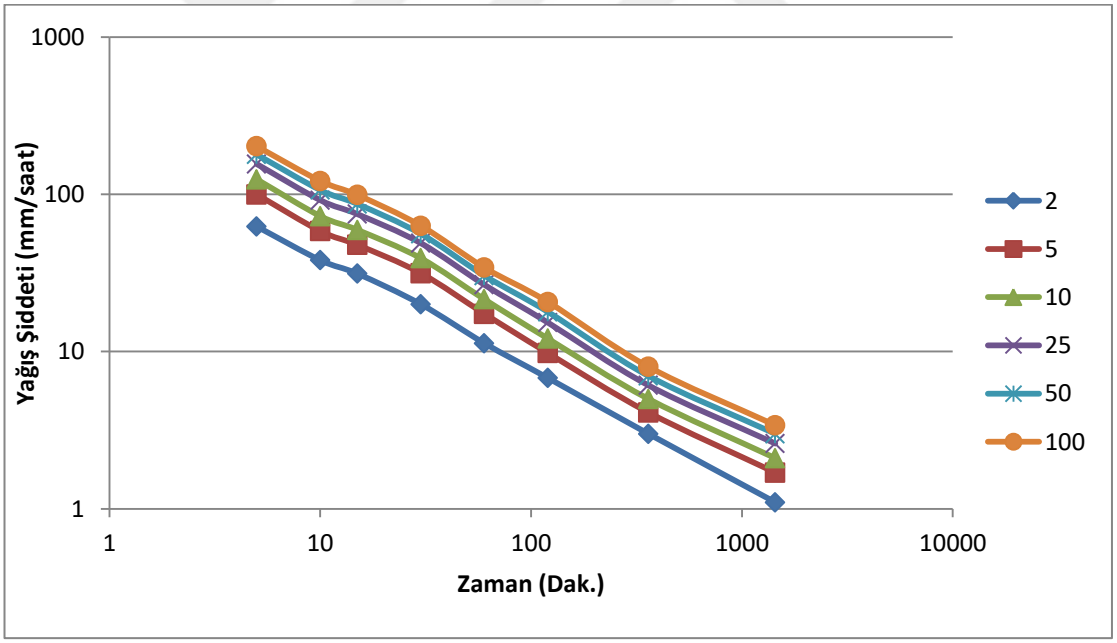
Şekil 7 R25 İstasyonu yağışları şiddet-süre-tekerrür ilişkisi



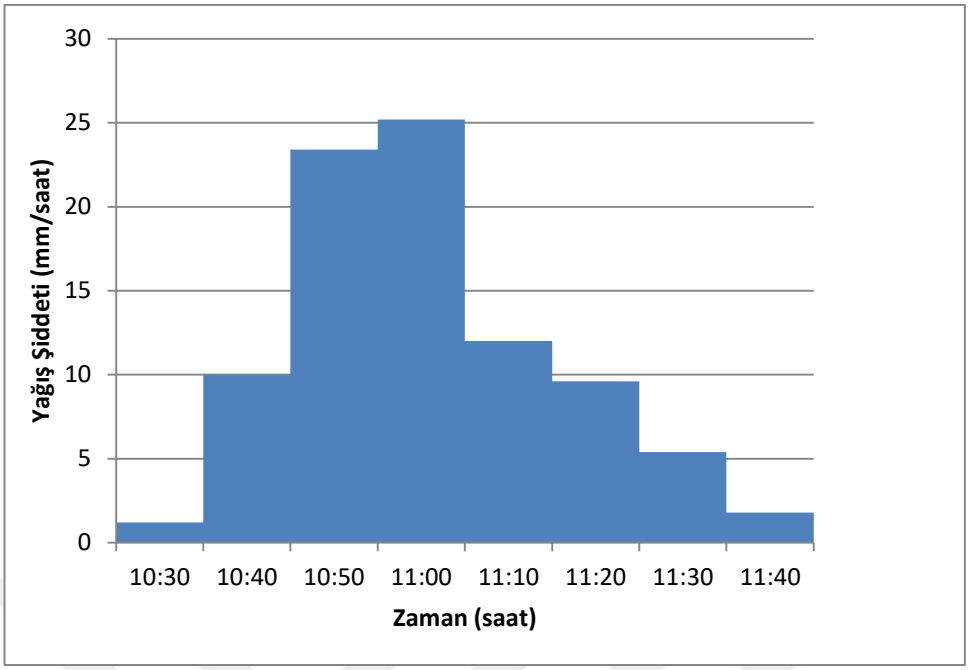
Şekil 8 R26 İstasyonu yağışları şiddet-süre-tekerrür ilişkisi



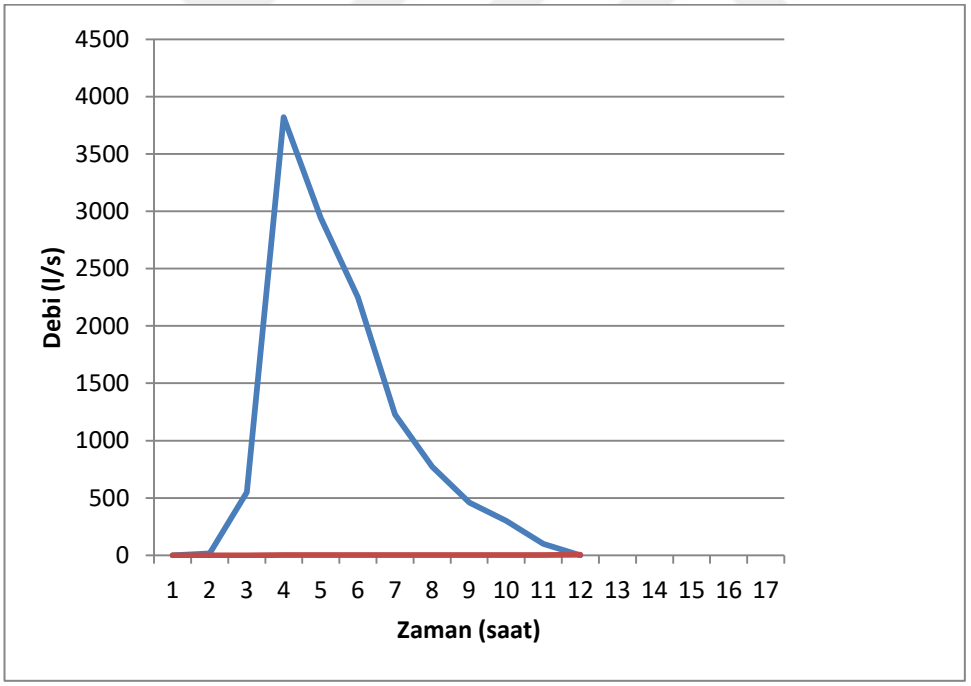
Şekil 9 R27 İstasyonu yağışları şiddet-süre-tekerrür ilişkisi



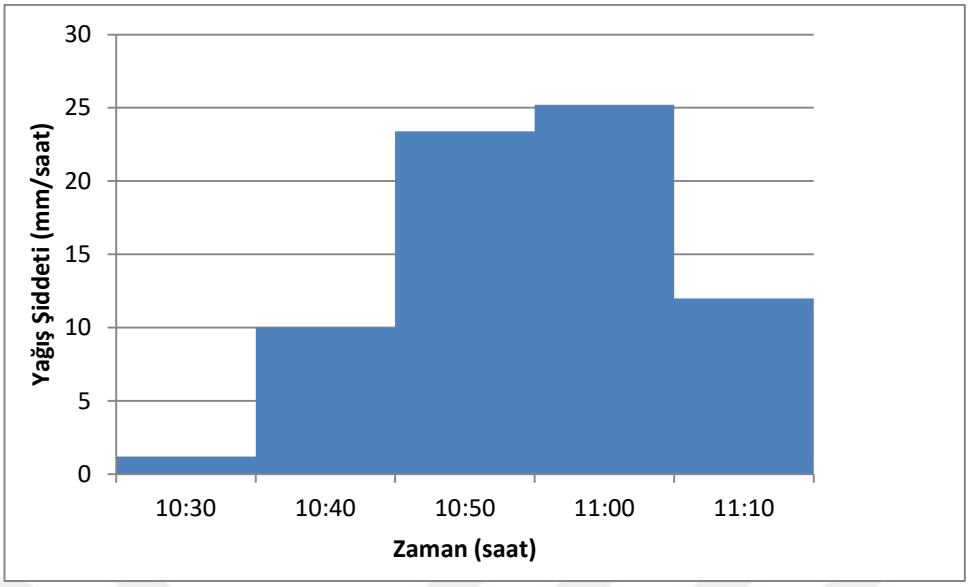
Şekil 10 R28 İstasyonu yağışları şiddet-süre-tekerrür ilişkisi



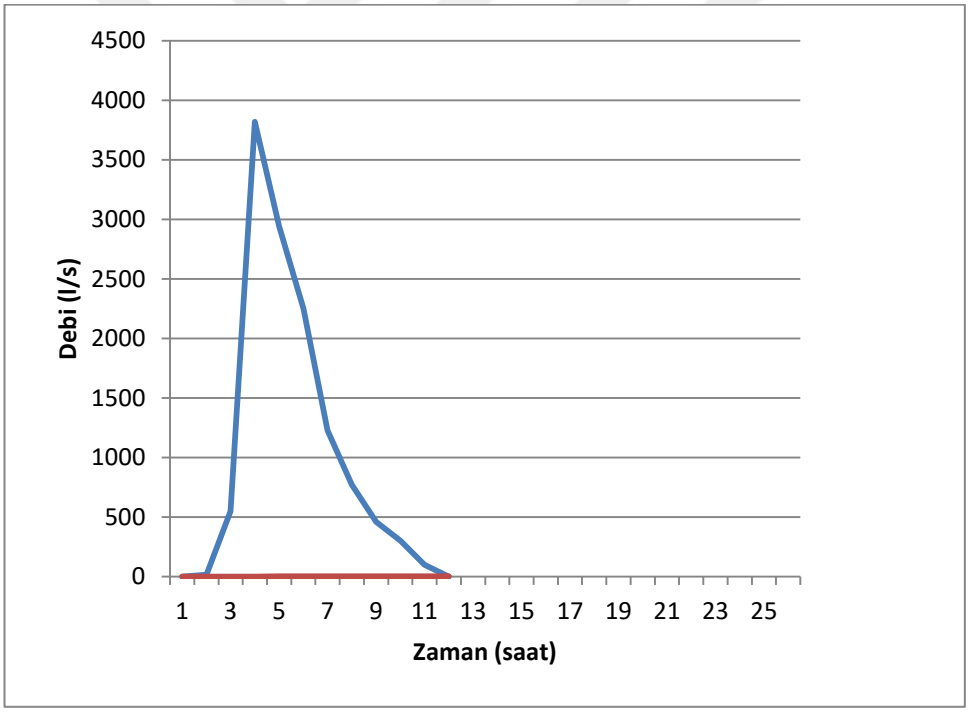
Şekil 11 01.07.1992 Tarihli hiyetograf analizi



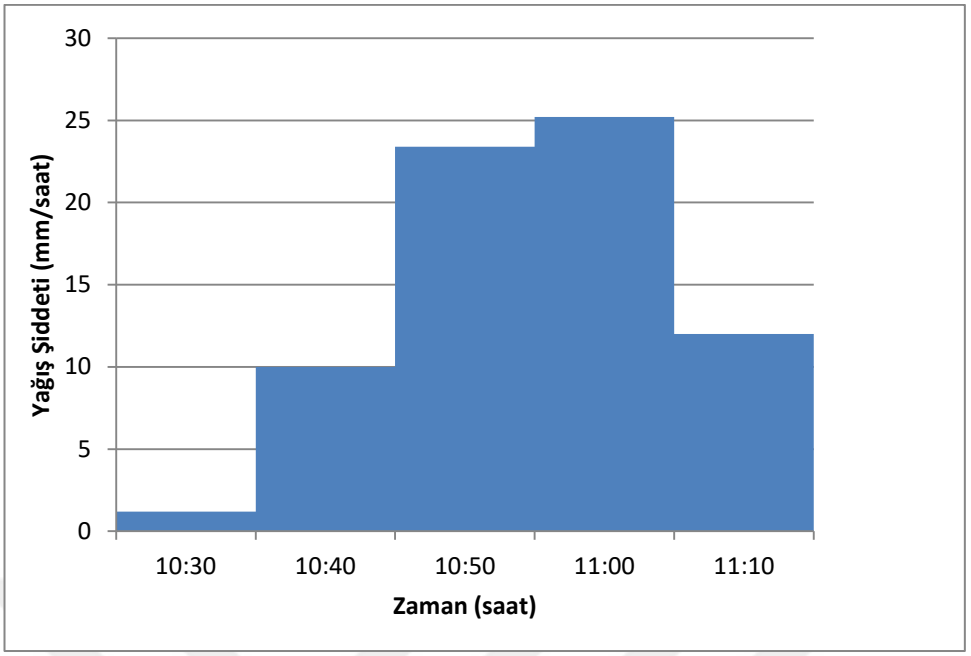
Şekil 12 01.07.1992 Tarihli birim hidrograf analizi



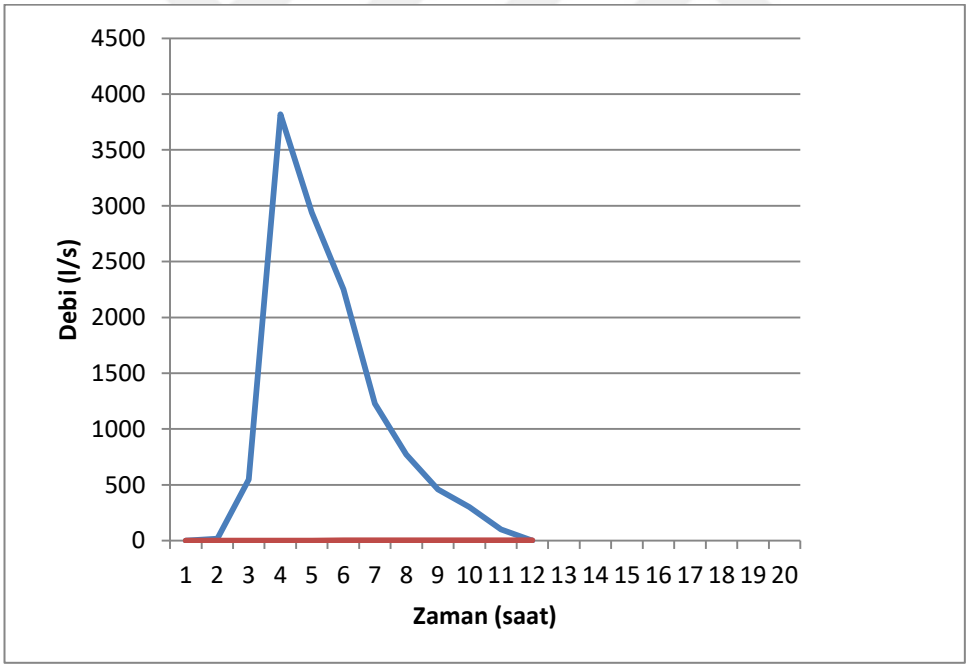
Şekil 13 05.06.1993 Tarihli hiyetograf analizi



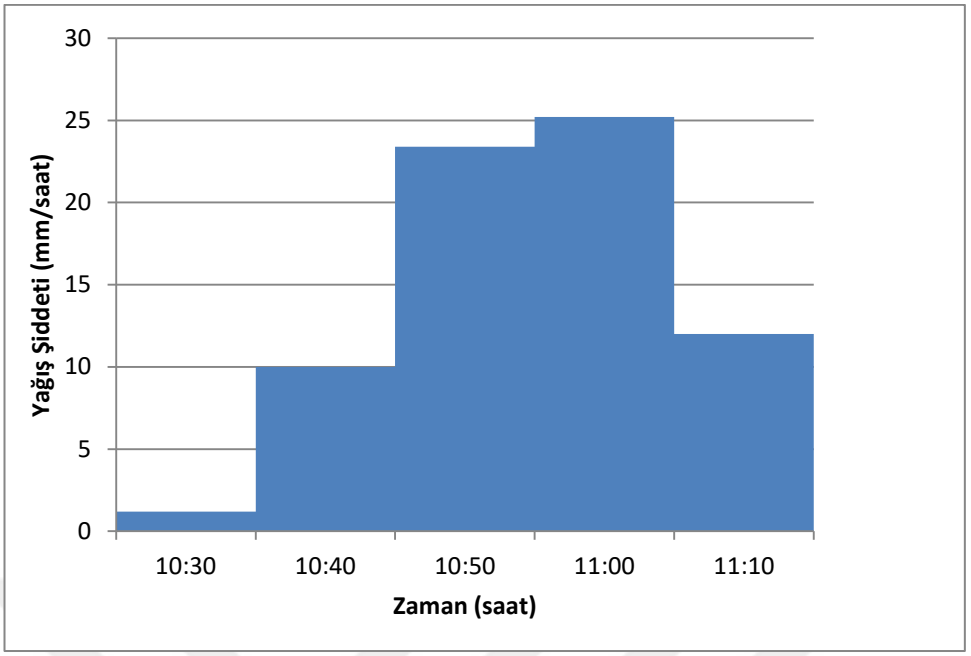
Şekil 14 05.06.1993 Tarihli birim hidrograf analizi



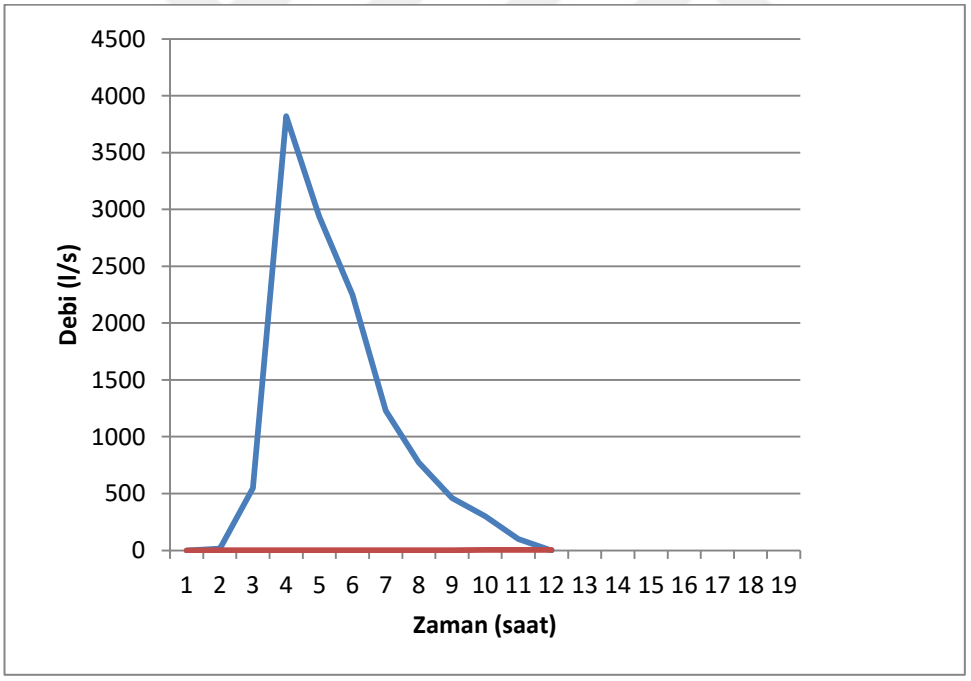
Şekil 15 10.05.1998 Tarihli hiyetograf analizi



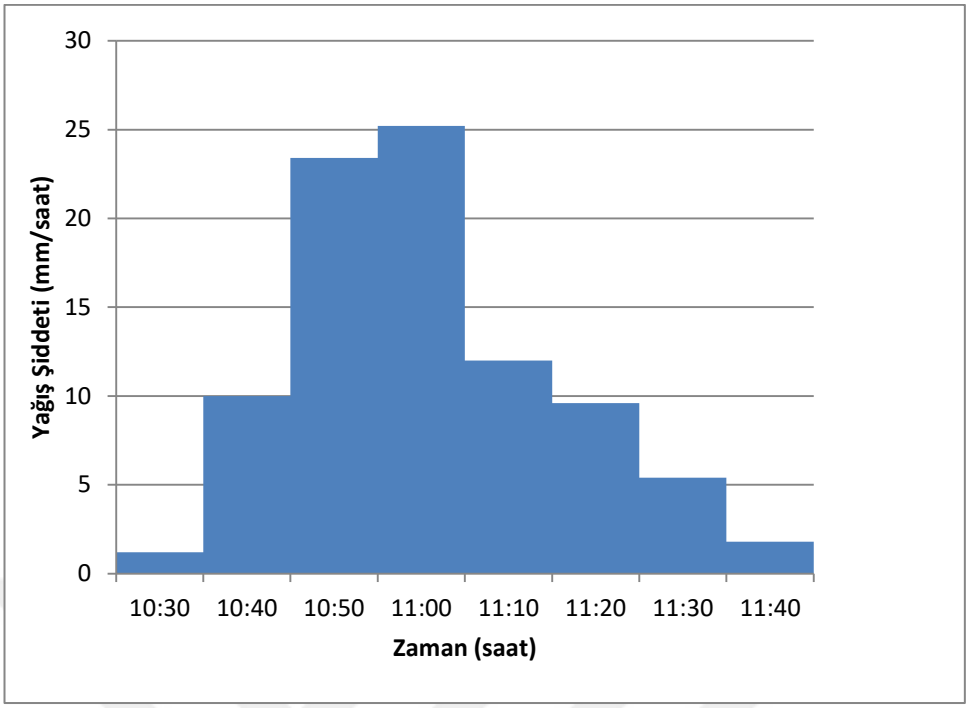
Şekil 16 10.05.1998 Tarihli birim hidrograf analizi



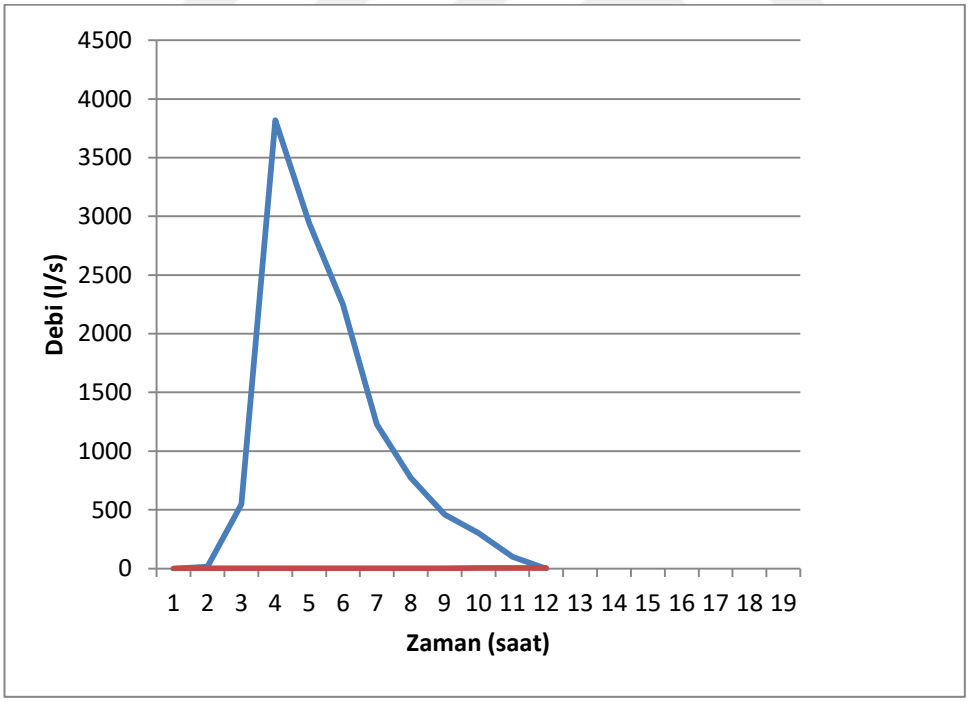
Şekil 17 02.06.2000 Tarihli hiyetograf analizi



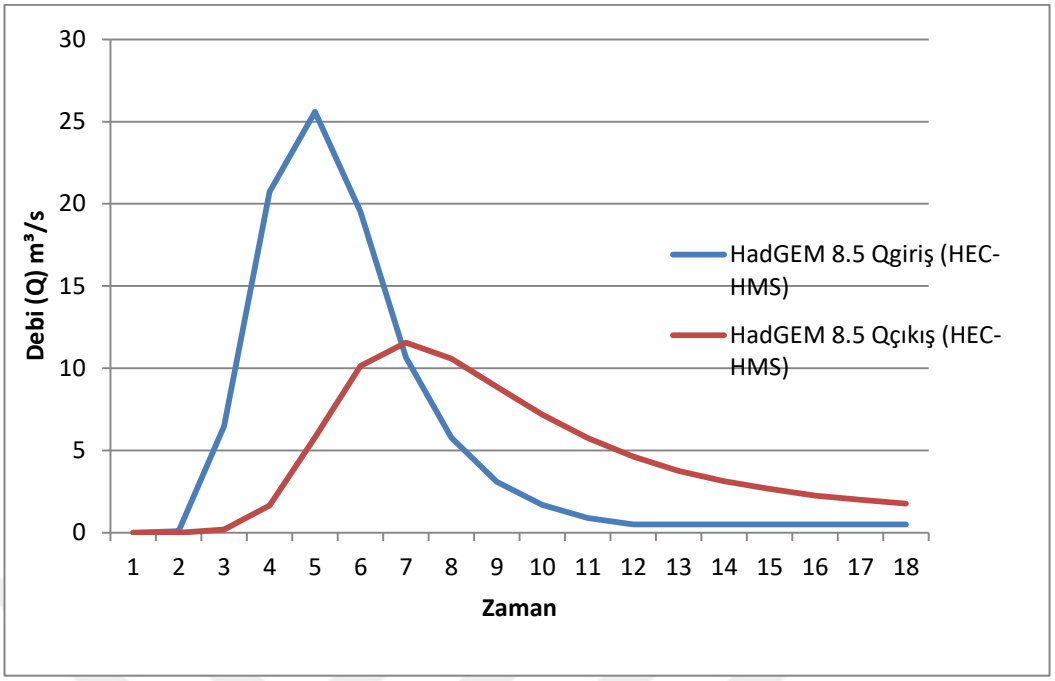
Şekil 18 02.06.2000 Tarihli birim hidrograf analizi



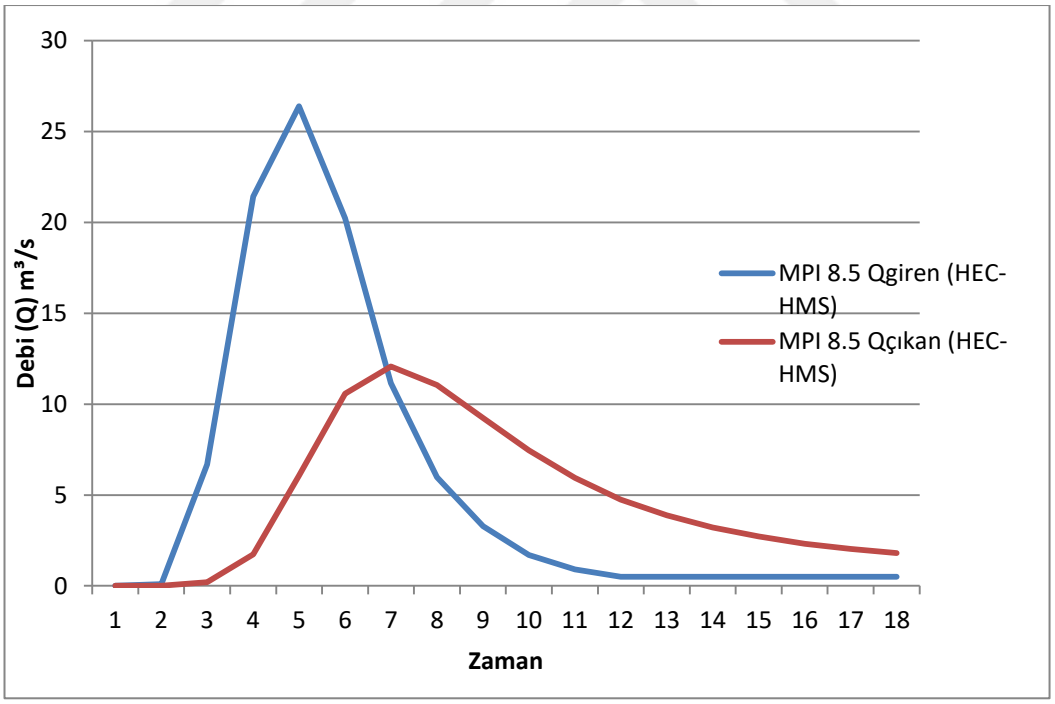
Şekil 19 01.05.2002 Tarihli hiyetograf analizi



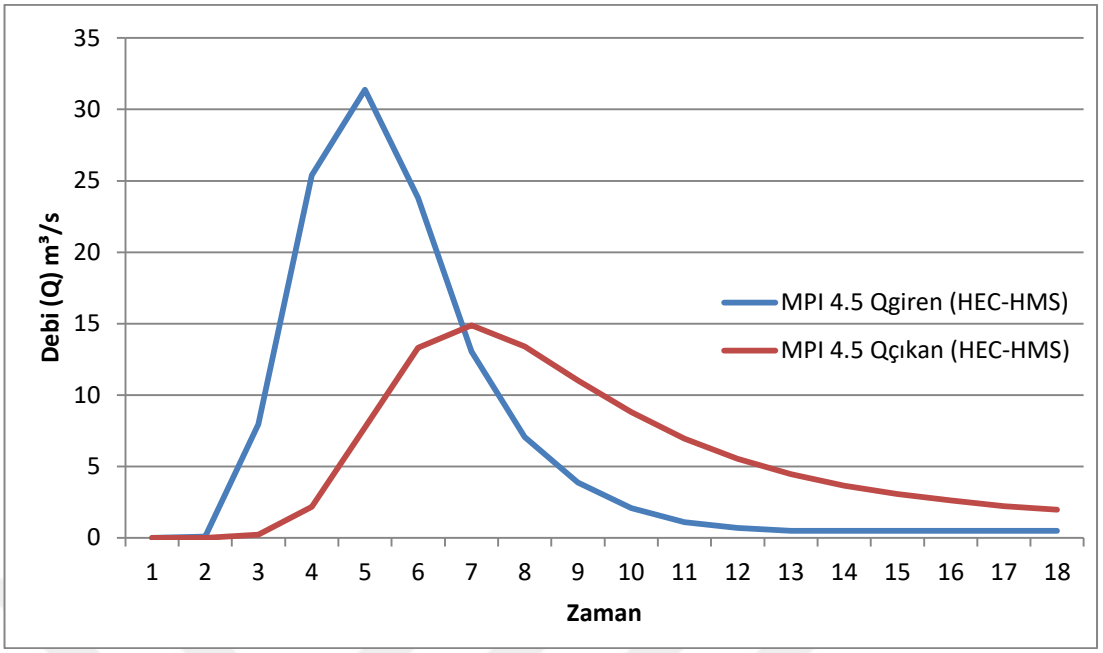
Şekil 20 01.05.2002 Tarihli birim hidrograf analizi



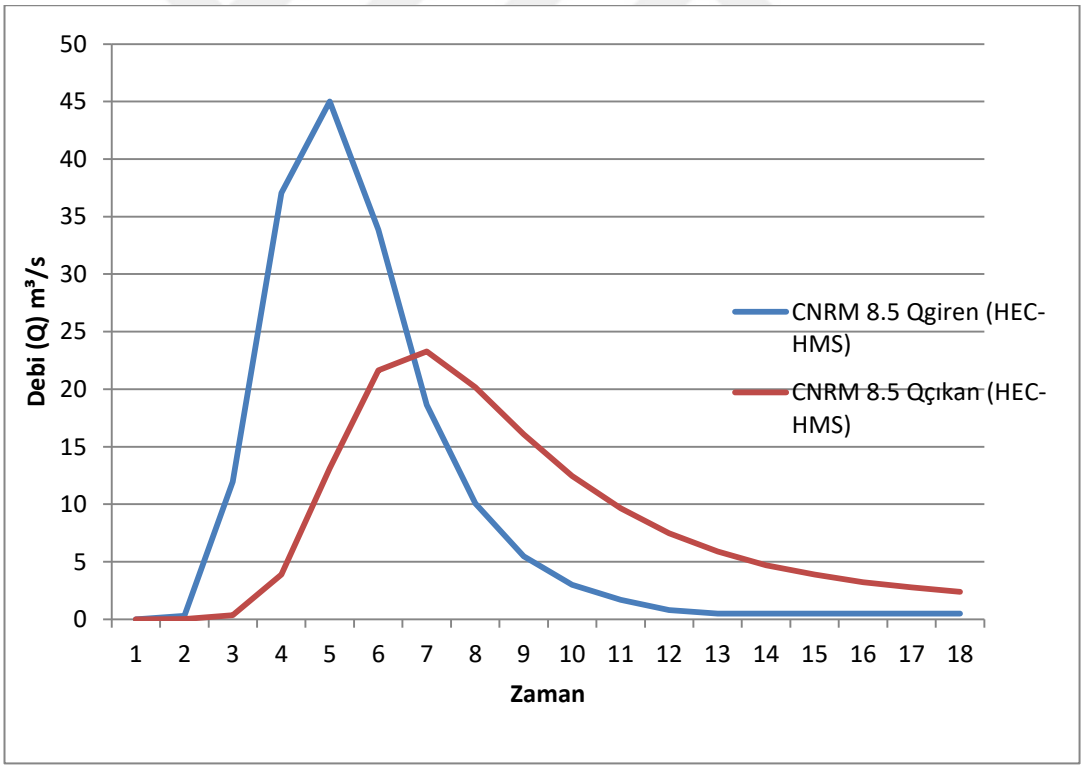
Şekil 21 HEC-HMS Model çıktılarına göre HadGEM 8.5 küresel iklim modeli sonuçları ile taşkın giriş ve çıkış debileri



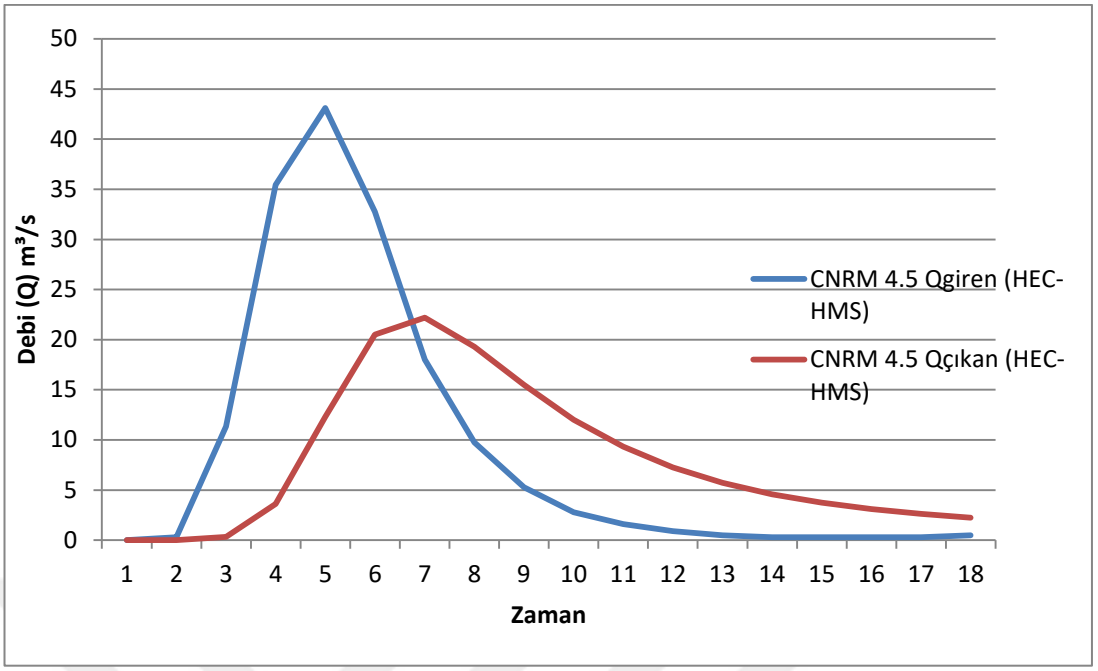
Şekil 22 HEC-HMS Model çıktılarına göre MPI 8.5 küresel iklim modeli sonuçları ile taşkın giriş ve çıkış debileri



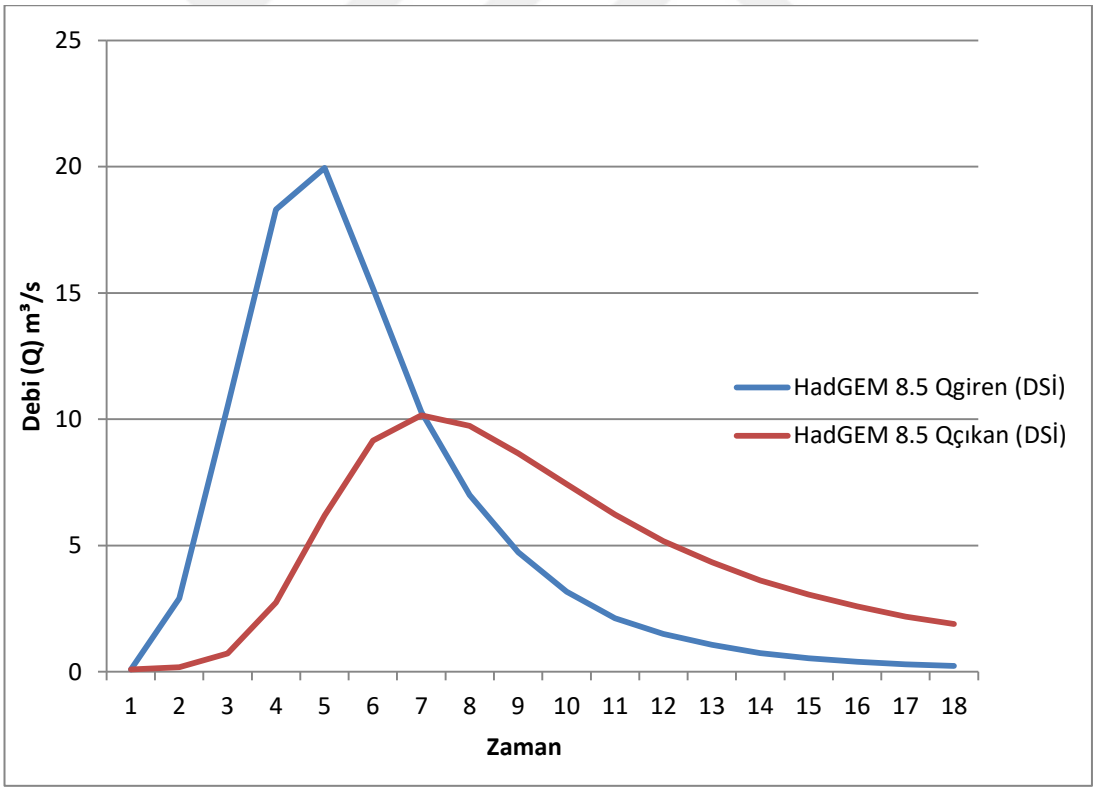
Şekil 23 HEC-HMS Model çıktılarına göre MPI 4.5 küresel iklim modeli sonuçları ile taşkın giriş ve çıkış debileri



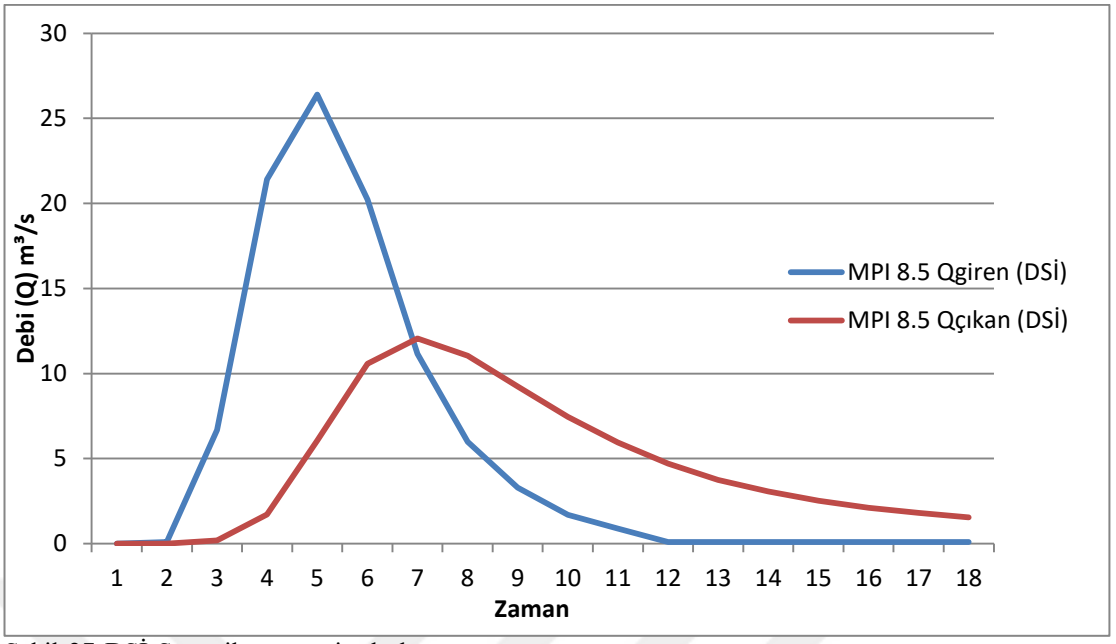
Şekil 24 HEC-HMS Model çıktılarına göre CNRM 8.5 küresel iklim modeli sonuçları ile taşkın giriş ve çıkış debileri



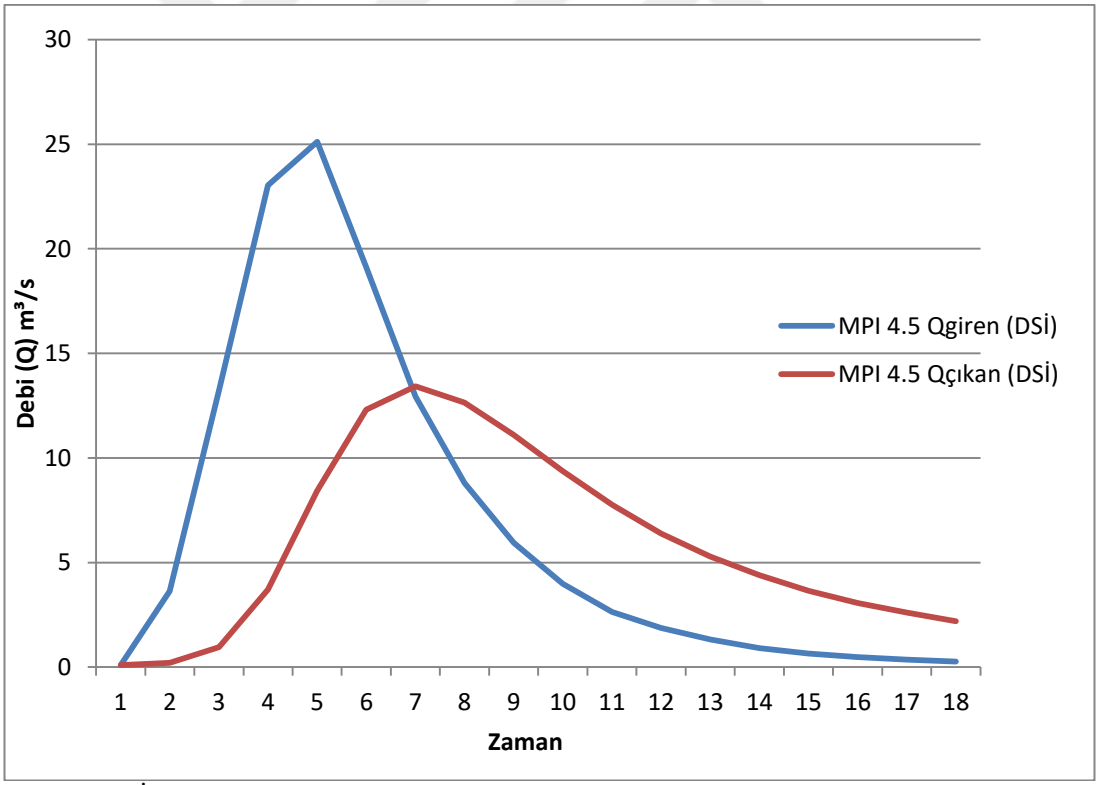
Şekil 25 HEC-HMS Model çıktılarına göre CNRM 4.5 küresel iklim modeli sonuçları ile taşkın giriş ve çıkış debileri



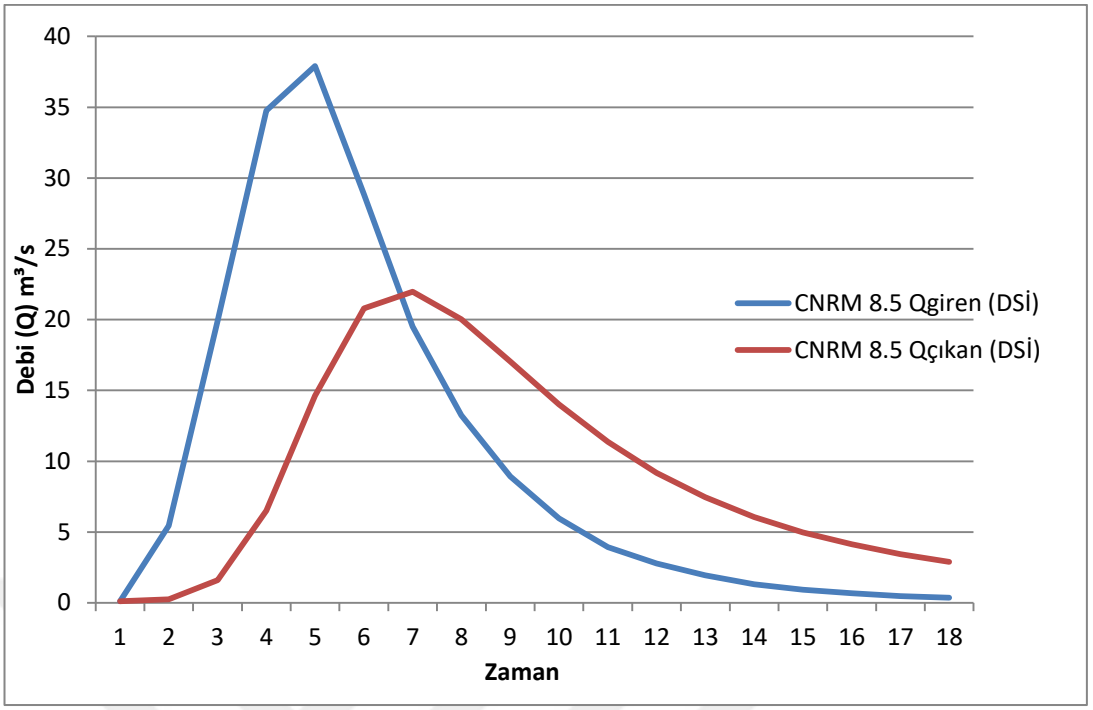
Şekil 26 DSİ Sentetik yöntemi çıktılarına göre HadGEM 8.5 küresel iklim modeli sonuçları ile taşkın giriş ve çıkış debileri



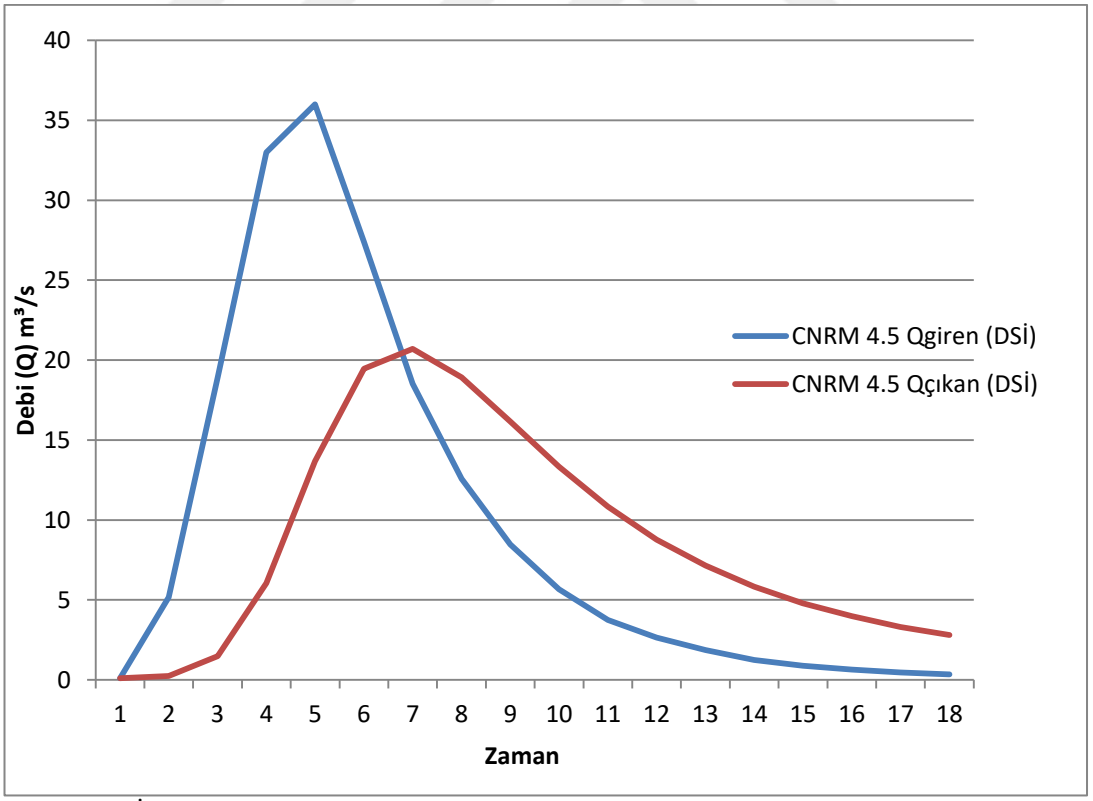
Şekil 27 DSİ Sentetik yöntemi çıktılarına göre MPI 8.5 küresel iklim modeli sonuçları ile taşkın giriş ve çıkış debileri



Şekil 28 DSİ Sentetik yöntemi çıktılarına göre MPI 4.5 küresel iklim modeli sonuçları ile taşkın giriş ve çıkış debileri



Şekil 29 DSİ Sentetik yöntemi çıktılarına göre CNRM 8.5 küresel iklim modeli sonuçları ile taşkın giriş ve çıkış debileri



Şekil 30 DSİ Sentetik yöntemi çıktılarına göre CNRM 4.5 küresel iklim modeli sonuçları ile taşkın giriş ve çıkış debileri