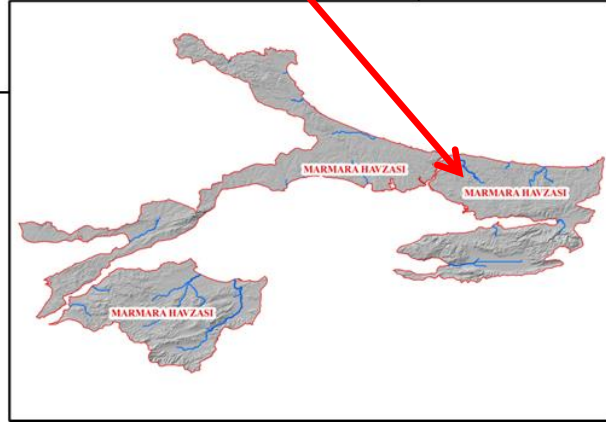
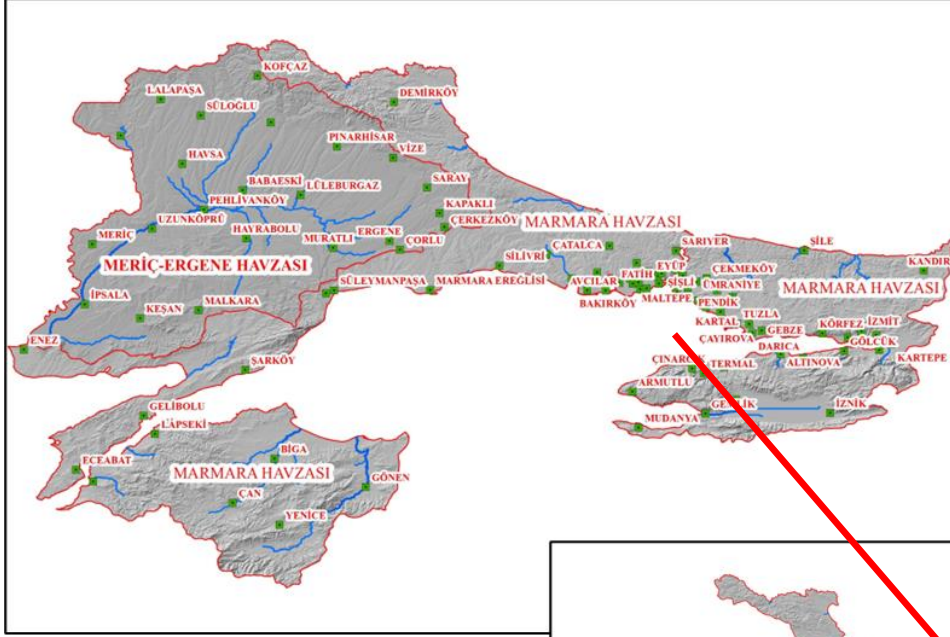




T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



MARMARA HAVZASI KURAKLIK YÖNETİM PLANI



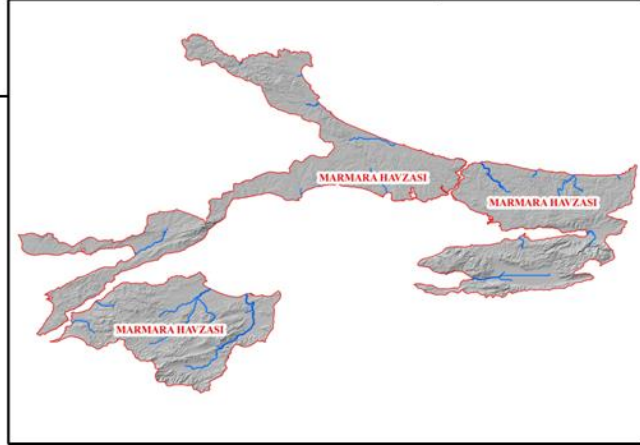
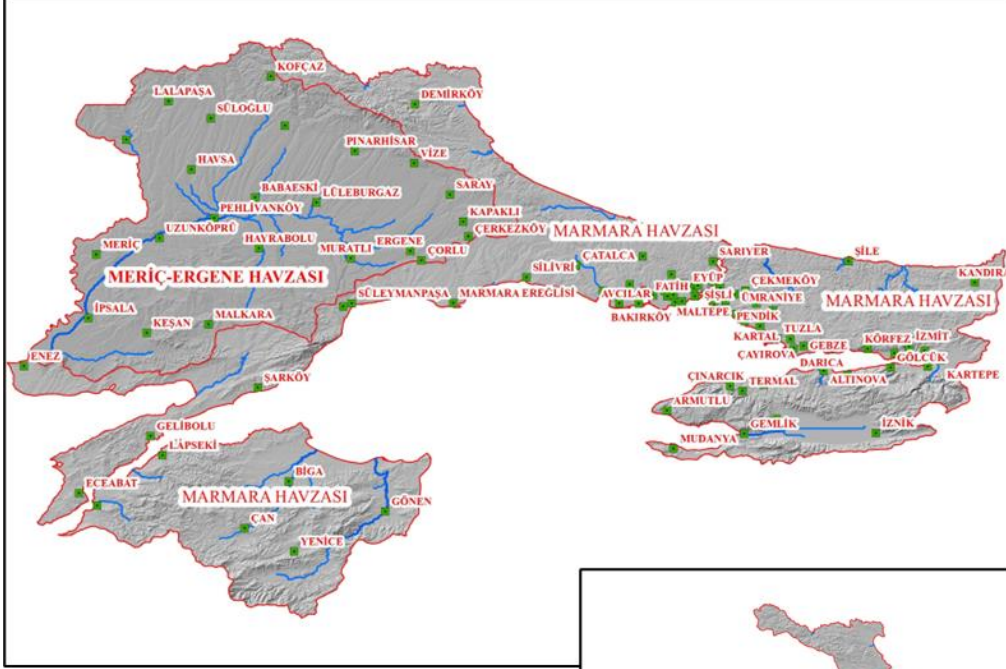
NIHAİ RAPORU CİLT 2: SU BÜTÇESİ ÇALIŞMALARI

YAŞLIOĞLU
İNŞAAT VE TİCARET Ltd. Şti.

ANKARA / 2023



T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



MARMARA HAVZASI KURAKLIK YÖNETİM PLANI

NIHAİ RAPORU CİLT 2: SU BÜTÇESİ ÇALIŞMALARI

ANKARA / 2023

Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından Yüklenici
YAŞLIOĞLU İNŞ. ve TİC. LTD. ŞTİ. Şirketine hazırlattırılmıştır.

Her hakkı saklıdır.

Bu doküman ve içeriği Su Yönetimi Genel Müdürlüğünün izni alınmadan kullanılamaz ve
çoğaltılamaz.

SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

AFİRE SEVER	Genel Müdür
MARUF ARAS	Genel Müdür Yardımcısı
SATUK BUĞRA FINDIK	Daire Başkanı
AHMET MURAT ÖZALTIN	Çalışma Grubu Sorumlusu
BAHADIR ÖZÇAM	Mühendis
HAFİZE KAYA	Mühendis
YELİZ SARICAN	Uzman
DR. MUSTAFA BERK DUYGU	Uzman
ÇİĞDEM GÜRLER	Uzman
ELİF SÜRÜCÜ	Mühendis
HALDUN AKCENGİZ	Mühendis

YAŞLIOĞLU İNŞ. ve TİC. LTD. ŞTİ.

GÜRKAN URAY	İnş. Yük. Müh. / Proje Müdürü
AYÇİÇEK YAŞLIOĞLU	İnşaat Mühendisi
MUAMMER ERYILDIRIM	Ziraat Mühendisi
SÜLEYMAN TOSYALIOĞLU	Çevre Mühendisi
CENGİZ KUMKAYA	Meteoroloji Mühendisi
MUHAMMET TOKAT	Jeoloji Mühendisi

DANIŞMAN

PROF. DR. OSMAN YILDIZ	Kırıkkale Üniversitesi
PROF. DR. MİKDAT KADIOĞLU	İstanbul Teknik Üniversitesi
DR. ÖĞR. ÜYESİ GAYE AKTÜRK	Kırıkkale Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	ix
KISALTMALAR.....	xiv
5. HİDROLOJİK MODEL.....	1
5.1. Yüzeysel Su Modelleri	1
5.1.1. Kullanılan Modellerin Özellikleri ve Seçilme Gerekçeleri	3
5.1.1.1. HBV-Light Hidrolojik Model.....	3
5.1.1.1.1. HBV Modelinde Kullanılan Yöntemler	4
5.1.1.1.1.1. Kar Modülü	9
5.1.1.1.1.2. Toprak Modülü	10
5.1.1.1.1.3. Dönüştürme Fonksiyonları	11
5.1.1.1.1.4. Öteleme Modülü	12
5.1.1.2. SWAT Hidrolojik Model.....	13
5.1.1.3. HİDROTÜRK Hidrolojik Modeli.....	14
5.1.1.3.1. HİDROTÜRK Modelinde Kullanılan Yöntemler	15
5.1.2. Kalibrasyon ve Validasyon Çalışmaları	20
5.1.3. Havza Yağış-Akış İlişkisi.....	25
5.1.3.1. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)	26
5.1.3.2. Körfez Alt Havzası (2/8)	32
5.1.3.3. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)	37
5.1.3.4. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)	42
5.1.3.5. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)	47
5.1.3.6. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)	52
5.1.3.7. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8).....	57
5.1.3.8. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8)	62
5.1.3.9. HİDROTÜRK Model Sonuçları	67
5.1.4. Yüzeysel Su Potansiyelindeki İklim Değişikliği Etkileri (İklim Projeksiyonları) ...	69
5.1.4.1. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)	70
5.1.4.2. Körfez Alt Havzası (2/8)	72
5.1.4.3. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)	74
5.1.4.4. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)	76

5.1.4.5. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)	78
5.1.4.6. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)	80
5.1.4.7. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8)	82
5.1.4.8. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8)	84
5.2. Yeraltı Su Potansiyeli	86
5.2.1. Yeraltı Suyu Modelleri	86
5.2.2. Akifer Parametrelerinin Belirlenmesi	87
5.2.2.1. Kullanılan Yöntemler	87
5.2.3. YAS Beslenme ve Boşalma Hesapları	87
5.2.3.1. Hidrolojik Zemin Sınıflandırması	87
5.2.4. YAS Potansiyeli Üzerinde İklim Değişikliği Etkilerinin Belirlenmesi (İklim Projeksiyonları)	88
5.2.4.1. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)	88
5.2.4.2. Körfez Alt Havzası (2/8)	89
5.2.4.3. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)	90
5.2.4.4. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)	91
5.2.4.5. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)	93
5.2.4.6. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)	93
5.2.4.7. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8)	94
5.2.4.8. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8)	95
5.3. Su Bütçesi Metodu	96
5.3.1. Havzalar Arası Su Transferleri	96
5.3.2. Marmara Havzası Genel Su Bütçesi	98
5.3.3. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)	103
5.3.4. Körfez Alt Havzası (2/8)	106
5.3.5. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)	108
5.3.6. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)	110
5.3.7. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)	112
5.3.8. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)	114
5.3.9. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8)	116
5.3.10. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8)	118
5.4. Hidrolojik Kuraklıkların Akımlar Üzerindeki Etkileri	120
5.4.1. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)	120
5.4.2. Körfez Alt Havzası (2/8)	121
5.4.3. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)	122
5.4.4. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)	123
5.4.5. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)	124
5.4.6. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)	125
5.4.7. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8)	126

5.4.8. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8).....	127
6. SU KULLANIMI	130
6.1. Anket Çalışması.....	130
6.1.1. Tarımsal Su Kullanımı	130
6.1.1.1. Sulama Alanları	130
6.1.1.2. Yeraltı ve Yerüstü Su Kaynakları.....	141
6.1.2. Hayvancılık Su Tüketimi.....	142
6.1.3. İçme ve Kullanma Suyu Tüketimi	144
6.1.4. Sanayi Su Kullanımı	145
6.1.5. Turizm Su Kullanımı.....	146
6.1.6. Ekosistem Su Kullanımı.....	146
6.2. Gelecek Durum Su Kullanımı	148
6.2.1. Tarımsal Sulama Suyu İhtiyaç Tahminleri.....	148
6.2.2. Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu	149
6.2.2.1. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)	149
6.2.2.2. Körfez Alt Havzası (2/8)	150
6.2.2.3. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)	151
6.2.2.4. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)	152
6.2.2.5. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)	153
6.2.2.6. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)	154
6.2.2.7. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8).....	155
6.2.2.8. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8)	156
6.2.3. Hayvancılık Su İhtiyaç Tahminleri.....	157
6.2.4. İçme ve Kullanma Suyu İhtiyaç Tahminleri.....	158
6.2.5. Sanayi Suyu İhtiyaç Tahminleri	167
6.2.6. Turizm Su İhtiyacı Tahminleri	169
6.2.7. Ekosistem Su İhtiyacı Tahminleri.....	170

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1 HBV Model Fiziğini Oluşturan Modüller.....	7
Tablo 5.2 Sıcak İklimlerdeki Bitkiler İçin Zamana Bağlı Ortalama k_c Değerleri.....	16
Tablo 5.3 Denklem 5.22' de Kullanılan Parametre ve Açıklamaları (HİDROTÜRK Kullanım Kılavuzu, 2019).....	17
Tablo 5.4 Denklemde kullanılan parametre ve açıklamaları (HİDROTÜRK Kullanım Kılavuzu, 2019).....	19
Tablo 5.5 Gönen Çayı HBV-Light Model Parametreleri	23
Tablo 5.6 Gönen Çayı SWAT Model Parametreleri	24
Tablo 5.7 HBV-Light Model Sonuçlarına Göre Alt Havzalara Ait Model Performans İstatistikleri	25
Tablo 5.8 SWAT Model Sonuçlarına Göre Alt Havzalara Ait Model Performans İstatistikleri	26
Tablo 5.9 Biga Çayı Alt Havzası Model Performans İstatistikleri	27
Tablo 5.10 Körfez Alt Havzası Model Performans İstatistikleri	32
Tablo 5.11 Gönen Çayı Alt Havzası Model Performans İstatistikleri.....	37
Tablo 5.12 İznik Gölü Alt Havzası Model Performans İstatistikleri	42
Tablo 5.13 Ağva Deresi Alt Havzası Model Performans İstatistikleri.....	47
Tablo 5.14 Batı İstanbul Alt Havzası Model Performans İstatistikleri	52
Tablo 5.15 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Model Performans İstatistikleri	57
Tablo 5.16 HİDROTÜRK Model Performans İstatistikleri.....	67
Tablo 5.17 Biga Çayı Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm^3).....	70
Tablo 5.18 Körfez Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm^3).....	72
Tablo 5.19 Gönen Çayı Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm^3).....	74
Tablo 5.20 İznik Gölü Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm^3).....	76

Tablo 5.21 Ağva Deresi Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm ³)	78
Tablo 5.22 Batı İstanbul Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm ³).....	80
Tablo 5.23 Kuzey Kırklareli Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm ³)	82
Tablo 5.24 Kuzey Çanakkale Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm ³)	84
Tablo 5.25 Biga Çayı Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri	89
Tablo 5.26 Körfez Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri	90
Tablo 5.27 Gönen Çayı Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri	91
Tablo 5.28 İznik Gölü Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri	92
Tablo 5.29 Batı İstanbul Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri	93
Tablo 5.30 Kuzey Kırklareli Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri	94
Tablo 5.31 Kuzey Çanakkale Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri	95
Tablo 5.32 Meriç-Ergene ve Kuzey Marmara Havzaları Arasındaki Su Aktarımları (DSİ, 2018).....	97
Tablo 5.33 Marmara Havzası ve Alt Havzalara Ait Su Bütçesi	100
Tablo 5.34 Su Bütçesi Metodu Hesap Açıklamaları	102
Tablo 6.1 Marmara Havzası Alt Havzaları Sulama Alanları (DSİ, 2014; DSİ,2018).....	130
Tablo 6.2 Biga Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021).....	131
Tablo 6.3 Biga Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021).....	131

Tablo 6.4 Gönen Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021).....	131
Tablo 6.5 Gönen Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021).....	132
Tablo 6.6 İznik Gölü Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021).....	133
Tablo 6.7 İznik Gölü Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021).....	133
Tablo 6.8 Körfez Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)	134
Tablo 6.9 Körfez Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)	134
Tablo 6.10 Ağva Deresi Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021).....	135
Tablo 6.11 Ağva Deresi Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)	135
Tablo 6.12 Batı İstanbul Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021).....	136
Tablo 6.13 Batı İstanbul Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)	136
Tablo 6.14 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)	137
Tablo 6.15 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)	137
Tablo 6.16 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)	138
Tablo 6.17 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021).....	138

Tablo 6.18 Gönen Ovası Sulama Birliği Son Beş Yıllık Sulama Performansı (Gönen Sulama Birliği, 2021).....	139
Tablo 6.19 Biga Çayı Alt Havzası Sulamalarında İşletme Durumu (DSİ, 2021).....	140
Tablo 6.20 Alt Havzalara Göre Toplam Tarımsal Su Kullanımları (YÜS) (DSİ, 2014; DSİ, 2018).....	141
Tablo 6.21 Alt Havzalara Göre Toplam Tarımsal Su Kullanımları (YAS) (DSİ, 2014; DSİ, 2018).....	142
Tablo 6.22 Günlük Hayvansal Su Tüketimi	142
Tablo 6.23 Alt Havza Bazında Büyükbaş Hayvan Sayısı ve Su Tüketim Miktarları (TÜİK, 2020).....	143
Tablo 6.24 Alt Havza Bazında Küçükbaş Hayvan Sayısı ve Su Tüketim Miktarları (TÜİK, 2020).....	144
Tablo 6.25 Alt Havza Bazında İçme Kullanma Suyu Tüketim Miktarları (TÜİK, 2021).....	144
Tablo 6.26 Alt Havza Bazında Sanayi Suyu Tüketim Miktarları (DSİ, 2014;DSİ,2018).....	145
Tablo 6.27 Marmara Havzası Turizm Su Tüketimleri (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2021) .	146
Tablo 6.28 Alt Havzalar Bazında Ekosistem Su Miktarları	148
Tablo 6.29 Alt Havza Bazında Mutasavver Tarımsal Su Kullanımı.....	149
Tablo 6.30 Biga Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu	149
Tablo 6.31 Körfez Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu	150
Tablo 6.32 Gönen Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu	151
Tablo 6.33 İznik Gölü Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu	152
Tablo 6.34 Ağva Deresi Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu ...	153
Tablo 6.35 Batı İstanbul Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu ...	154
Tablo 6.36 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu	155

Tablo 6.37 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu	156
Tablo 6.38 Alt Havza Bazında Büyükbaş Hayvan Su İhtiyaç Tahminleri (Projeksiyon)	158
Tablo 6.39 Alt Havza Bazında Küçükbaş Hayvan Su İhtiyaç Tahminleri (Projeksiyon)	158
Tablo 6.40 Marmara Havzası'nda İlçelere Göre “Ç” Değerleri.....	160
Tablo 6.41 Marmara Havzası İlçelere Göre “ka” Değerleri	162
Tablo 6.42 Marmara Havzası'nda Yer Alan İlçelerin Nüfus Projeksiyonları	164
Tablo 6.43 Alt Havza Bazında Nüfus Projeksiyonları	167
Tablo 6.44 Alt Havza Bazında İçme ve Kullanma Suyu İhtiyaç Tahminleri	167
Tablo 6.45 Sanayi Suyu İhtiyaç Tahminleri (Projeksiyon)	168
Tablo 6.46 Turizm Su İhtiyaç Tahminleri (Projeksiyon)	169
Tablo 6.47 Alt Havza Bazında Ekosistem Su İhtiyaç Tahminleri (Projeksiyon)	170

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 5.1 HBV Model Yapısı (HBV-Light, User Manual, 2005)	6
Şekil 5.2 HBV Modelleme Yaklaşımı	8
Şekil 5.3 HBV Model Fiziği	8
Şekil 5.4 HBV Modeli – Toprak Modülü	10
Şekil 5.5 HBV Modeli Akış Dönüşümü Modülü (Killingtonveit, 1995).....	12
Şekil 5.6 Oluşan Akımın Düzgünleştirilmesi İçin Kullanılan Filtre	13
Şekil 5.7 Kar Erime Modelinin Şematik Gösterimi (HİDROTÜRK Kullanım Kılavuzu, 2019)	18
Şekil 5.8 Biga Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon	28
Şekil 5.9 Biga Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon.....	29
Şekil 5.10 Biga Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon.....	30
Şekil 5.11 Biga Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) – Validasyon	31
Şekil 5.12 Körfez Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon	33
Şekil 5.13 Körfez Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon.....	34
Şekil 5.14 Körfez Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon.....	35
Şekil 5.15 Körfez Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon	36
Şekil 5.16 Gönen Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon.....	38

Şekil 5.17 Gönen Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon	39
Şekil 5.18 Gönen Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon	40
Şekil 5.19 Gönen Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon	41
Şekil 5.20 İznik Gölü Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon.....	43
Şekil 5.21 İznik Gölü Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon	44
Şekil 5.22 İznik Gölü Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) -Kalibrasyon	45
Şekil 5.23 İznik Gölü Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon	46
Şekil 5.24 Ağva Deresi Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon.....	48
Şekil 5.25 Ağva Deresi Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon	49
Şekil 5.26 Ağva Deresi Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon	50
Şekil 5.27 Ağva Deresi Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon	51
Şekil 5.28 Batı İstanbul Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon.....	53
Şekil 5.29 Batı İstanbul Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon	54
Şekil 5.30 Batı İstanbul Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon	55

Şekil 5.31 Batı İstanbul Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon	56
Şekil 5.32 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon.....	58
Şekil 5.33 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon	59
Şekil 5.34 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon	60
Şekil 5.35 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon	61
Şekil 5.36 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Aylık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV-Light)-Kalibrasyon	63
Şekil 5.37 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Aylık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV-Light)-Validasyon	64
Şekil 5.38 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Aylık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT)-Kalibrasyon	65
Şekil 5.39 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Aylık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT)-Validasyon	66
Şekil 5.40 Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Kalibrasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması (HİDROTÜRK).....	68
Şekil 5.41 İklim Projeksiyonu Veri Gridlerinin Marmara Havzası Üzerindeki Dağılımı	69
Şekil 5.42 Biga Çayı Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri	71
Şekil 5.43 Körfez Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri..	73
Şekil 5.44 Gönen Çayı Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri	75
Şekil 5.45 İznik Gölü Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri	77

Şekil 5.46 Ağva Deresi Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri	79
Şekil 5.47 Batı İstanbul Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri	81
Şekil 5.48 Kuzey Kırklareli Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri	83
Şekil 5.49 Kuzey Çanakkale Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri	85
Şekil 5.50 Meriç Ergene Havzası ile Kuzey Marmara Havzası Arasındaki Su Aktarımlarının Havzadaki Yerleri (DSİ, 2018).....	98
Şekil 5.51 Marmara Havzası Su Bütçesi	101
Şekil 5.52 Biga Çayı Alt Havzası Su Bütçesi	105
Şekil 5.53 Körfez Alt Havzası Su Bütçesi	107
Şekil 5.54 Gönen Çayı Alt Havzası Su Bütçesi	109
Şekil 5.55 İznik Gölü Alt Havzası Su Bütçesi	111
Şekil 5.56 Ağva Deresi Alt Havzası Su Bütçesi	113
Şekil 5.57 Batı İstanbul Alt Havzası Su Bütçesi.....	115
Şekil 5.58 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Su Bütçesi.....	117
Şekil 5.59 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Su Bütçesi	119
Şekil 5.60 Biga Çayı Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi.....	121
Şekil 5.61 Körfez Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi	122
Şekil 5.62 Gönen Çayı Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi.....	123
Şekil 5.63 İznik Gölü Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi.....	124

Şekil 5.64 Ağva Deresi Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi.....	125
Şekil 5.65 Batı İstanbul Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi.....	126
Şekil 5.66 Kuzey Kırklareli Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi	127
Şekil 5.67 Kuzey Çanakkale Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi	128
Şekil 6.1 Marmara Havzası'nda Küçükbaş ve Büyükbaş Hayvan Sayılarının Oransal Dağılımı (TÜİK, 2020).....	143
Şekil 6.2 Alt Havza Bazında Ekosistem Su Miktarlarının Dağılımı	148
Şekil 6.3 Biga Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği	150
Şekil 6.4 Körfez Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği ...	151
Şekil 6.5 Gönen Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği	152
Şekil 6.6 İznik Gölü Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği	153
Şekil 6.7 Ağva Deresi Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği	154
Şekil 6.8 Batı İstanbul Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği	155
Şekil 6.9 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği	156
Şekil 6.10 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği	157

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AÇA	Avrupa Çevre Ajansı
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
BM	Birleşmiş Milletler
BTSB	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CERFACS	Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée
CNRM-CM5.1	Centre National de Recherches Météorologiques Circulation Model
CORINE	Çevresel Bilgilerin Koordinasyonu Projesi
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DSİ	Devlet Su İşleri
HADGEM2	Hadley Centre Global Environment Model version 2
HBV	Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning
HES	Hidroelektrik Santrali
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ITU	İyi Tarım Uygulamaları
İKTM	T.C. İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü
KTB	T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MPI-ESM-MR	Max-Planck-Institute Earth System Model - Medium Resolution
NDVI	Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü Değişim İndeksi
NSE, NASH	Nash - Sutcliffe Efficiency - Nash - Sutcliffe İndeksi
OSİB	T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı
PDSI	Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi
PNPI	Normalin Yüzdesi İndeksi
Q	Akım, Akış
RCP	Representative Concentration Pathways
RMSE	Root Mean Square Error - Ortalama Karekök Fark

SKGİ	Su Kalite Gözlem İstasyonu
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SPEI	Standart Yağış Buharlaştırma ve Terleme İndeksi
SPI	Standart Yağış İndeksi
SRI	Standart Akım İndeksi
SWAT	The Soil and Water Assessment Tool (Toprak ve Su Değerlendirme Aracı)
SYGM	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
SYİ	Standart Yağış İndisi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
WEI	Su Kullanım İndisi (Water Exploitation Index)
WEI+	Su Kullanım İndisi + (Water Exploitation Index +)
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
YAS	Yeraltı Suyu
YSKY	Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği
YÜS	Yerüstü Suyu

5. HİDROLOJİK MODEL

5.1. Yüzey Su Modelleri

Hidrolojik su bütçesi, bir havzaya giren, çıkan ve kaybedilen su miktarlarını belirli bir zaman dilimi içinde inceleyip hesaplayabilmektedir. Başka bir ifade ile hidrolojik su bütçe hesaplamalarında ana amaç havzaya giren ve havzayı terk eden su miktarlarını hesaplamaktır (Doğdu, 2011). Su bütçesi, bir ekosistemde belirli bir süre içinde sisteme giren su ile çıkan ve depolanan suyun denge durumunda bulunması şeklinde tanımlanabilir (Şener ve Soyaslan, 2007; Şorman, 2008).

Hidrolojik bütçenin ana elemanları yağış, buharlaşma-terleme, süzülme, yüzey akışı ve yeraltı suyu akımıdır. Bir havzada gerçekleşen hidrolojik çevrimin anlaşılması o havzada bir hidrolojik model oluşturularak su potansiyelinin belirlenmesiyle mümkündür.

Hidrolojik modelleme suyun doğadaki çevrimini etkileyen yağış, sızma, buharlaşma, yeraltı suyundan beslenme, toprak nemi, sediment taşınımı gibi birçok karmaşık olayın birbirleriyle ilişkisini kuran bir modelleme yaklaşımıdır.

Hidrolojik modellerin kullanım alanları arasında akarsu kalitesi, akarsu hidrodinamiği, göl/sulak alanlar/baraj göllerinin kalitesi, göl/sulak alanlar/baraj göllerinin hidrolojisi, akarsularda kirletici taşınımı, göl/sulak alanlar/baraj göllerinin kirletici taşınımı, yeraltı sularının hidrojeolojisi, taşkın yönetimi, kuraklık yönetimi ve havza yönetimi yer alır.

Hidrolojik modeller, havza işleyişinin anlaşılması, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi (karar verme) için kritik bilgilerin sağlanması ve sel/kuraklık gibi suya bağlı doğal tehlikelerin önlenmesi (tahmin) için kritik bilgiler sağlayan bir araçtır. Hidrolojik modeller, *birçok (benzer) havzanın* hidrolojik davranışını kontrol eden önemli hidrolojik süreçlerin matematiksel olarak birleştirilmesinden oluşan genel bir yapıdan oluşur. Geleneksel olarak, bu genel model yapısı daha sonra *seçilen bir havzanın* hidrolojik davranışının simülasyonu ve/veya tahmini için kullanılır. Bu amaç için seçilen havzayı temsil eden ve "parametreler" olarak adlandırılan matematiksel denklemlerdeki bilinmeyen katsayıların değerlerini kestirmek gereklidir (Yılmaz, 2010).

Hidrolojik modeller fiziksel süreçlerin model içindeki tanımına göre kavramsal veya fiziksel olarak ve hidrolojik süreçlerin mekânsal tanımına göre ise noktasal ve dağıtımlı modeller olarak sınıflandırılabilir. Günümüzde kullanılan çoğu hidrolojik model kavramsal tiptedir. Bu

modeller bir havzadaki karmaşık, mekânsal olarak dağılmış ve oldukça birbiriyle ilişkili su, enerji ve bitki örtüsü süreçlerini, ayrıntılı fizik kuralları ve heterojen yapının tam olarak işlenmesine gerek olmadan nispeten basit matematiksel denklemlerle kavramsallaştırıp genelleştiren yapıdadır. Kavramsal modellere örnek olarak SAC-SMA (SACramento Soil Moisture Accounting) model (Burnash, 1973) ve HBV model (Hydrologiska Byråns Vattenbalansmodell; Bergstrom, 1973) verilebilir.

Hidrolojik süreçlerin noktasallaştırılması nedeniyle, kavramsal modellerin kurulması için tahmin edilmesi gereken parametre sayısı yalnızca birkaç on tanedir. Bu modellerdeki parametreler, arzulanan ölçekte sahada doğrudan ölçülemez. Bunun yerine, kavramsal tip modelleri kullanırken, yalnızca olası parametre değer aralıkları önceden belirlenebilir (model yapısı ve havza hidrolojik süreçlerine bağlı olarak). Daha sonra parametre kalibrasyonu yapılır. Kalibrasyon, modelin temsil etmesi amaçlanan (hedef) havza hidrolojik tepkisinin (örneğin nehir akışı) tarihsel kaydını olabildiğince yakından ve tutarlı olarak simüle edebilen parametre grubunun (önceden belirlenmiş aralıklardan) seçilmesi için kullanılır. Basitliklerine rağmen, birçok kavramsal modelin havza hidrolojik süreçlerini göstermede oldukça başarılı olduğu kanıtlanmıştır (Smith vd., 2012).

Mekânsal olarak dağıtımlı fiziksel temelli hidrolojik modeller, kütle ve momentumun (ve enerjinin) korunmasına ilişkin fiziksel ilkeleri açıklayan bir dizi kısmi diferansiyel denklem içerir. Fiziksel tabanlı modellere örnek olarak MIKE-SHE (Systeme Hydrologique European) (DHI, 2004) verilebilir. Mekânsal olarak dağıtımlı fiziksel temelli yapı bu modellere iki potansiyel güç sağlar: i) akış üreten mekanizmaların mekânsal değişkenliğini hesaba katabilme ve ii) fiziksel veya kavramsal ilişkiler kurarak model parametre değerlerini doğrudan gözlemlenebilir mekânsal-zamansal veriden (örneğin, jeoloji, topoğrafya, toprak, arazi örtüsü, vb.) çıkarabilme kabiliyeti (Yılmaz, 2010). Ancak, mekânsal olarak dağıtımlı hidrolojik modeller birçok (birkaç bin) hücre içerir ve her bir hücre için birkaç parametre ve değişken tanımlanması gereklidir. Bu nedenle alansal dağıtımlı bir modeldeki parametre ve değişkenlerin sayısı, prensip olarak, aynı alanın kavramsal modeli için gerekli olandan çok daha fazladır. Bu durum, parametre tanımı, kalibrasyon ve doğrulama işlemleri bakımından kavramsal ve dağıtımlı modeller için farklı gerekliliklere sebep olmaktadır.

Alansal dağıtımlı fiziksel model modellerinin potansiyeline ilişkin olarak teorik düzeyde bir takım fikir birliğine varılmış olmasına rağmen, yaygın olarak kullanılan kavramsal modellere kıyasla gerçek performansında önemli bir gelişme olup olmadığı konusunda farklı görüşler

mevcuttur. (Beven, 1989) ölçek problemlerinden (model ölçeği ve gözlem yapılan ölçek) kaynaklanan teorik değerlendirmelerden yola çıkarak "şimdiki nesil dağıtımlı fiziksel tabanlı modellerin aslında kavramsal modeller" olduğunu ve ayrıca mevcut fiziksel tabanlı modellerin hepsinin aşırı parametreleştirme (güvenli bir şekilde değeri kestirilemeyecek sayıda) problemi olduğunu iddia etmektedir. (Grayson, 1992) dağıtımlı modellerin bilgi üretimim ve teorik açıdan potansiyelini vurgularken, aynı zamanda parametrelerin arazi ölçümlerinden elde edilmesi ve yeterli noktada hidrolojik değişken gözlemi ile ilgili problemlerden dolayı model kalibrasyon ve validasyonunda belirsizlikler olduğunu vurgulamaktadır.

(Rosso, 1994) alansal dağıtımlı modellerin kalibrasyonu ve doğrulanması ile ilgili bazı problemleri iyi bir şekilde özetlemektedir "*pratikte, parametre değerlerinin heterojenliği, ölçümler ile model hücreleri arasındaki ölçek farklılıkları ve deneysel kısıtlamalar nedeniyle parametre değerlerinin belirlenmesi çok zordur*" şeklinde özetlemektedir. Alansal dağıtımlı hidrolojik modellerde aşırı parametreleştirmenin derecesini azaltmak için birkaç metodoloji önerilmektedir (Pokhrel vd., 2012).

Özet olarak, hidrolojik model kodunun ve yapısının seçimi, modelleme amacına, mevcut kaynaklara (örneğin bilgisayar gücü) ve zamana bağlı olmasının yanı sıra, hidrolojik modellerin uygulanması, kalibrasyonu ve validasyonu için gerekli olan veri setlerinin mevcut olup olmadığına da bağlıdır. Hidrolojik model çıktılarının güvenilirliği, model kalibrasyon sürecinde kullanılmayan bağımsız verileri kullanan titiz değerlendirme yöntemleri kullanılarak test edilmelidir.

Bu çalışmada hidrolojik modelleme için iki ayrı hidrolojik model kullanılmıştır: 1) İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü (SMHI) tarafından geliştirilen HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) modeli, 2) ABD Tarım Bakanlığı Tarımsal Araştırma Servisi (USDA-ARS) ve Texas A&M Üniversitesi tarafından geliştirilen SWAT (The Soil Water and Assessment Tool) modeli. Bu modellerle ilgili detaylı bilgiler aşağıda ayrı ayrı verilmiştir.

5.1.1. Kullanılan Modellerin Özellikleri ve Seçilme Gerekçeleri

5.1.1.1. HBV-Light Hidrolojik Model

HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) modeli İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü'nde (SMHI) Sten Bergström tarafından geliştirilmiştir (Bergström, 1976; 1990; 1992). Model, akım simülasyonu için kavramsal bir model olup yarı dağıtımlıdır yani havzayı alt havzalara, yükseltiye ve bitki örtüsü bölgelerine ayırmaya izin vermektedir. HBV'nin

anlaması, öğrenmesi ve uygulaması kolaydır. Hem İsveç'te hem de başka birçok ülkede birçok havzaya başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Model nispeten az sayıda girdi verisine ihtiyaç duymaktadır. Modelin kullanım amaçları arasında şunlar sayılabilir (HBV-Light, User Manual, 2005):

- Akım serilerinin uzatılması (ya da eksik verilerin giderilmesi)
- Veri kalite kontrolü
- Su dengesi çalışmaları
- Taşkın tahmini (taşkın uyarısı ve hazne işletimi)
- Baraj güvenliği için tasarım taşkının hesaplanması
- Değişimlerin havzadaki etkilerinin araştırılması
- Ölçüm olmayan havzalarda akımın modellenmesi
- İklim değişikliğinin etkilerinin simülasyonu

Marmara Havzası Kuraklık Yönetimi Planı projesi kapsamında hidrolojik modelleme çalışmaları için ilk olarak HBV-Light model sürümü kullanılmıştır. Söz konusu model İdare tarafından hazırlanan proje şartnamesinde belirtilen amaçlar doğrultusunda istenilen çıktıları sağlayabilecek düzeyde detaylı bir yapıya sahip olup modelleme çalışmaları için yeterli veriler mevcuttur.

5.1.1.1.1. HBV Modelinde Kullanılan Yöntemler

Model, girdi olarak günlük yağış, sıcaklık ve potansiyel buharlaşmayı kullanarak günlük akım değerlerinin simülasyonunu gerçekleştirmektedir. Yağış, sıcaklığın bir eşik değerinin (TT [°C]) üstünde veya altında olmasına bağlı olarak kar veya yağmur olarak simüle edilir. Kar olarak simüle edilen tüm yağışlar, yani sıcaklık TT'nin altına düştüğünde düşen yağış, bir kar yağışı düzeltme faktörü (SFCF [-]) ile çarpılır. Kar erimesi (melt) derece-gün yöntemiyle hesaplanır (Denklem 5.1).

$$melt = CFMAX (T(t) - TT) \quad (5.1)$$

Erimiş su ve yağış, karın su eşdeğerinin belirli bir kısmını (CWH [-]) geçene kadar kar yığını içinde tutulur. Kar yığınının içindeki sıvı su Denklem 5.2'de verildiği gibi yeniden donar (refreezing).

$$refreezing = CFR \cdot CFMAX(TT - T(t)) \quad (5.2)$$

Yağış ve kar erimesi (P), toprak kutusunun su içeriği (SM [mm]) ile en büyük değeri (FC [mm]) arasındaki ilişkiye bağlı olarak, toprak kutusunu dolduran su ve yeraltı suyu beslenimi (recharge) olarak ikiye ayrılır (Denklem 5.3).

$$\frac{recharge}{P(t)} = \left(\frac{SM(t)}{FC} \right)^{BETA} \quad (5.3)$$

Toprak kutusundan gerçek buharlaşma (E_a), SM/FC değeri LP'nin [-] üzerindeyse potansiyel buharlaşmaya (E_{pot}) eşittir, SM/FC değeri LP'nin altında olduğunda doğrusal bir indirgeme kullanılır (Denklem 5.4).

$$E_{act} = E_{pot} \cdot \min \left(\frac{SM(t)}{FC \cdot LP}, 1 \right) \quad (5.4)$$

Yeraltı suyu beslenimi, üst yeraltı suyu kutusuna (SUZ [mm]) eklenir. PERC [mm/gün] üstten alt yeraltı suyu kutusuna (SLZ [mm]) maksimum sızma oranını tanımlar. Yeraltı suyu kutularından gelen akış, SUZ'nun bir eşik değerinin UZL [mm] üzerinde olup olmamasına bağlı olarak iki veya üç lineer çıkış denkleminin toplamı olarak hesaplanır (Denklem 5.5).

$$Q_{GW}(t) = K_2 \cdot SLZ + K_1 \cdot SUZ + K_o \cdot \max(SUZ - UZL, 0) \quad (5.5)$$

Bu akış son olarak MAXBAS (Denklem 5.6 ve 5.7) parametresi tarafından tanımlanan üçgensel bir ağırlık fonksiyonu ile simüle edilmiş akış [mm/gün] verecek şekilde dönüştürülür.

$$Q_{sim}(t) = \sum_{i=1}^{MAXBAS} c(i) \cdot Q_{GW}(t - i + 1) \quad (5.6)$$

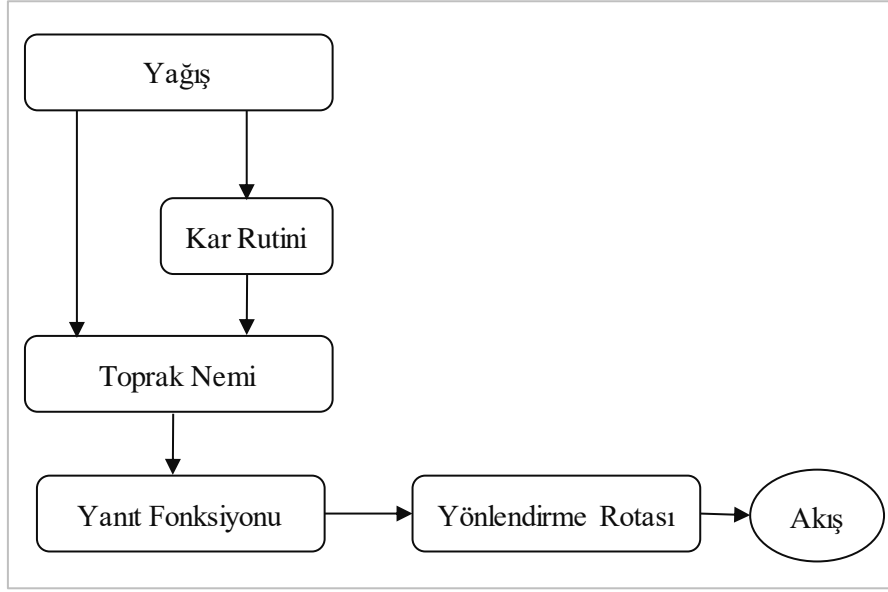
$$c(i) = \int_{i-1}^1 \left(\frac{2}{MAXBAS} - \left| u - \frac{MAXBAS}{2} \right| \frac{4}{MAXBAS^2} \right) du \quad (5.7)$$

Farklı yükselti bölgeleri kullanılıyorsa, yağış ve yükseklikle birlikte sıcaklık değişiklikleri, PCALT [%/100 m] ve TCALT [°C/100 m] (Denklem 5.8 ve 5.9) olmak üzere iki parametre kullanılarak hesaplanır.

$$P(h) = P_o \left(1 + \frac{PCALT(h-h_o)}{10000} \right) \quad (5.8)$$

$$T(h) = T_o - \frac{TCALT(h-h_o)}{100} \quad (5.9)$$

HBV hidrolojik modelin basit anlamda genel yapısını gösteren şematik diyagram Şekil 5.1 üzerinde verilmiştir.



Şekil 5.1 HBV Model Yapısı (HBV-Light, User Manual, 2005)

HBV modelinin genel su dengesi şu şekilde verilebilir:

$$P - E - Q = \frac{d}{dt} (SP + SM + UZ + LZ + VL) \quad (5.10)$$

Burada P yağış, E gerçek buharlaşma-terleme, Q yüzeysel akış, SP kar örtüsü, SM toprak nemi, UZ yeraltı suyu üst bölgesi, LZ yeraltısuyu alt bölgesi ve VL göl hacmidir.

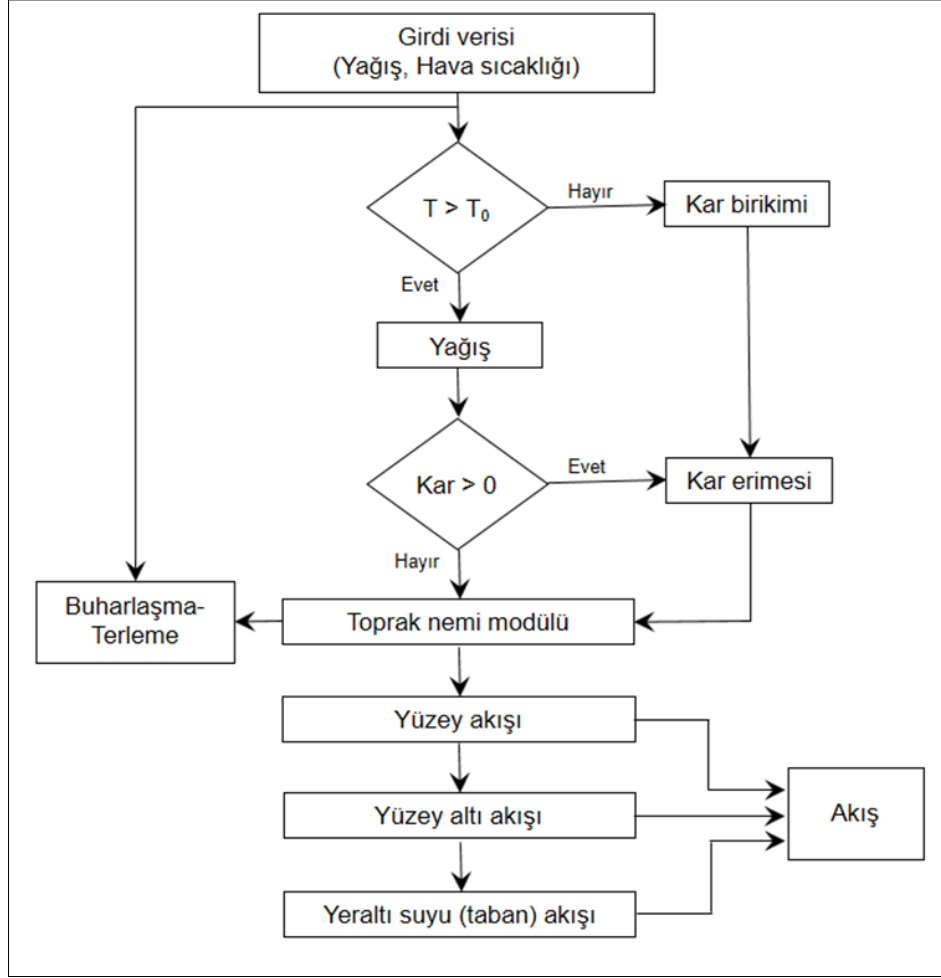
HBV modelinde modüllerin gerektirdiği girdi verileri ve çıktıları Tablo 5.1 üzerinde özetlenmiştir. Tabloda listelenmiş girdi verilerinden sadece yağış (günlük toplam) ve hava sıcaklığı (günlük ortalama) verileri (zaman serisi) gerçek gözlem verileridir. Kar modülü haricindeki diğer tüm modüllerde girdi olarak gözüken veriler model çıktılarıdır (yani HBV modeli tarafından hesaplanmış değerlerdir).

Tablo 5.1 HBV Model Fiziğini Oluşturan Modüller

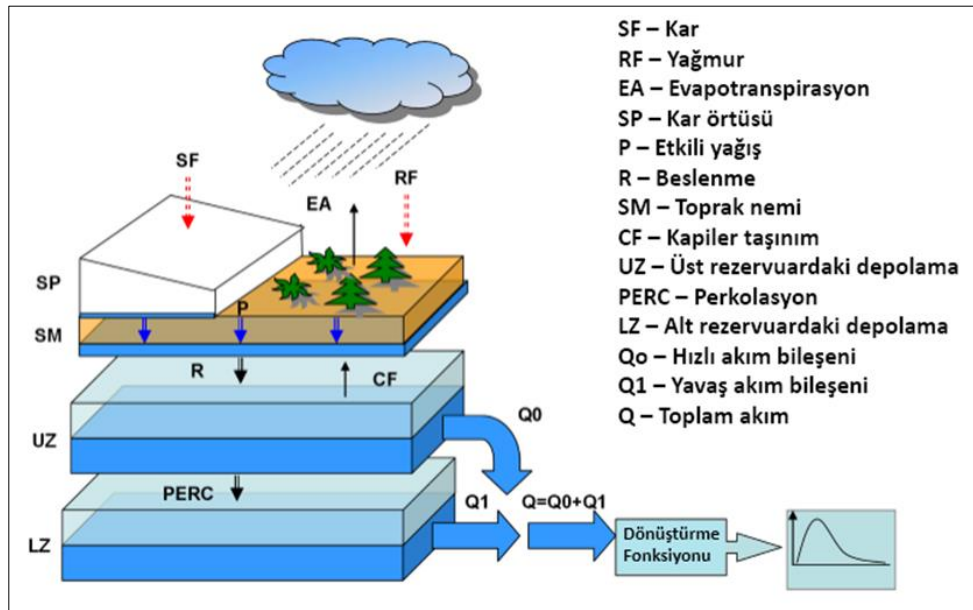
Modül	Girdi Verisi	Model Çıktısı
Kar	Yağış, Sıcaklık	Kar yığını, Kar erimesi
Toprak	Potansiyel evapotranspirasyon, Yağış, Kar erimesi	Gerçek buharlaşma, Toprak nemi, Yeraltı suyu beslemesi
Dönüştürme Fonksiyonu	Yeraltı suyu beslemesi, Potansiyel buharlaşma	Yüzeysel akış, Yeraltı suyu seviyesi
Öteleme Modülü	Yüzeysel akış	Havza çıkış noktasındaki akım

Potansiyel buharlaşma-terleme Penman-Monteith veya Thornthwaite formülü gibi literatürde sıklıkla kullanılan formüller (ya da genellikle uzun dönemli aylık ortalama değer ölçümleri) kullanılarak aylık olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, potansiyel buharlaşma-terleme değerleri Thornthwaite formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

HBV modelinin benimsediği modelleme yaklaşımı Şekil 5.2 üzerinde gösterilmiştir. Bu yaklaşıma göre HBV modeli kar, toprak, dönüştürme fonksiyonu ve basit bir öteleme modüllerinden oluşur ve bu modüller sayesinde kar birikimi, kar erimesi, evapotranspirasyon, toprak nemi, yer altı sularındaki depolamayı ve havzadaki akışı hesaplar. HBV modelinin dayandığı tank tipi hidrolojik modelleme fiziği ise Şekil 5.3 üzerinde sunulmuştur.



Şekil 5.2 HBV Modelleme Yaklaşımı



Şekil 5.3 HBV Model Fiziki

HBV modeli birçok parametreye sahiptir. Bu parametrelerin değerleri kalibrasyon yapılarak hesaplanır. Modelde ayrıca havzanın karakteristiklerini ve iklimini tanımlayan parametreler de vardır. Bu parametrelerin değerleri sabittir ve kalibrasyon yapılırken değişmez. Alt havzaların kullanımı tüm havza için çok fazla sayıda parametre değerinin olmasının önünü açar. Ancak çoğu durumda bu parametrelerin değerleri alt havzalar arasında çok az değişkenlik gösterdiği için alt havzalar ve parametre sayısı hususunun dikkatlice irdelenmesinde fayda vardır. HBV modelini oluşturan modüller aşağıda ayrı ayrı açıklanmıştır.

5.1.1.1.1. Kar Modülü

Yağışın yağmur olarak mı kar olarak mı havza yüzeyine ineceğine karar verilip kar örtüsünün ve kar erimelerinin hesaplanıp işlendiği modüldür. Havzanın yüksekliğine ve basıncına bağlı olarak değişen suyun donma noktası (T_o) eşik değerine göre yağışın hangi halde düşeceğine karar verilir. Sıcaklık bu değer altındaysa ($T < T_o$) yağış kar, üzerindeyse ($T > T_o$) yağış yağmur olarak ele alınıp işlenir.

Yağış kar şeklinde ise ($T < T_o$) yağış miktarı (P) kar yağışı düzeltme faktörü SCF parametresi (SnowFall Correction Factor) ile çarpılıp yerdeki kar örtüsüne (SP) eklenir (Denklem 5.11).

$$SP = SP + (SCF \cdot P) \quad (5.11)$$

Yağış yağmur şeklinde ise ($T > T_o$) kar örtüsündeki karların erimesinin (M , mm/gün) hesaplanabilmesi amacıyla gün sıcaklığı denklemi kullanılır (Denklem 5.12). $CFMAX$ (gün faktörü katsayısı, mm/°C/gün) kar erimesini hesaplanmasındaki belirleyici parametre olup genellikle 4 civarında bir değer almaktadır. Bu değer ormanlık alanlarda açık alanlarla karşılaştırıldığında daha düşüktür.

$$M = CFMAX \cdot (T - T_o) \quad (5.12)$$

Su içeriği (WC) eriyen karlar ve yağmurdan oluşur. Yerdeki karın bir miktar su tutma kapasitesi vardır. Bu kapasite CWH parametresi (genellikle 0,1 değerini alır) yardımıyla hesaplanır. Toplam su içeriğinden bu miktar çıkarılarak likit su (yani toprağa ulaşan su) hesaplanır.

$$Insoil = WC - (CWH \cdot SP) \quad (5.13)$$

Hava sıcaklığının eşik değer altında olduğu ve likit suyun olduğu durumlarda likit suyun bir kısmı buza dönüşür. Likit suyun donma parametresi (CFR , ~0.05) parametresi kullanılarak bir bölgedeki likit suyun başka bir bölgeden geçerken o bölgenin hava sıcaklığı eşik değerine göre likit sudaki azalma miktarı hesaplanabilir.

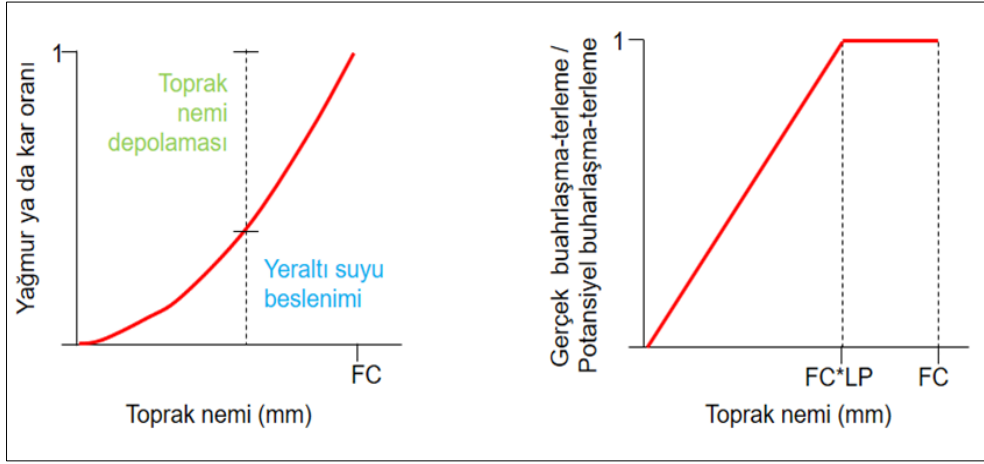
$$SP = SP + CFR \cdot CFMAX \cdot (T_0 - T) \quad (5.14)$$

$$WC = WC - CFR \cdot CFMAX \cdot (T_0 - T) \quad (5.15)$$

Hesaplamalar her yükseklik ve bitki örtüsü alanı için ayrı ayrı yapılır. Kar modülünün çıktıları kar yığını (mm, su eşdeğeri), kar erimesi (mm/gün) ve likit su (mm) parametrelerini içerir.

5.1.1.1.2. Toprak Modülü

Bu modül yağışı (yağmur ya da kar şeklinde olabilir) girdi verisi olarak kullanarak yağışın toprak yüzeyine geçme oranını hesaplar. Diğer bir deyişle toprak modülü buharlaşma-terlemeyi ve toprak nemi değişimini dikkate alarak yüzey akımını oluşturmaktadır. Toprak modülünün dayalı olduğu fiziksel yaklaşım Şekil 5.4 üzerinde özetlenmiştir.



Şekil 5.4 HBV Modeli – Toprak Modülü

Şekil 5.4 üzerinde sol tarafta gösterilen grafik Denklem 5.16 ile verilen fonksiyon ile tanımlanmıştır.

$$\frac{\text{Yeraltı suyu beslenimi}}{P} = \left(\frac{SM}{FC}\right)^\beta \quad (5.16)$$

Burada;

SM: toprak nemi (mm), FC: toprağın tarla kapasitesi (maksimum toprak nemi kapasitesi) (mm), LP: buharlaşma-terleme değerindeki azalmayı tanımlayan faktör (buharlaşmanın potansiyel oranı üzerinde olma oranı toprak nemi durumu), β : akım oluşumunu toprak nemi durumuna bağlayan şekil parametresi (β parametresinin 1 olduğu durumlarda yukarıdaki denklem

doğrusal bir denklemdir, ancak bu parametre genelde 2-3 aralığında değer alarak denklemi oldukça doğrusal olmayan bir denklem haline getirir.)

β , LP ve FC parametreleri model kalibrasyonu ile belirlenmek zorundadır çünkü bu parametreler kesinlikle haritalar ya da arazi çalışmaları sayesinde bulunulamamaktadır.

Verilen denkleme göre toprağın kuru/nemli olmasıyla ilgili 3 farklı durum değerlendirmesinde bulunulabilir:

- Toprak kuru ise (düşük SM/FC değeri) yeraltı suyu beslenimi azdır çünkü etkili yağışın sadece küçük bir kısmı toprak nemini arttırmaktadır (yağışın büyük bir kısmı yüksek buharlaşma-terleme olmasından ötürü kaybolmaktadır).
- Toprak nemi tarla kapasitesi değerinde ise (SM/FC değerinin 1 olması) daha fazla yağış toprak nemi olarak depolanamaz, yağış direkt olarak yüzey akışına dönüşür. Bu durum ortalama yağış olayları sonucunda bile yüksek akışlara sebep olabilir.
- Toprak nemli ise (yüksek SM/FC değeri) etkili yağışın büyük bir kısmı üst tabakadaki toprak nemi depolamasını arttırmak üzere bulunur.

Modeldeki gerçek buharlaşma-terleme, potansiyel buharlaşma-terlemenin ve toprak nemi değişiminin bir fonksiyonudur. Toprak nemi eşik değeri geçiyorsa gerçek buharlaşma-terleme potansiyel buharlaşma-terlemeye eşittir. Toprak nemi eşik değerinin altında ise gerçek buharlaşma-terleme depolamadaki değişim ile doğrusal olarak azalmaktadır. Modeldeki buharlaşma-terleme sadece havzanın kar olmayan alanlarında hesaplanır.

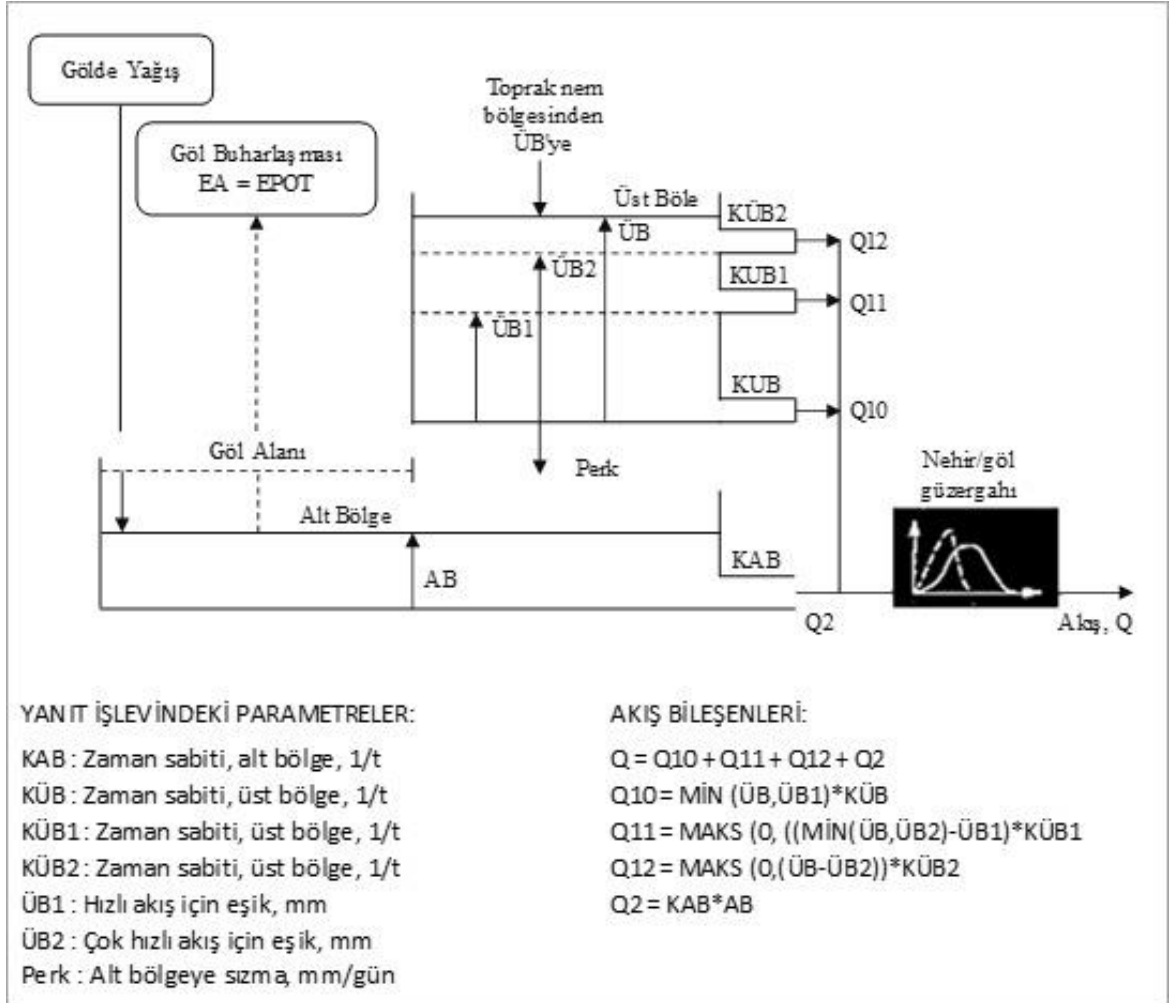
5.1.1.1.3. Dönüştürme Fonksiyonları

Toprak modülü çıktıları olan toprak nemi ve yeraltı suyu beslenim sularının akışa katılmasındaki gecikme sürelerinin hesabı bu modülde hesaplanır. Akımın dönüştürülmesi topraktaki üst (sığ yeraltı suyu ya da hızlı akış) ve alt (derin yeraltı suyu ya da taban akışı) rezervuarları kapsar. Bu iki rezervuar akışın zaman ölçeğinde gecikmesine (ötelenmesine) yol açar. Bu iki tabaka sabit bir süzülme oranı parametresi (PERC) sayesinde doğrudan birbirine bağlanmaktadır.

Üst rezervuar (doğrusal olmayan rezervuar) kavramsal olarak hızlı akış bileşenlerini (hem yüzey akışı hem de yüzey alt suyu akışı olarak sızan yeraltı suyu akışı) temsil eder. Alt rezervuar (doğrusal rezervuar) ise kavramsal olarak havzadaki yeraltı suyu (taban) akışına katkıda bulunan yeraltı suyu ile göl depolamalarını temsil eder. Süzülme hızı, gerileme (recession) parametresi (KLZ) tarafından kontrol edilir. Üst rezervuardan süzülme (perkolasyon) ile gelen

su ve açık yüzeydeki su alanlarına (göller ve nehirler) düşen yağış alt rezervuara girdi oluşturur. Alt rezervuar yeraltı suyu akışı ve açık yüzey su alanları (göller ve nehirler) üzerinde gerçekleşen buharlaşma ile azalır.

HBV modeli akış dönüşümü modülünün şematik olarak özetlenmiş kavramsal fiziği Şekil 5.5 üzerinde sunulmuştur.



Şekil 5.5 HBV Modeli Akış Dönüşümü Modülü (Killingtveit, 1995)

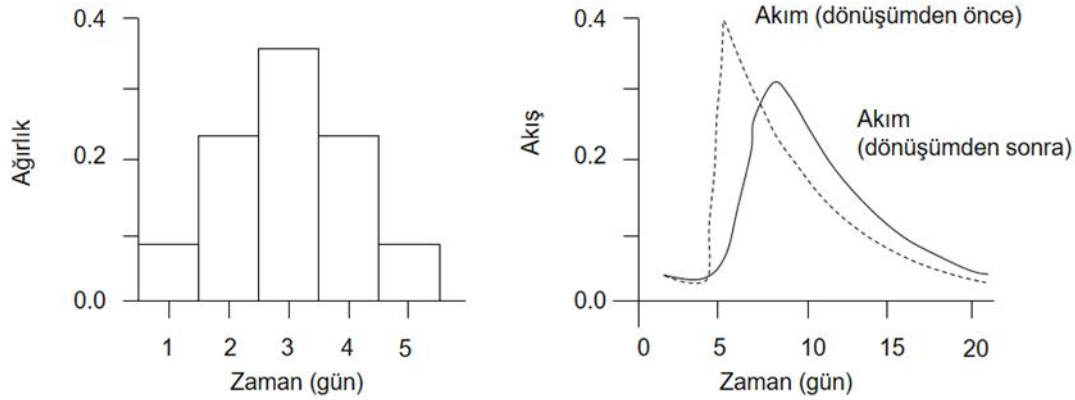
5.1.1.1.4. Öteleme Modülü

Üst ve alt rezervuarlardan gelen toplam akım Muskingum yöntemi ya da akımı düzgünleştirmek için basit bir üçgen ağırlık fonksiyonu kullanılarak ayrı bir nehir ötelemesi modülü aracılığıyla ötelenebilir. Bu fonksiyonun etkisi birim hidrograf kullanımına çok benzerdir.

Toprak kutusundaki akış miktarları toplanarak parametresi MAXBAS olarak tanımlanan bir üçgen ağırlık fonksiyonu ile simülasyon akışı elde edilir (Şekil 5.6):

$$Q_{HBV} = \sum_i^{MAXBAS} c(i) \cdot Q_{total(t-i+1)} \quad (5.17)$$

$$c(i) = \int_{i-1}^1 \left(\frac{2}{MAXBAS} - \left| u - \frac{MAXBAS}{2} \right| \frac{4}{MAXBAS^2} \right) du \quad (5.18)$$



Şekil 5.6 Oluşan Akımın Düzgünleştirilmesi İçin Kullanılan Filtre

5.1.1.2. SWAT Hidrolojik Model

SWAT modeli, arazi yönetimi uygulamalarının uzun süreler boyunca değişen toprak, arazi kullanımı ve yönetim koşullarına sahip büyük karmaşık havzalarda su, sediment ve tarımsal kimyasal verimler üzerindeki etkisini tahmin etmek için ABD Tarım Bakanlığı (USDA) Tarımsal Araştırma Servisi (ARS) ve Texas A&M Üniversitesi tarafından geliştirilmiş sürekli, fiziksel tabanlı ve yarı-dağılımlı bir modeldir (Arnold vd., 2012; Neitsch vd., 2011). Bu modelle, bir havza ilk olarak çeşitli alt havzalara bölünür ve daha sonra bu alt havzalar toprak türleri, arazi kullanım türleri ve eğim sınıflarına göre hidrolojik müdahale birimlerine (Hydrologic Response Units - HRUs) bölünmektedir. HRU'lar alt havza alanının yüzdelerini temsil eder ve bir SWAT simülasyonu içinde mekânsal olarak tanımlanmaz. Modeldeki hidrolojik işlemler, infiltrasyon, buharlaşma, bitki su tüketimi (plant uptake), yanal akışlar ve alt katmanlara süzülmeden oluşmaktadır. Bir alt havzadaki her bir HRU'dan gelen akış, sediment, besin ve pestisit yüklemeleri toplanır ve ortaya çıkan yükler kanallar, göletler ve / veya rezervuarlar aracılığıyla su havzasının çıkışına yönlendirilmektedir.

Yağış, evapotranspirasyon, yüzey akışı, yanal akış ve yeraltı suyu bir havza için en önemli su dengesi bileşenleridir. SWAT modelinde hidrolojik çevrim hesaplamaları su dengesi denkleminde (Denklemler 5.19) dayanmaktadır.

$$SW_t = SW_0 + \Sigma(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (5.19)$$

Bu denklemde yer alan;

SW_t : t anındaki toprağın su içeriği (mm)

SW_0 : Başlangıçtaki toprağın su içeriği (mm), t saat (gün)

R_{day} : Yağış miktarı (mm)

Q_{surf} : Yüzeysel akışa geçen su miktarı (mm)

E_a : Evapotranspirasyon miktarı (mm)

W_{seep} : Toprak profilinden vadoz bölgesine sızan su miktarı (mm)

Q_{gw} : Geri dönüş akış su miktarı (mm) olarak tanımlanmaktadır.

Çalışma alanında modelin çeşitli mahsuller ve topraklar için evapotranspirasyondaki farklılıkları yansıtması için su havzasının alt havzalara bölünmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alt havzalar daha sonra daha küçük parçalara (HRU) ayrılır. Akış her bir HRU için ayrı ayrı tahmin edilir ve su havzası için toplam yüzey akışını elde etmek üzere yönlendirilir. Bu işlem hem su dengesinin çok daha iyi bir fiziksel tanımını verir hem de doğruluğu arttırmaktadır.

5.1.1.3. HİDROTÜRK Hidrolojik Modeli

HİDROTÜRK hidrolojik modeli klasik alt havza-hidrolojik işlem birimi 1 (HİB) ayrıklaştırmasına dayalı olarak çalışmaktadır. Modelde kullanılan Hidrolojik Modül'de temel hesap elemanı HİB'dir. Hidrolojik işlem birimleri alt havza ve havza bazında yağış, sızma, evapotranspirasyon, perkolasyon ve yüzeysel akışı hesaplarken perkolasyon çıktısı hidrolojik işlem birimlerinden bağımsız tanımlanabilen akiferlere yönlendirilerek havza çıkışındaki toplam akış hesaplanabilmektedir. Geliştirilen model HİB bazında ortalanmış (lumped) özellik göstermekte olup alansal değişkenleri ve havzadaki alansal heterojenliği çok fazla sayıda hesap elemanı kullanarak dikkate almaktadır. Bu itibarla geliştirilen Hidrolojik Modül'ü 'yarı dağıtık' (semi-distributed) bir model olarak sınıflandırmak mümkündür (HİDROTÜRK Kullanım Kılavuzu, 2019).

Hidrolojik Modül'ün çalıştırılabilmesi için gerekli temel veriler aşağıda sıralanmaktadır:

- Meteoroloji verileri (Yağış, Sıcaklık, Rüzgâr Hızı, Solar Radyasyon)
- Sayısal yükselti modeli
- Arazi kullanım haritası
- Toprak verileri (Toprak Derinliği, Solma Noktası, Arazi Kapasitesi)
- Akarsu su kütlelerine ilişkin veriler (En kesti, Anahtar Eğrileri, Eğim)
- Durgun su kütlelerine ilişkin veriler (Kot-Alan-Hacim Değerleri, Savak Katsayıları)
- Su çekimi ve deşarj verileri
- Akiflere ilişkin veriler

5.1.1.3.1. HİDROTÜRK Modelinde Kullanılan Yöntemler

HİDROTÜRK hidrolojik modelinde yağış-akış ilişkisi günlük ve saatlik zaman adımı şeklinde yapılmaktadır. HİDROTÜRK modelinde Eğri Numarası Yöntemi ile yağış-akış hesabı yapılmaktadır. SCS (Soil Conservation Service) eğri numarası yönteminde hesaplanan yüzeysel akış net su girdisinden çıkarılarak sızan su miktarı hesaplanırken, Green-Ampt yönteminde zemin özelliklerine göre hesaplanan sızma değeri belirlendikten sonra yüzeysel akış değerleri hesaplanmaktadır (HİDROTÜRK Kullanım Kılavuzu, 2019).

SCS eğri numarası (CN) yöntemin temel algoritması ve denklemleri aşağıda verilmektedir:

Eğer (Yağış > 0,2·S) ise

$$\text{Yüzeysel Akış} = (\text{Yağış} - 0,2 \cdot S)^2 / (\text{Yağış} + 0,8 \cdot S) \quad (5.20)$$

Değilse

$$\text{Yüzeysel Akış} = 0$$

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{\text{CN}} - 10 \right) \quad (5.21)$$

Burada S gecikme faktörü (mm/gün), CN ise yüzeyin eğri numarasını ifade etmektedir.

HİDROTÜRK Modeli'nde Hidroloji Modülü ile bitki kaplı yüzeyler ve topraktan gerçekleşen evapotranspirasyon kayıpları aşağıda verilen dört farklı referans evapotranspirasyon yöntemiyle hesaplanmaktadır (HİDROTÜRK Kullanım Kılavuzu, 2019).

- FAO 56 Penman-Monteith
- Priestley-Taylor
- Hargreaves
- Blaney-Criddle

Burada Priestley-Taylor sadece radyasyon esaslı iken Hargreaves ve Blaney Criddle yöntemleri ise sıcaklık esaslıdır.

Bitki katsayıları (k_c) için Hidroloji Modülü'nde bir veri tabanı oluşturularak yapılacak hesaplamalarda doğrudan kullanılabilir (Tablo 5.2).

**Tablo 5.2 Sıcak İklimlerdeki Bitkiler İçin Zamana Bağlı Ortalama k_c Değerleri
(HİDROTÜRK Kullanım Kılavuzu, 2019)**

Bitki Türü	Tekil k_c Değeri		
	k_c başlangıç	k_c orta	k_c son
Küçük sebzeler	0,7	1,05	0,95
Sebzeler-kökler	0,5	1,10	0,95
Sebzeler-baklagiller	0,4	1,15	0,55
Sebzeler-patlıcangiller	0,4	1,15	0,80
Sebzeler-kabakgiller	0,4	1,00	0,80
Lifli mahsuller	0,35	1,15	0,70
Yağ bitkileri	0,35	1,15	0,30
Hububat	0,3	1,15	0,40
Yem	0,6	1,15	1,10
Şeker	0,4	1,25	0,75
Üzüm vb. Küçük yumuşak meyveler	0,3	1,00	0,50
Meyve ağaçları	0,6	0,95	0,75
Çıplak/açık toprak			
Islak	1	1,20	1,20
Kuru	0,15	0,15	0,15
Sulak alan	0,6	1,20	0,60
Açık sular			
< 2 m derinlikte ya da yarı nemli veya tropikal iklimde	-	1,05	1,05
> 5 m derinlikte, açık	-	0,75	1,25

HİDROTÜRK Modeli Hidroloji Modülü kapsamında kar erimesi Derece-Gün Yöntemi ve Basit Yöntem olmak üzere iki farklı yöntem ile hesaplanmaktadır.

▪ **Derece-Gün Yöntemi**

Kar erimesine neden olan etkenlerin başında normal koşullarda sıcaklık gelmektedir. Bu sebeple, uzun yıllardır kar ve buzul erimesi en basit haliyle sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır (Denklem 5.22). Bu durum literatürde Derece-Gün Yöntemi olarak bilinmektedir (Kuusisto, 1980; WMO, 1986).

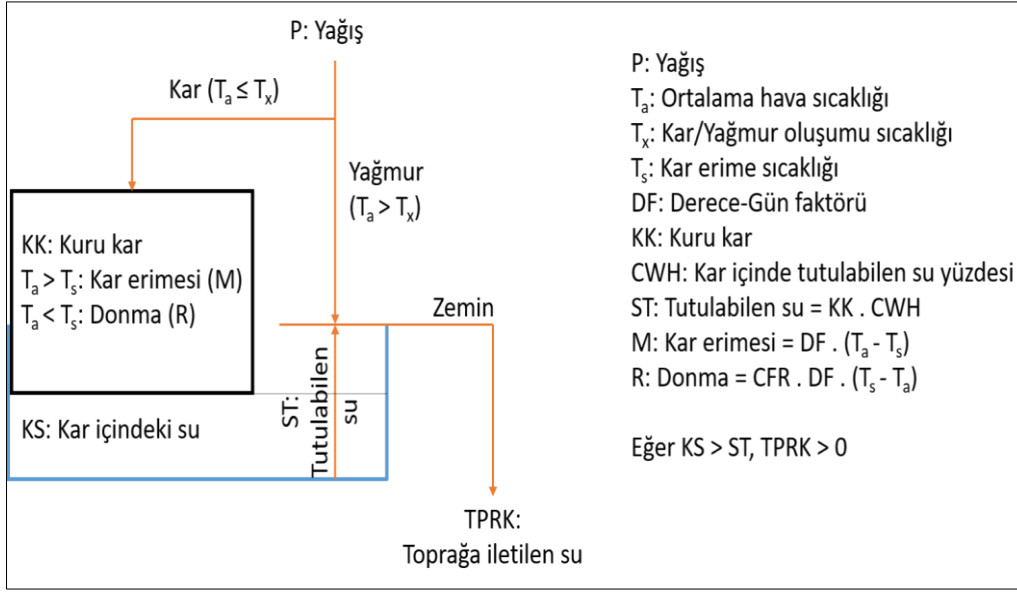
$$\begin{aligned} M &= DF \cdot (T_a - T_s) & T_a > T_s \\ M &= 0 & T_a = T_s \\ R &= CFR \cdot DF \cdot (T_s - T_a) & T_a < T_s \end{aligned} \quad (5.22)$$

Denklem 5.22' de kullanılan parametrelerin tanımları Tablo 5.3 üzerinde görülmektedir.

Tablo 5.3 Denklem 5.22' de Kullanılan Parametre ve Açıklamaları (HİDROTÜRK Kullanım Kılavuzu, 2019)

Sembol	Açıklama	Birim
M	Kar erimesi	mm/gün
DF	Derece-gün faktörü	mm/°C/gün
T _a	Günlük ortalama sıcaklık	°C
T _s	Kar erime eşik sıcaklık	°C
CFR	Donma katsayısı	-
R	Kar kütleğinde donan su miktarı	mm/gün

Hidrolojik Modül bünyesindeki kar erime modelinin şematik gösterimi Şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.7 Kar Erime Modelinin Şematik Gösterimi (HİDROTÜRK Kullanım Kılavuzu, 2019)

Derece-Gün faktörü (DF) ormanlık alan için 0,5 – 2,0, açık alan için 2,0 – 5,0, buzul için > 5,0 alınabilir. Kar kütlesi eriyen kar suyunun bir miktarını kütle içinde tutabilmektedir (KS). Bu miktar kuru kar kütlelerinin (ST) yaklaşık %5-10 arasında olup ortalama sıcaklık, eşik sıcaklığın altına düştüğünde bu su tekrar donmaktadır. R kar kütlesi içindeki donan su miktarı (mm/gün) ve CFR ise birimsiz olarak donma katsayısını tanımlar.

- **Basit yöntem** ile Kar Erimesi hesabı Derece-Gün Yöntemi'nden farklı olarak eriyen kar suyu miktarını kar kütlesi içinde tutmamakta bu sebeple CWH (%) değerine ihtiyaç duymamaktadır.

HİDROTÜRK Modeli Hidroloji Modülü Penman ve Su Sıcaklığına Göre Hesap olmak üzere iki farklı yöntem ile su yüzeyinden buharlaşma hesabı yapabilmektedir.

Penman Yöntemi

Penman buharlaşma üzerinde etkili olan radyasyon ve aerodinamik kaynaklı faktörleri Denklem 5.23 ile bir araya getirerek açık su yüzeyinden buharlaşmayı hesaplamıştır (Penman, 1948).

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a \quad (5.23)$$

Burada;

Tablo 5.4 Denklemden kullanılan parametre ve açıklamaları (HİDROTÜRK Kullanım Kılavuzu, 2019)

Sembol	Açıklama	Birim
E	Günlük potansiyel buharlaşma	mm/gün
λ	Gizli buharlaşma ısı akısı	MJ/m ² /gün
Δ	Buhar basıncı eğrisinin eğimi	kPa/°C
R _n	Buharlaşan yüzeydeki günlük net radyasyon	MJ/m ² /gün
γ	Psikrometrik sabit	kPa/°C
E _a	Rüzgar hızının, doymuş buhar basıncının ve havanın buhar basıncının fonksiyonu olan buharlaşma (aerodinamik bileşen)	mm/gün

Günlük Ortalama Sıcaklığa Bağlı Su Yüzeyinden Buharlaşma Hesabı

Sıcaklık, buharlaşmayı doğrudan etkileyen faktörlerin başında gelen doyma açığını etkilemektedir. Bu nedenle sıcaklık değişimi ile buharlaşma değerleri paralel değişim göstermektedir. Günlük ortalama sıcaklıklar ile buharlaşmalar arasında doğrusal ilişki veren model kurulmaktadır.

Hidrolojik İşlem Birimi (HİB) Verileri

HİB Verileri başlığı altında çalışma içinde yer alan tüm HİB'ler için uygulanacak parametre değişimleri yapılmaktadır. "HİB Verileri" sekmesi altında "HİB Parametreleri" ve "HİB Başlangıç Koşulları" butonları yer almaktadır. İlgili butona tıklandığında, kullanılmak istenen aracın penceresi ara yüzün sol tarafında açılmaktadır. Kullanılan HİB parametreleri ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- CN: Arazi kullanımı/özelliğine ve ilgili toprağın hidrolojik grubuna bağlı katsayıdır. 0-100 arasında değişir. CN = 0 yağışın direk sızmaya geçtiği zeminleri, CN = 100 ise yağışın direk akışa geçtiği zeminleri temsil eder.
- Tarla Kapasitesi (mm): Toprak suyla doymuş hale geldikten sonra toprak zerrelere yer çekimine karşı tuttuğu su miktarıdır (zemin neminin maksimum değere ulaştığı nokta tarla kapasitesidir).
- Solma Noktası (mm): Bitkinin artık topraktan su alamadığı ve bu nedenle solduğu anda toprakta tutulan su miktarıdır.
- Albedo (mm): Yüzeylerin yansıtma gücü veya bir yüzeyin üzerine düşen elektromanyetik enerjiyi yansıtma kapasitesidir.

- Minimum Zemin Nemi (mm): Zemin boşluklarında veya zemin taneciklerine yapışık halde bulunan suyun ulaştığı minimum değerdir.
- Başlangıçtaki Zemin Nemi (mm): Simülasyon başlangıç anındaki Zemin Nemi değeridir.
- Kullanılan Su ile Drene Olan Su Oranı (awc/g): Kullanılabilir suyun yerçekimi ile drene olabilecek suya oranı toprak verilerinin sağlandığı FAO veritabanından temin edilmiş değerdir.
- Kum (%): HİB zeminindeki yüzde kum miktarıdır.
- Silt (%): HİB zeminindeki yüzde silt miktarıdır.
- Kil (%): HİB zeminindeki kum miktarıdır.
- Taşlık Yüzdesi (%): HİB zeminindeki yüzde taşlık miktarıdır.
- Organik Karbon Yüzdesi (%): HİB zeminindeki organik karbon yüzdesidir.
- Perkolasyon Hızı Parametresi (1/gün): Topraktaki suyun akifere hangi hızla aktığını ifade eden parametre.
- Perkolasyon Ulaştığı Akifer No: Perkole olan suyun ulaştığı akifer numarasını tanımlayan sayıdır.

5.1.2. Kalibrasyon ve Validasyon Çalışmaları

Kalibrasyon çok zor bir işlem olabilmekte ve birçok büyük ölçekli uygulamalar için neredeyse imkansızdır. Bu sorunu çözmek amacıyla çeşitli hidrolojik modeller için farklı otomatik kalibrasyon araçları geliştirilmiştir ve optimizasyon sürecine yardımcı olmak için mevcuttur.

Kalibrasyon, faktörleri (parametreleri) ayarlamak veya tahmin etmek için kullanılan bilinen girdi ve çıktılarla model testi, validasyon ise model sonuçlarının bağımsız bir veri seti ile karşılaştırılması (daha fazla ayarlama yapılmadan) olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan HBV-Light ve SWAT hidrolojik modelleri birçok parametreye sahiptir. Bu parametrelerin değerleri kalibrasyon yapılarak belirlenmektedir. Model kalibrasyonu manuel ya da otomatik olarak yapılabilmektedir. Bu çalışmada HBV-Light modeli için GAP-Optimizasyonu, SWAT için ise SWAT-CUP programı kullanılmıştır. SWAT-CUP programı kalibrasyon, validasyon ve hassasiyet analizi prosedürü için çeşitli optimizasyon algoritmaları (SUFI-2, ParaSol, PSO, GLUE ve MCMC) içermektedir. Bu çalışmada çok bölgesel ve yarı otomatik bir küresel arama prosedürü olan SUFI-2 algoritması model kalibrasyonu ve validasyonu için kullanılmıştır.

Kalibrasyon esnasında gözlenen ve simüle edilen akımlar arasında karşılaştırma ve model performansını belirlemek için çeşitli amaç fonksiyonları kullanılmaktadır. SWAT-CUP programında bulunan SUFI-2 algoritmasında 11 farklı amaç fonksiyonları bulunmaktadır. Bu çalışmada, hidrolojik modellerin tahmin gücünü değerlendirmek için her iki optimizasyon algoritması için Nash-Sutcliffe Model Verimlilik Katsayısı (NSE) (Nash ve Sutcliffe, 1970) amaç fonksiyonu olarak seçilmiştir. Bunun yanında, Belirleme Katsayısı (Coefficient of Determination, R^2) ve Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Squared Error, RMSE) amaç fonksiyonları da göz önünde bulundurularak model kalibrasyonu ve validasyonu gerçekleştirilmiştir. Bunlara ait kısa açıklamalar aşağıdaki paragraflarda verilmiştir.

Nash-Sutcliffe Model Verimlilik Katsayısı: NSE, hidrolojik modellemede ve SWAT model uygulamasında en çok kullanılan amaç fonksiyonudur (Schaepli ve Gupta, 2007; Magand vd., 2015). Ölçülen veri varyansına kıyasla artık varyansın göreceli büyüklüğünü belirleyen normalleştirilmiş bir istatistiktir. Yüksek örnekleme değerlerine olan önceliği, çeşitli yazarlar tarafından tartışılan ortak bir noktadır (Asadzadeh vd., 2016; Guse vd., 2017). Nash – Sutcliffe verimliliği $-\infty$ ile 1 arasında değişebilir. 1 verimlilik (NSE = 1), gözlenen verilerle mükemmel bir modellenmiş deşarj eşleşmesine karşılık gelir. 0 verimliliği (NSE = 0), model tahminlerinin, gözlemlenen verilerin ortalaması kadar doğru olduğunu göstermektedir. Gözlenen verilerinin ortalama modelden daha iyi bir öngörücü olduğunda sıfırdan küçük bir verimlilik (NSE <0) ortaya çıkmakta ve kabul edilemez.

$$NSE = 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (Q_i^g - Q_i^m)^2 \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (Q_i^g - \bar{Q}^g)^2 \right]} \quad (5.24)$$

Belirleme Katsayısı: R^2 değeri modelin gözlemlenen verilere ne kadar iyi uyduğunu gösteren bir değerlendirme ölçütüdür. R^2 değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. 1 değeri modelin mükemmel olduğunu gösterir ve model için $R^2 > 0,5$ değerleri kabul edilmektedir.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (Q_i^g - Q_i^m) (Q_i^m - \bar{Q}^m) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^g - \bar{Q}^g)^2 \sum_{i=1}^n (Q_i^m - \bar{Q}^m)^2} \quad (5.25)$$

Kök Ortalama Kare Hatası: RMSE gözlem ve model değerleri arasındaki farkların ortalama büyüklüğünü ifade eder. Birimi gözlem ve model sonuçları ile aynıdır. Sonuçların kabul edilebilir olarak yorumlanabilmesi için 0'a yakın olması ve gözlem standart sapma değerinden küçük olması beklenir. (Moriasi, 2015)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^g - Q_i^m)^2}{n}} \quad (5.26)$$

Yukarıdaki denklemlerde, Q_i^g gözlenen değişkeni (akım), Q_i^m model (simüle edilmiş) değişkeni, $\overline{Q^g}$ ortalama gözlenen değişkeni, $\overline{Q^m}$ ortalama model değişkeni ve n dikkate alınan gözlem sayısını göstermektedir.

Hidrolojik modelleme çalışmalarında daha uygun sonuçların elde edilmesi için kalibrasyon ve validasyon dönemleri için ayrı ayrı veri setleri kullanılmalıdır. Model kalibrasyonunda kullanılan veri setinin uzunluğu optimum parametrelerin belirlenmesinde büyük önem arz etmektedir. Kalibrasyon dönemi için kullanılan veri setinin ıslak ve kuru dönemlere (yıllara) sahip olması, model tarafından daha uygun bir parametre setinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu parametre seti daha sonra validasyon dönemi için kullanılarak daha iyi bir performans göstermektedir. Kalibrasyon ve validasyon dönemleri için kullanılan veri setlerinin benzer istatistikî özelliklere sahip olması daha iyi bir performans göstermesini sağlamaktadır.

Modelleme çalışmalarında çeşitli sebeplerden dolayı bazı belirsizlikler olabilmektedir. Bu belirsizlikleri minimize etmek için hassasiyet analizi yapılmaktadır. Model kalibrasyonun ve validasyonun ilk adımı hassasiyet analizidir. Hassasiyet analizinin birincil amacı, nehir akışı gibi model çıktıları üzerinde büyük etkisi olan parametreleri belirlemektir.

Tablo 5.5 bu çalışmada kullanılan HBV-Light modeli parametreleri ve değer aralıklarını göstermektedir. Tablo 5.6 ise SWAT modeli parametreleri ve değer aralıklarını göstermektedir. Parametre aralıkları her alt havza için farklılık gösterdiği için Tablo 5.5 ve Tablo 5.6 Gönen Çayı Alt Havzası'na aittir.

Tablo 5.5 Gönen Çayı HBV-Light Model Parametreleri

Parametre	Açıklama	Kalibrasyon Değeri	Alt Limit	Üst Limit
TT	Kar/Yağmur Sıcaklık Limiti	-0,5	-2	1,5
CFMAX	Derece Gün Faktörü	3,5	0,5	7
SP	Derece- Δt faktöründe mevsimsel değişkenlik	0	0	0
SFCF	Kar Düzeltme Faktörü	0,414	0,01	0,9
CFR	Tekrar Donma Faktörü	0,093	0,01	0,5
CWH	Su Tutma Kapasitesi	0,252	0,1	0,8
FC	Maksimum Toprak Nemi	95	50	450
LP	Potansiyel Buharlaşma-Terleme Limiti	0,52	0,1	1
BETA	Toprak Parametresi	1,15	1	5
PERC	Süzülme	4,5	0	10
UZL	Eşik parametresi	130	0	170
K0	Depolama (veya durgunluk ya da Geri çekilme) katsayısı 0	0,3	0,1	0,9
K1	Depolama (veya durgunluk ya da Geri çekilme) katsayısı 1	0,45	0,01	0,9
K2	Depolama (veya durgunluk ya da Geri çekilme) katsayısı 2	0,6	0,01	0,9
MAXBAS	Üçgen ağırlıklandırma fonksiyonunun uzunluğu	1,35	1	2,5
Cet	Potansiyel buharlaşma düzeltme faktörü	0,3	0	0,9
PCALT	Yükselti ile yağış artışı	10	10	10
TCALT	Yükseklikle sıcaklığın düşmesi	0,6	0,6	0,6

Tablo 5.6 Gönen Çayı SWAT Model Parametreleri

Parametre	Açıklama	Kalibrasyon Değeri	Alt Limit	Üst Limit
CN2	SCS Akış eğri numarası	-0,100	-0,20	0,30
OV_N	Manning'in yüzey akışı için "n" değeri	0,636	0,01	1,00
ESCO	Topraktan buharlaşma dengeleme faktörü	0,867	0,00	1,00
SURLAG	Yüzey akışı gecikme katsayısı	9,072	0,05	15,00
SLSUBBSN	Ortalama eğim uzunluğu	75,449	10,00	150,00
CH_N2	Ana kanalın maning pürüzlülük katsayısı	0,180	-0,01	0,30
CH_K2	Ana kanalın efektif hidrolojik iletkenliği	223,047	-0,01	300,00
GWQMN	Geri akışın oluşabilmesi için sığ akiferdeki eşik su derinliği	760,702	5,00	1.000
GW_DELAY	Yer altı suyu gecikme süresi	30,642	5,00	200,00
ALPHA_BF	Taban akımı alfa faktörü	0,717	0,00	1,00
ALPHA_BNK	Depolama için baz akım alfa faktörü	0,826	0,00	1,00
RCHRG_DP	Derin akifer sızma kısmı	0,003	0,00	1,00
SOL_BD	Toprak hacimsel yoğunluğu	0,054	-0,20	0,40
SOL_K	Doygun hidrolik iletkenlik	0,399	-0,20	0,40
SOL_AWC	Kullanılabilir su kapasitesi	0,248	-0,10	0,40
SOL_ALB	Nemli toprak albedo	0,183	0,00	0,20
HRU_SLP	Ortalama yamaç eğim	0,199	0,00	0,30
LAT_TTIME	Yanal akış ulaşım süresi	8,804	0,00	30,00
REVAPMN	Sığ akiferde "revap" oluşması için eşik su derinliği	758,955	30,00	1.000
GW_REVAP	Yer altı suyu revap katsayısı	0,086	0,02	0,20
SFTMP	Kar yağışı sıcaklığı	2,545	-5,00	5,00
SMTMP	Kar erimesi taban sıcaklığı	0,405	-5,00	5,00
SMFMX	Yıl boyunca kar için maksimum erime hızı (yaz gündönümünde gerçekleşir)	6,145	0,00	10,00
SMFMN	Yıl boyunca kar için minimum erime hızı (kış gündönümünde gerçekleşir)	5,065	0,00	10,00
TIMP	Kar paketi sıcaklık gecikme faktörü	0,562	0,00	1,00

5.1.3. Havza Yağış-Akış İlişkisi

Havza yağış-akış ilişkisinin belirlenmesi amacıyla HBV ve SWAT hidrolojik modelleri kullanılarak alt havza bazında meteorolojik veriler ve doğallaştırılmış akış verileri kullanılarak akış simülasyonu hazırlanmıştır. Alt havzalarda bulunan AGİ'lere ait doğallaştırılmış aylık akım verileri kullanılarak model kalibrasyonu ve validasyonu gerçekleştirilmiştir. 41 yıllık (1980-2020) veri setinin 3 yılı (1980-1982) model ısınma periyodu, 19 yılı (1983-2001) kalibrasyon ve geri kalan 19 yılı (2002-2020) validasyon için kullanılmıştır.

5. Bu çalışmada, model kalibrasyonu ve validasyonu aşamalarında modellerin performansını değerlendirmek için NSE amaç fonksiyonu kullanılmıştır. NSE, hidrolojik modellemede özellikle olay bazlı uygulamalarda en çok kullanılan amaç fonksiyonudur.
6. Alt havza bazında yapılan çalışmalara ait model sonuçları ve model performansları detaylı olarak incelenmiştir. HBV-Light modeli ile yapılan modelleme sonucu elde edilen tüm alt havzalara ait model performans istatistikleri Tablo 5.7' de gösterilmiştir. Tablo 5.8 ise SWAT modeli ile yapılan modelleme sonucu elde edilen performans istatistiklerini göstermektedir.

Tablo 5.7 HBV-Light Model Sonuçlarına Göre Alt Havzalara Ait Model Performans İstatistikleri

Alt Havza	Periyot	NSE	RMSE	R ²	Std. Sap. (Model)	Std. Sap. (Gözlem)	Ort. Q (Model)	Ort. Q (Gözlem)
Biga Çayı	Kalibrasyon	0,67	0,67	0,82	19,10	23,21	16,13	16,25
Biga Çayı	Validasyon	0,60	0,61	0,78	23,34	27,65	18,20	18,37
Körfez	Kalibrasyon	0,73	0,73	0,86	6,22	6,77	3,07	2,91
Körfez	Validasyon	0,63	0,63	0,80	6,57	8,83	5,81	6,47
Gönen Çayı	Kalibrasyon	0,58	0,60	0,77	22,51	34,50	24,33	24,15
Gönen Çayı	Validasyon	0,60	0,62	0,79	25,11	39,70	25,90	26,51
İznic Gölü	Kalibrasyon	0,68	0,68	0,82	5,25	6,21	5,37	5,41
İznic Gölü	Validasyon	0,59	0,60	0,77	5,77	6,91	4,99	5,71
Ağva Deresi	Kalibrasyon	0,73	0,73	0,86	16,81	21,52	17,86	17,16
Ağva Deresi	Validasyon	0,63	0,65	0,81	14,97	21,59	14,58	16,44
Batı İstanbul	Kalibrasyon	0,65	0,66	0,81	3,27	3,95	3,07	2,91
Batı İstanbul	Validasyon	0,32	0,40	0,63	3,28	7,27	3,04	4,59
Kuzey Kırklareli	Kalibrasyon	0,53	0,56	0,75	3,37	5,74	4,58	4,76
Kuzey Kırklareli	Validasyon	0,20	0,21	0,46	4,91	9,77	5,93	5,84

Tablo 5.8 SWAT Model Sonuçlarına Göre Alt Havzalara Ait Model Performans İstatistikleri

Alt Havza	Periyot	NSE	RMSE	R ²	Std. Sap. (Model)	Std. Sap. (Gözlem)	Ort. Q (Model)	Ort. Q (Gözlem)
Biga Çayı	Kalibrasyon	0,67	0,68	0,82	19,42	23,21	17,73	16,25
Biga Çayı	Validasyon	0,73	0,74	0,86	23,75	27,65	20,66	18,37
Körfez	Kalibrasyon	0,67	0,68	0,82	6,03	6,77	5,45	5,80
Körfez	Validasyon	0,63	0,64	0,80	7,19	8,83	5,58	6,47
Gönen Çayı	Kalibrasyon	0,57	0,58	0,76	25,31	34,50	25,63	24,15
Gönen Çayı	Validasyon	0,62	0,62	0,79	31,23	39,70	26,16	26,51
İznik Gölü	Kalibrasyon	0,55	0,57	0,76	4,56	6,21	6,29	5,41
İznik Gölü	Validasyon	0,55	0,56	0,75	5,92	6,91	5,96	5,71
Ağva Deresi	Kalibrasyon	0,73	0,75	0,87	18,12	21,52	20,18	17,16
Ağva Deresi	Validasyon	0,78	0,79	0,89	18,18	21,59	18,21	16,43
Batı İstanbul	Kalibrasyon	0,60	0,64	0,80	3,27	3,95	3,76	2,91
Batı İstanbul	Validasyon	0,39	0,39	0,62	4,54	7,27	4,38	4,59
Kuzey Kırklareli	Kalibrasyon	0,52	0,52	0,72	3,93	5,74	5,04	4,76
Kuzey Kırklareli	Validasyon	0,19	0,20	0,45	4,66	9,77	6,34	5,84

Her bir alt havza için HBV-Light ve SWAT modellerinden elde edilen aylık akımların toplanması ile yıllık akım değerleri hesaplanmıştır.

5.1.3.1. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)

Model kalibrasyonu için HBV-Light ve SWAT modellerine ait NSE değerleri 0,67 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, validasyon için NSE değerleri sırasıyla 0,60 ve 0,73 olarak belirlenmiştir.

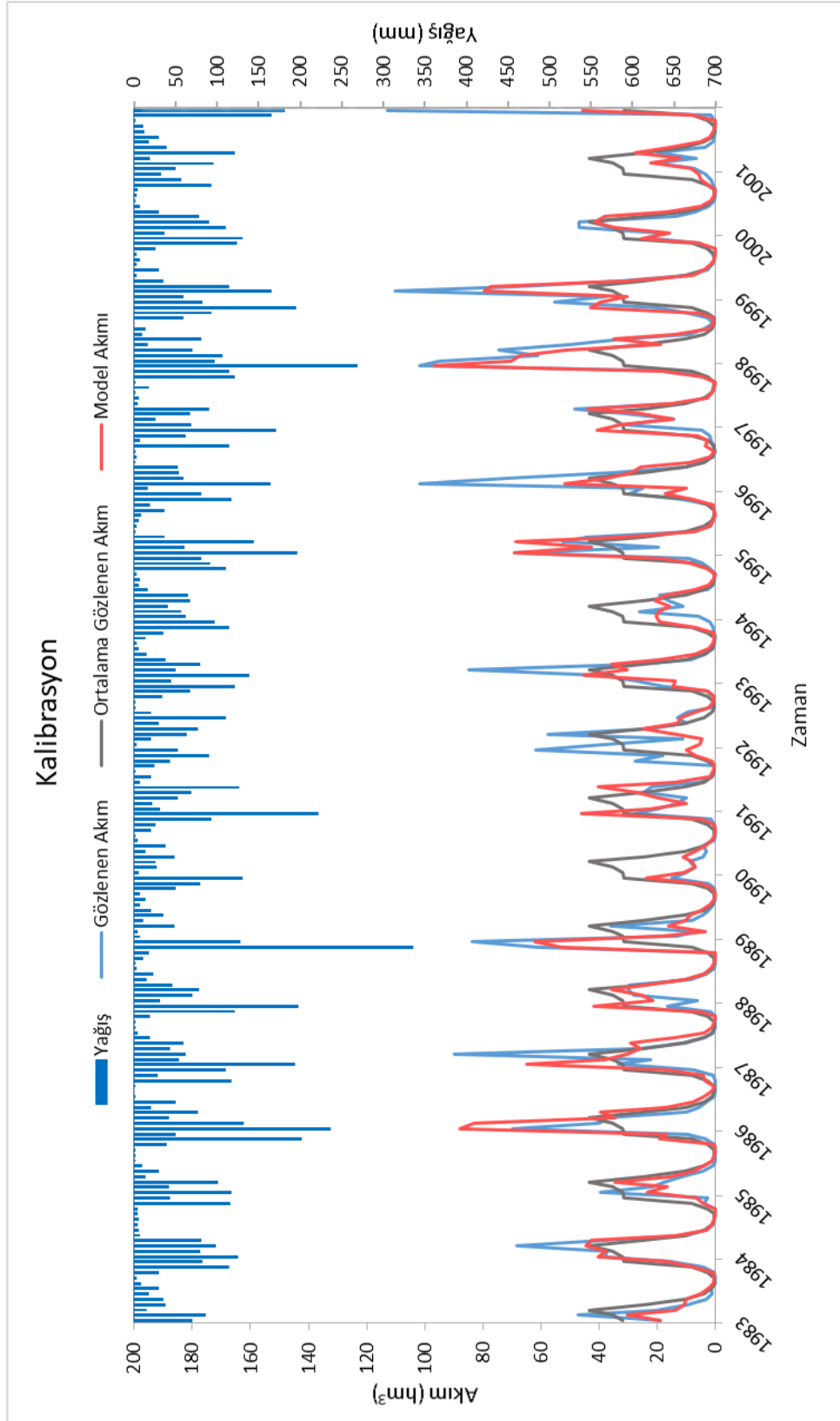
Model sonucu elde edilen aylık akım değerlerinin toplanmasıyla yıllık ortalama akım verileri elde edilmektedir. HBV-Light ile elde edilen bu ortalama değer kullanılarak alt havza için yüzey suyu potansiyeli 893,15 hm³ olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, SWAT modeli ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli 890,40 hm³'tür. Bu alt havzaya ait gözlemlenen veriler ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli ise 900,74 hm³ olarak elde edilmiştir.

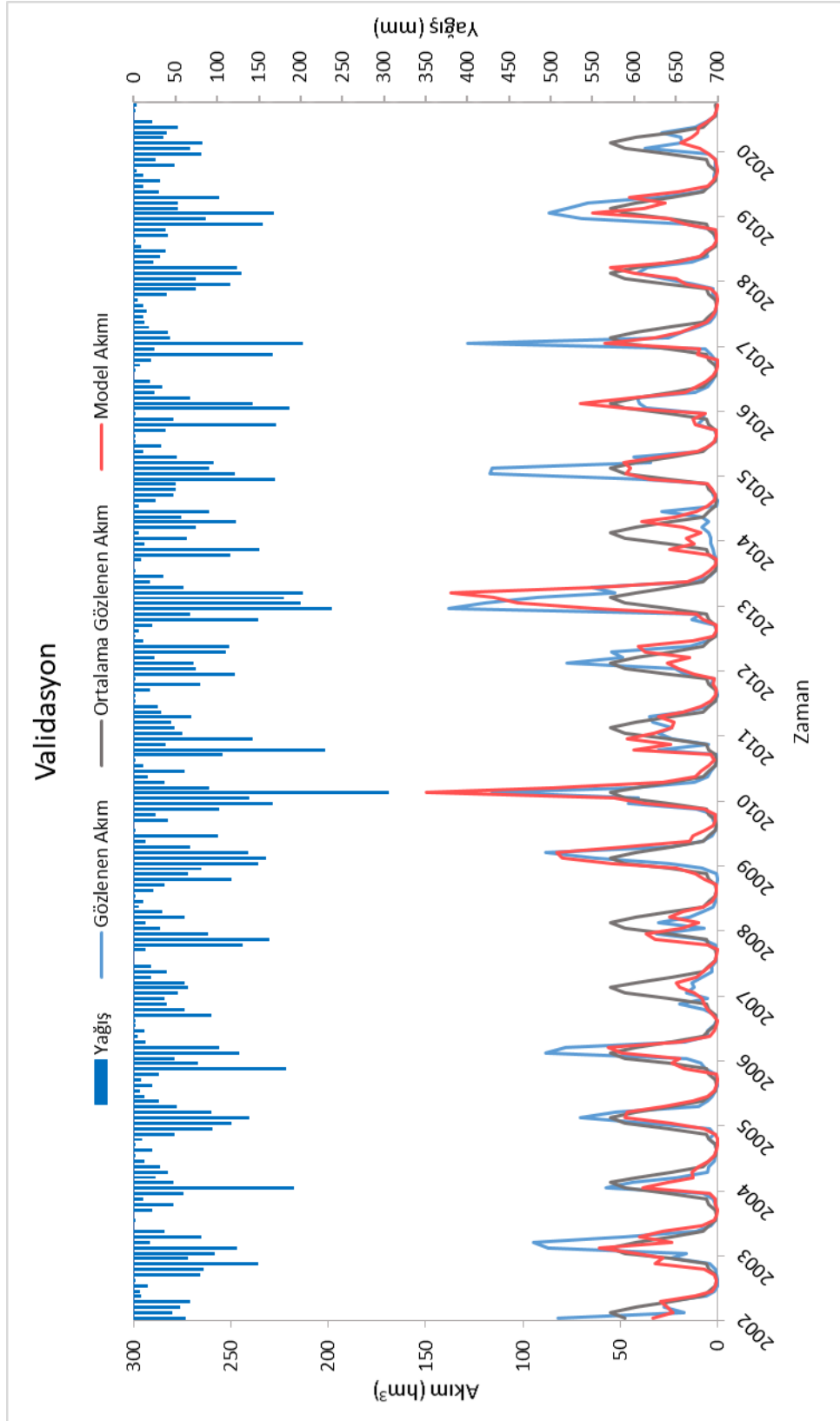
Alt havzanın yeraltı suyu potansiyeli ise litolojik süzülme yöntemi ile 80,61 hm³ olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.9'da kalibrasyon ve validasyon dönemlerine ait model performans istatistikleri ve diğer özet bilgiler yer almaktadır. Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 HBV-Light, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11 ise SWAT ile yapılan kalibrasyon ve validasyon sonucu elde edilen hidrografları göstermektedir.

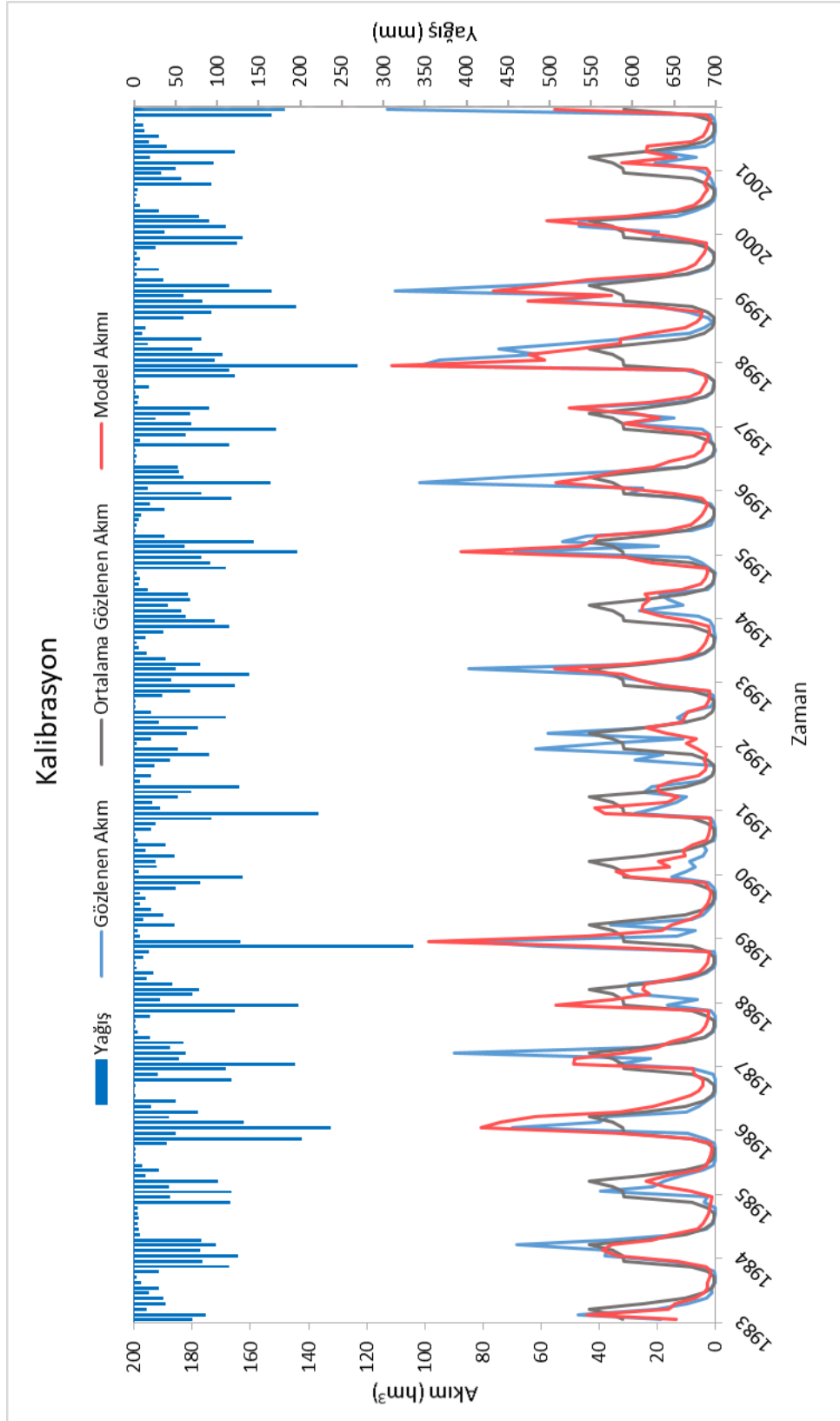
Tablo 5.9 Biga Çayı Alt Havzası Model Performans İstatistikleri

Model	Periyot	Dönem	NSE	RMSE	R ²	Std. Sap. (Model)	Std. Sap. (Gözlem)	Ort. Q (Model)	Ort. Q (Gözlem)
HBV	Kalibrasyon	1983-2001	0,67	0,67	0,82	19,10	23,21	16,13	16,25
	Validasyon	2002-2020	0,60	0,61	0,78	23,34	27,65	18,20	18,37
SWAT	Kalibrasyon	1983-2001	0,67	0,68	0,82	19,42	23,21	17,73	16,25
	Validasyon	2002-2020	0,73	0,74	0,86	23,75	27,65	20,66	18,37

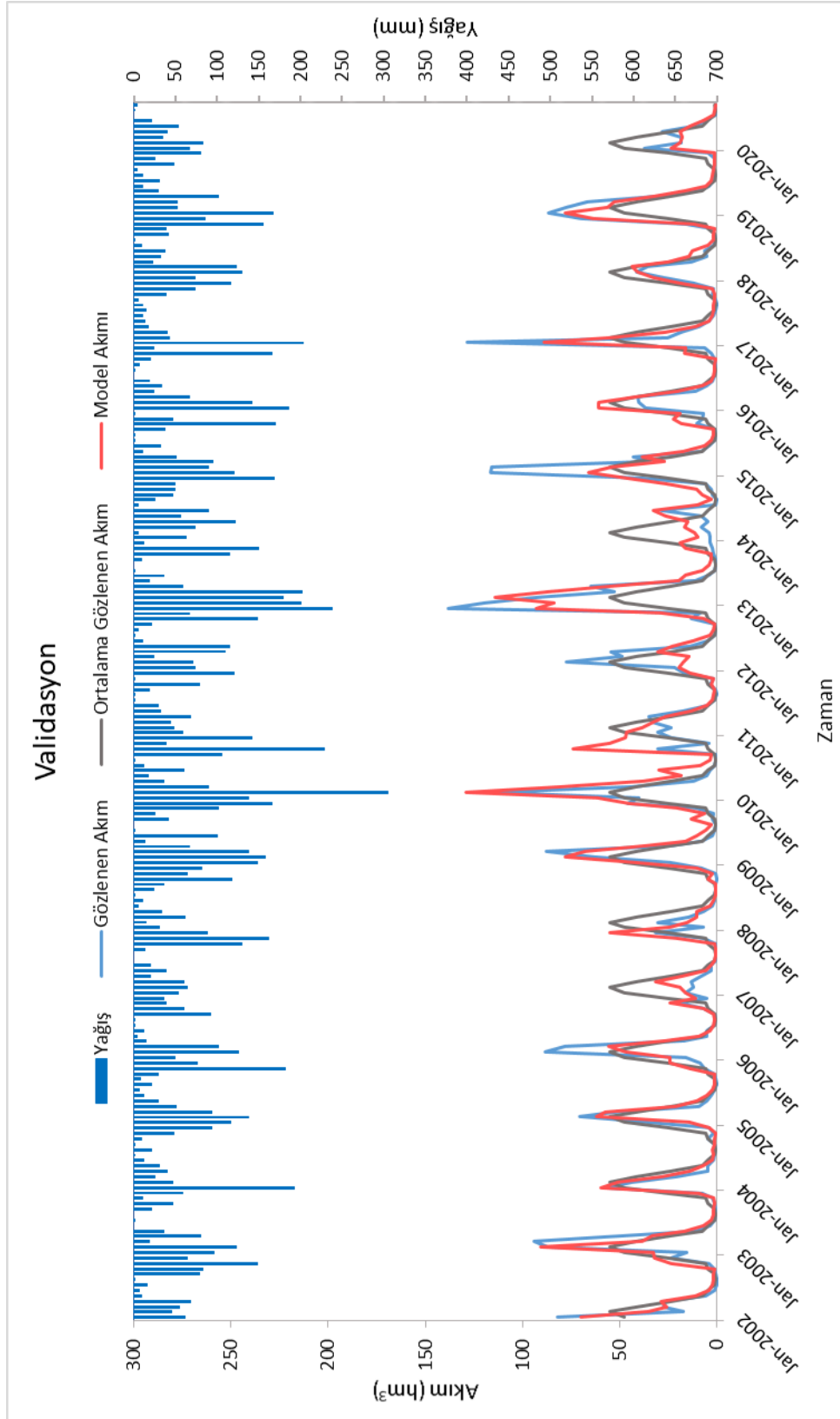




Şekil 5.9 Biga Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon



Şekil 5.10 Biga Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon



Şekil 5.11 Biga Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) – Validasyon

5.1.3.2. Körfez Alt Havzası (2/8)

Model kalibrasyonu için HBV-Light ve SWAT modellerine ait NSE değerleri sırasıyla 0,73 ve 0,67 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, validasyon için NSE değerleri sırasıyla 0,63 ve 0,63 olarak belirlenmiştir.

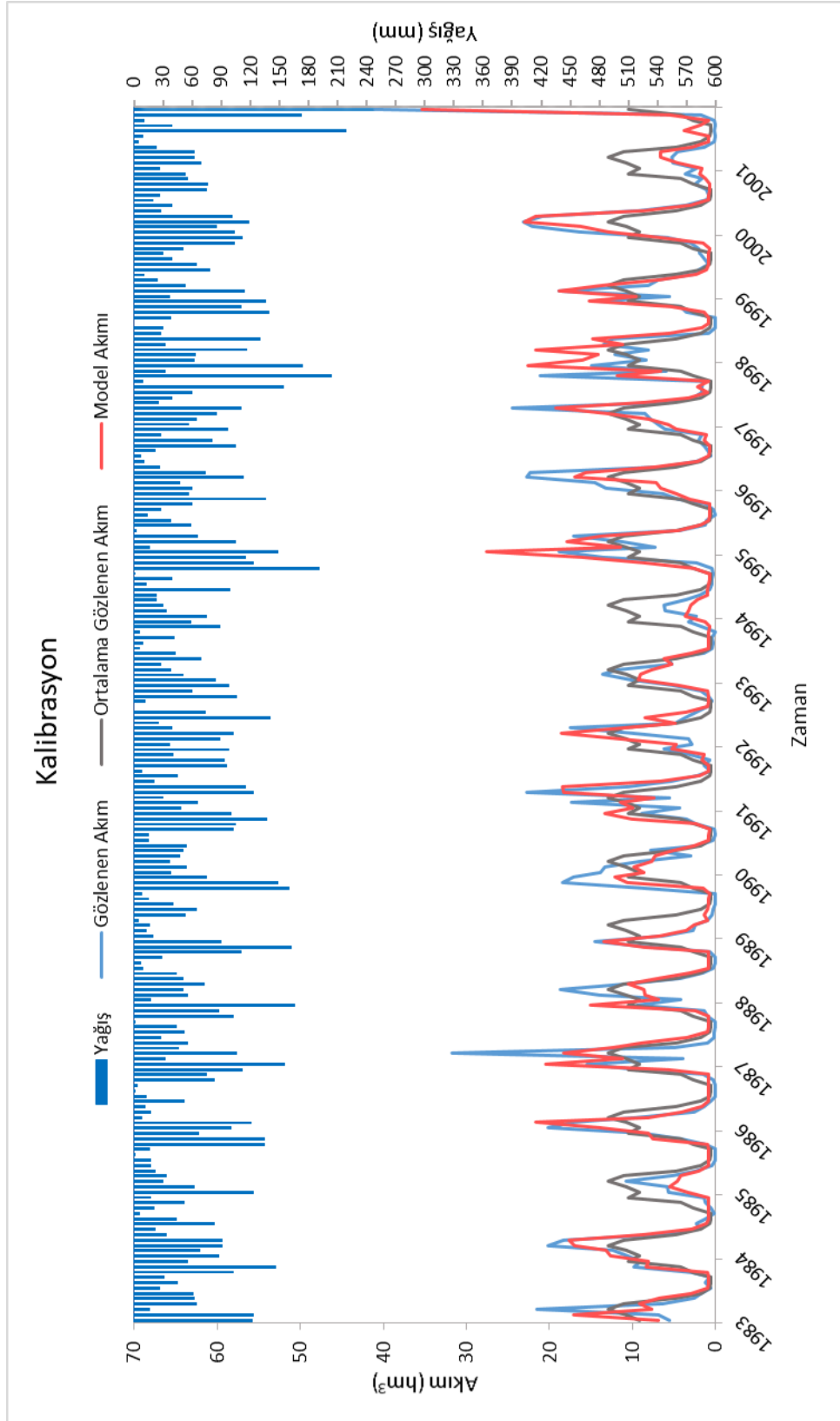
Model sonucu elde edilen aylık akım değerlerinin toplanmasıyla yıllık ortalama akım verileri elde edilmektedir. HBV-Light ile elde edilen bu ortalama değer kullanılarak alt havza için yüzey suyu potansiyeli 943,21 hm³ olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, SWAT modeli ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli ise 943,42 hm³'tür. Bu alt havzaya ait gözlemlenen veriler ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli 949,95 hm³ olarak elde edilmiştir.

Alt havzanın yeraltı suyu potansiyeli ise litolojik süzülme yöntemi ile 70,82 hm³ olarak belirlenmiştir.

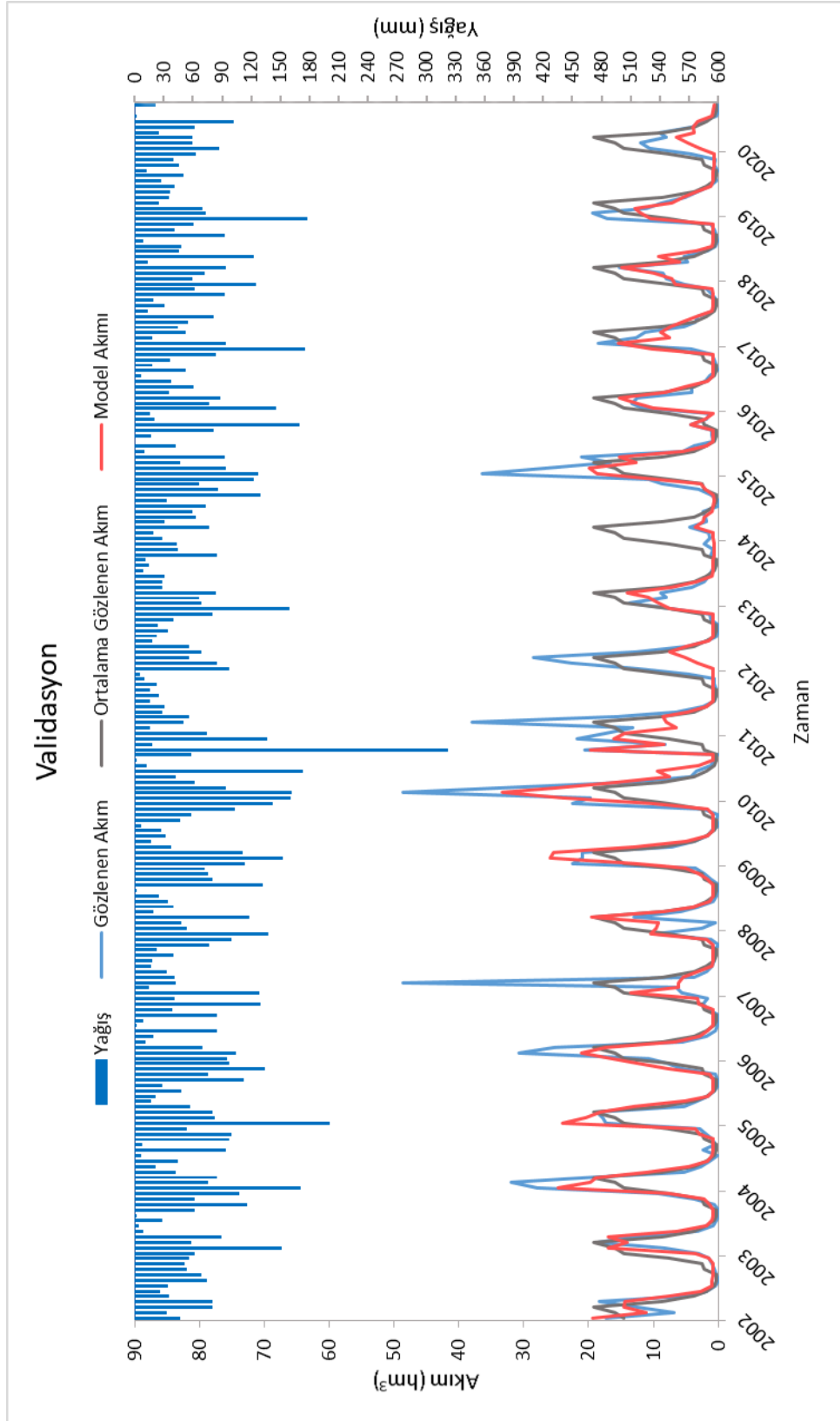
Tablo 5.10'da kalibrasyon ve validasyon dönemlerine ait model performans istatistikleri ve diğer özet bilgiler yer almaktadır. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13 sırasıyla HBV-Light ve Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 SWAT ile yapılan kalibrasyon ve validasyon sonucu elde edilen hidrografları göstermektedir.

Tablo 5.10 Körfez Alt Havzası Model Performans İstatistikleri

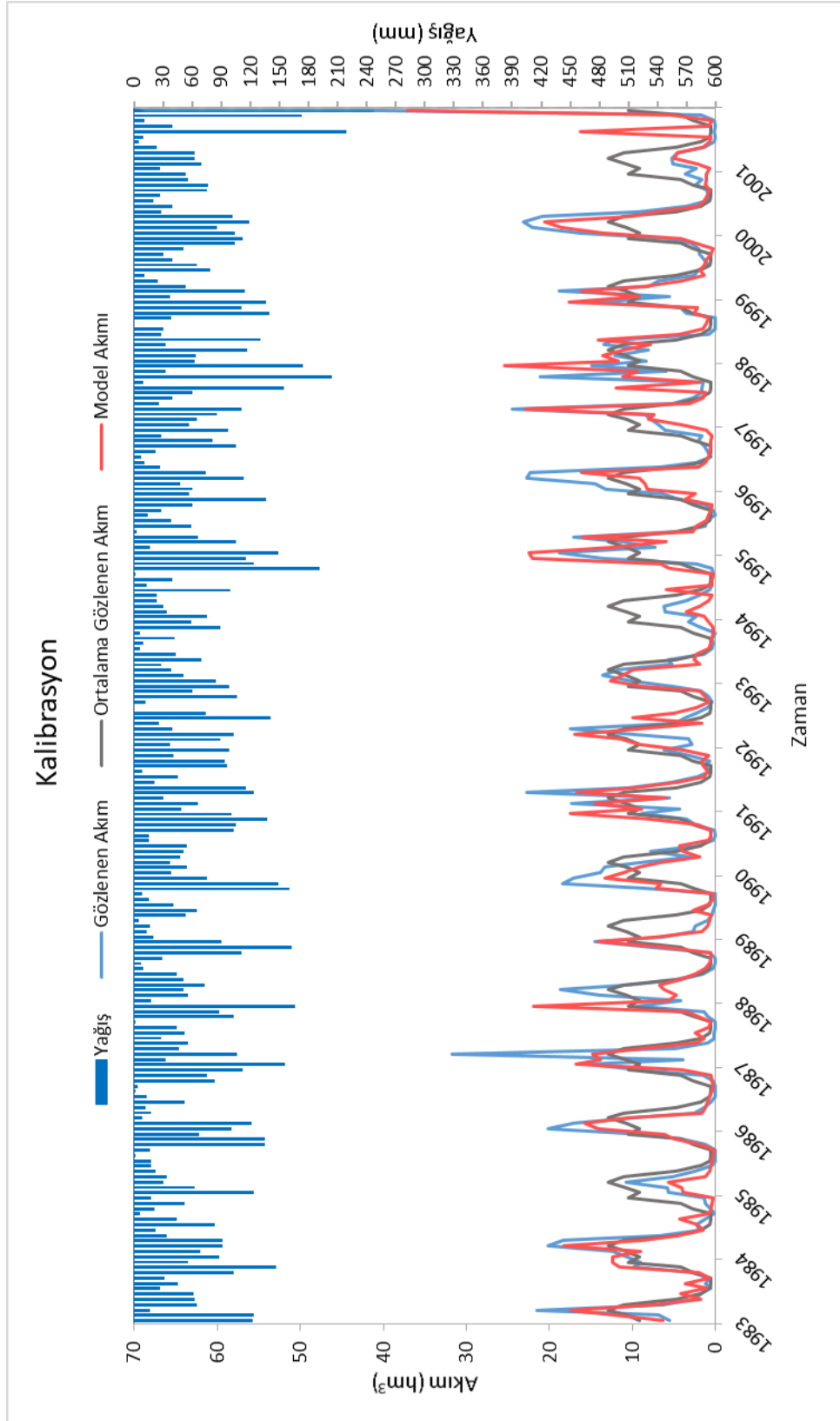
Model	Periyot	Dönem	NSE	RMSE	R ²	Std. Sap. (Model)	Std. Sap. (Gözlem)	Ort. Q (Model)	Ort. Q (Gözlem)
HBV	Kalibrasyon	1983-2001	0,73	0,73	0,86	6,22	6,77	3,07	2,91
	Validasyon	2002-2020	0,63	0,63	0,80	6,57	8,83	5,81	6,47
SWAT	Kalibrasyon	1983-2001	0,67	0,68	0,81	6,03	6,77	5,45	5,80
	Validasyon	2002-2020	0,63	0,64	0,80	7,19	8,83	5,58	6,47



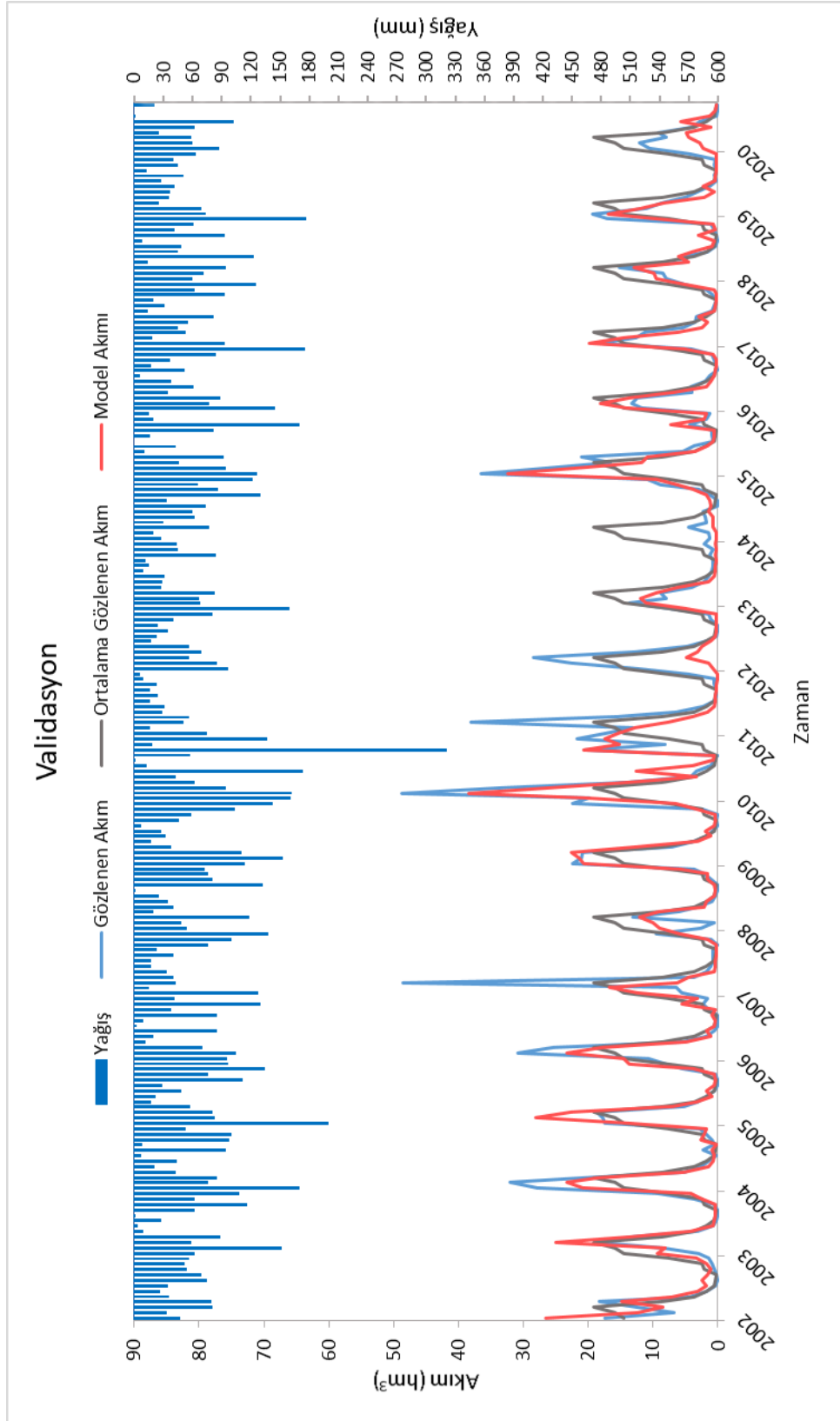
Şekil 5.12 Körfez Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon



Şekil 5.13 Körfez Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon



Şekil 5.14 Körfez Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon



Şekil 5.15 Körfez Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon

5.1.3.3. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)

Model kalibrasyonu için HBV-Light ve SWAT modellerine ait NSE değerleri sırasıyla 0,58 ve 0,57 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, validasyon için NSE değerleri sırasıyla 0,60 ve 0,62 olarak belirlenmiştir.

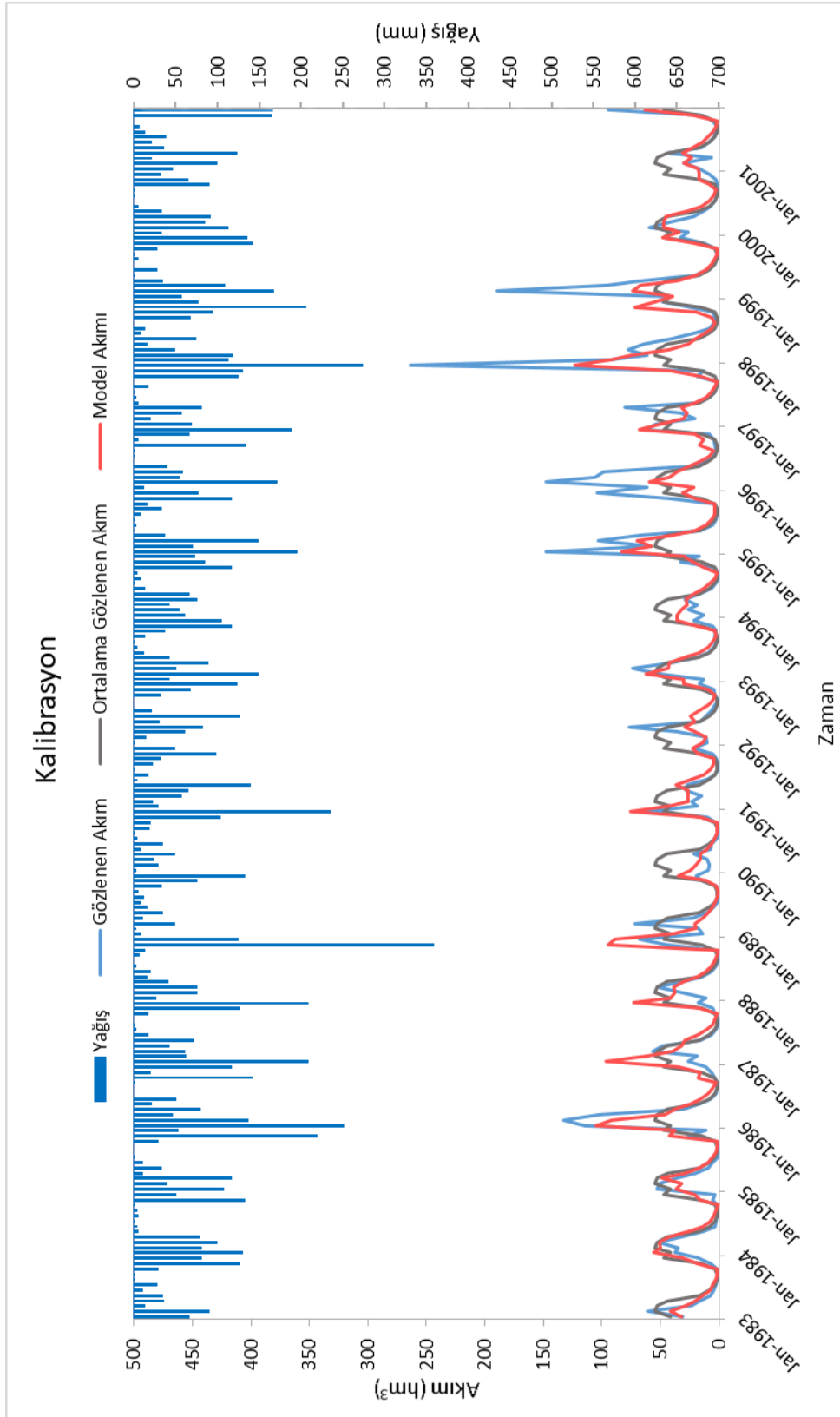
Model sonucu elde edilen aylık akım değerlerinin toplanmasıyla yıllık ortalama akım verileri elde edilmektedir. HBV-Light ile alt havza yüzey suyu potansiyeli 1.038,55 hm³ olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, SWAT modeli ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli ise 1.038,09 hm³'tür. Bu alt havzaya ait gözlemlenen veriler ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli 1.046,46 hm³ olarak elde edilmiştir.

Alt havzanın yeraltı suyu potansiyeli ise litolojik süzülme yöntemi ile 56,47 hm³ olarak belirlenmiştir.

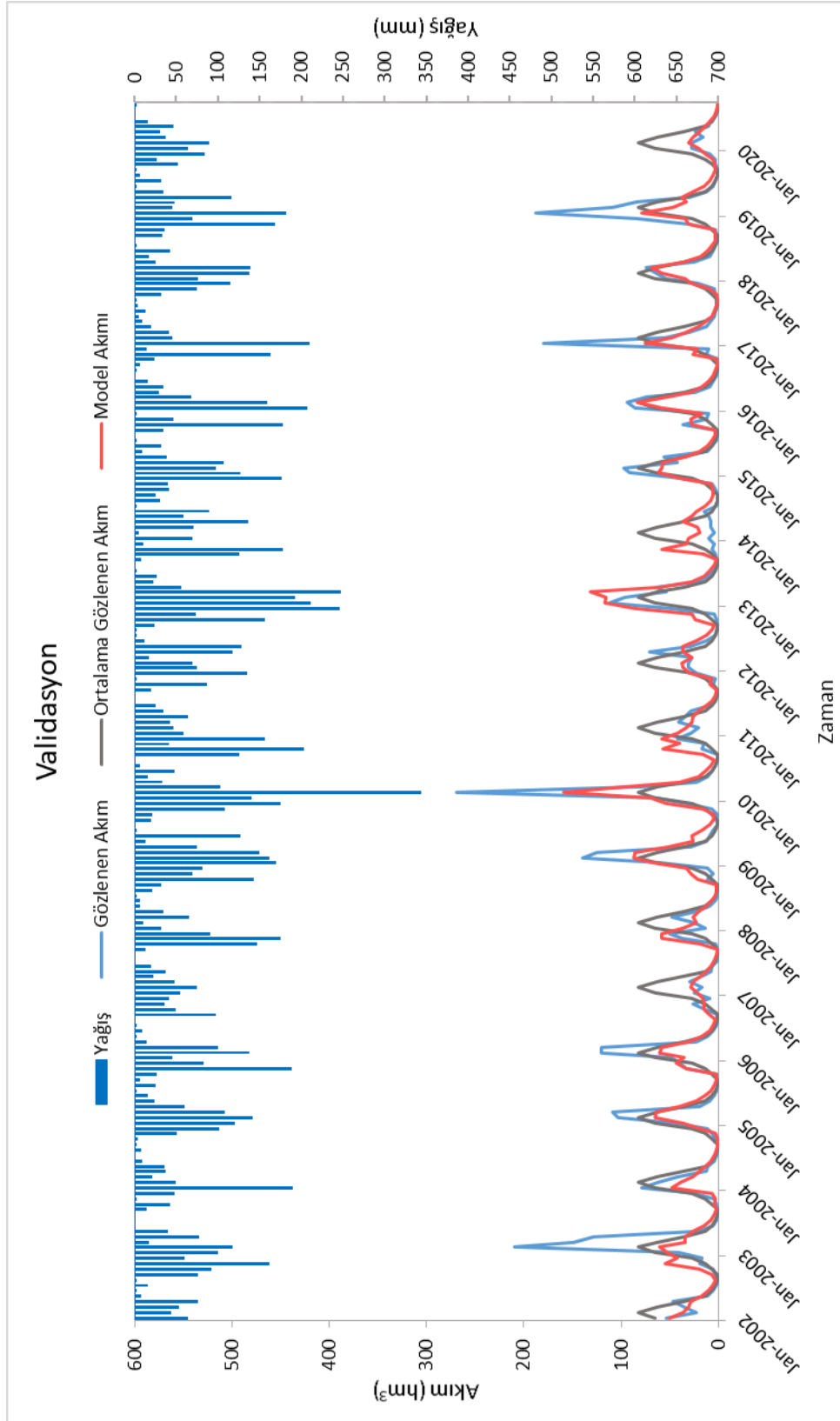
Tablo 5.11'de kalibrasyon ve validasyon dönemlerine ait model performans istatistikleri ve diğer özet bilgiler yer almaktadır. Şekil 5.16 ve Şekil 5.17 HBV-Light, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19 ise SWAT ile yapılan kalibrasyon ve validasyon sonucu elde edilen hidrografları göstermektedir.

Tablo 5.11 Gönen Çayı Alt Havzası Model Performans İstatistikleri

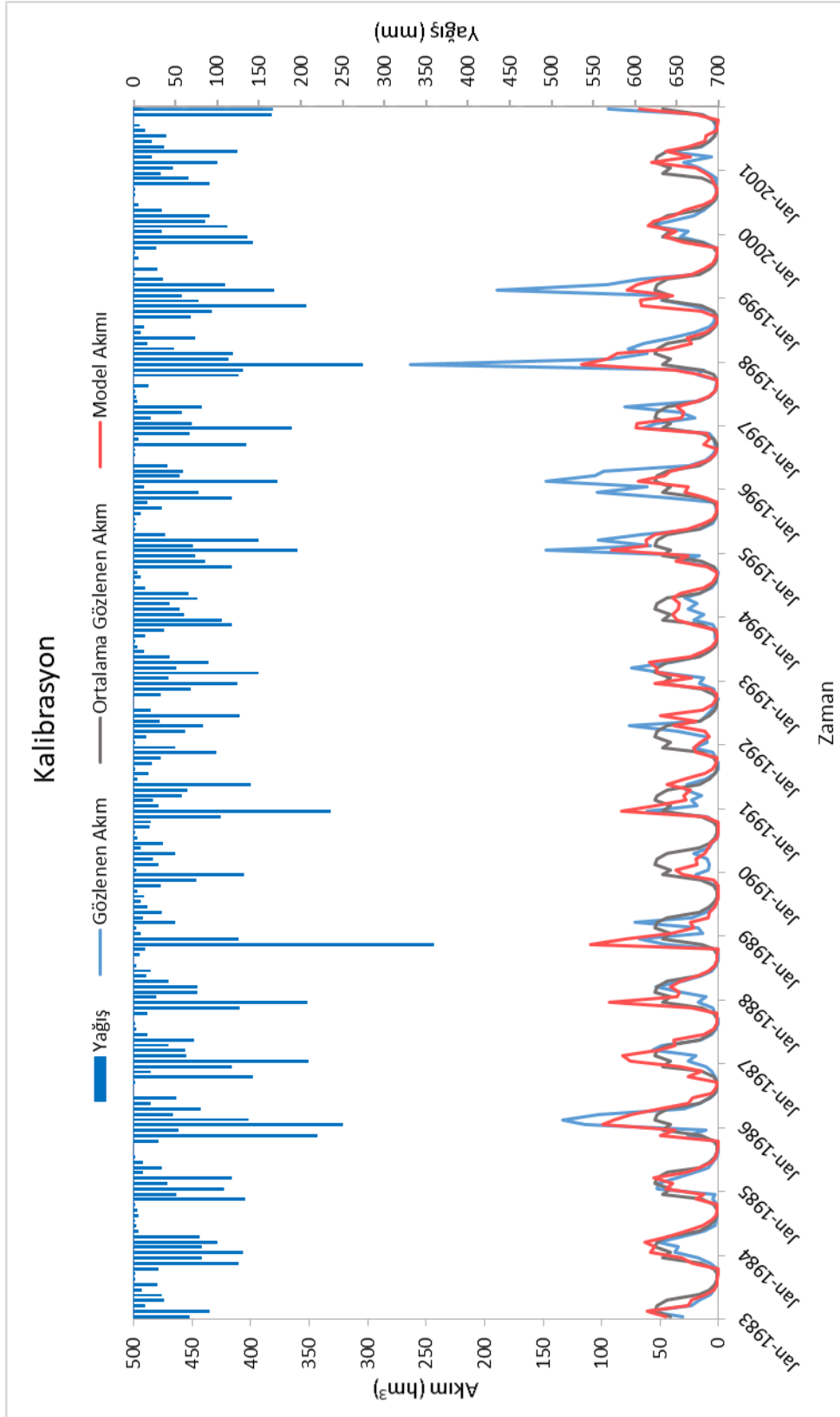
Model	Periyot	Dönem	NSE	RMSE	R ²	Std. Sap. (Model)	Std. Sap. (Gözlem)	Ort. Q (Model)	Ort. Q (Gözlem)
HBV	Kalibrasyon	1983-2001	0,58	0,60	0,77	22,51	34,50	24,33	24,15
	Validasyon	2002-2020	0,60	0,62	0,79	25,11	39,70	25,90	26,51
SWAT	Kalibrasyon	1983-2001	0,57	0,58	0,76	25,31	34,50	25,63	24,15
	Validasyon	2002-2020	0,62	0,62	0,79	31,23	39,70	26,16	26,51



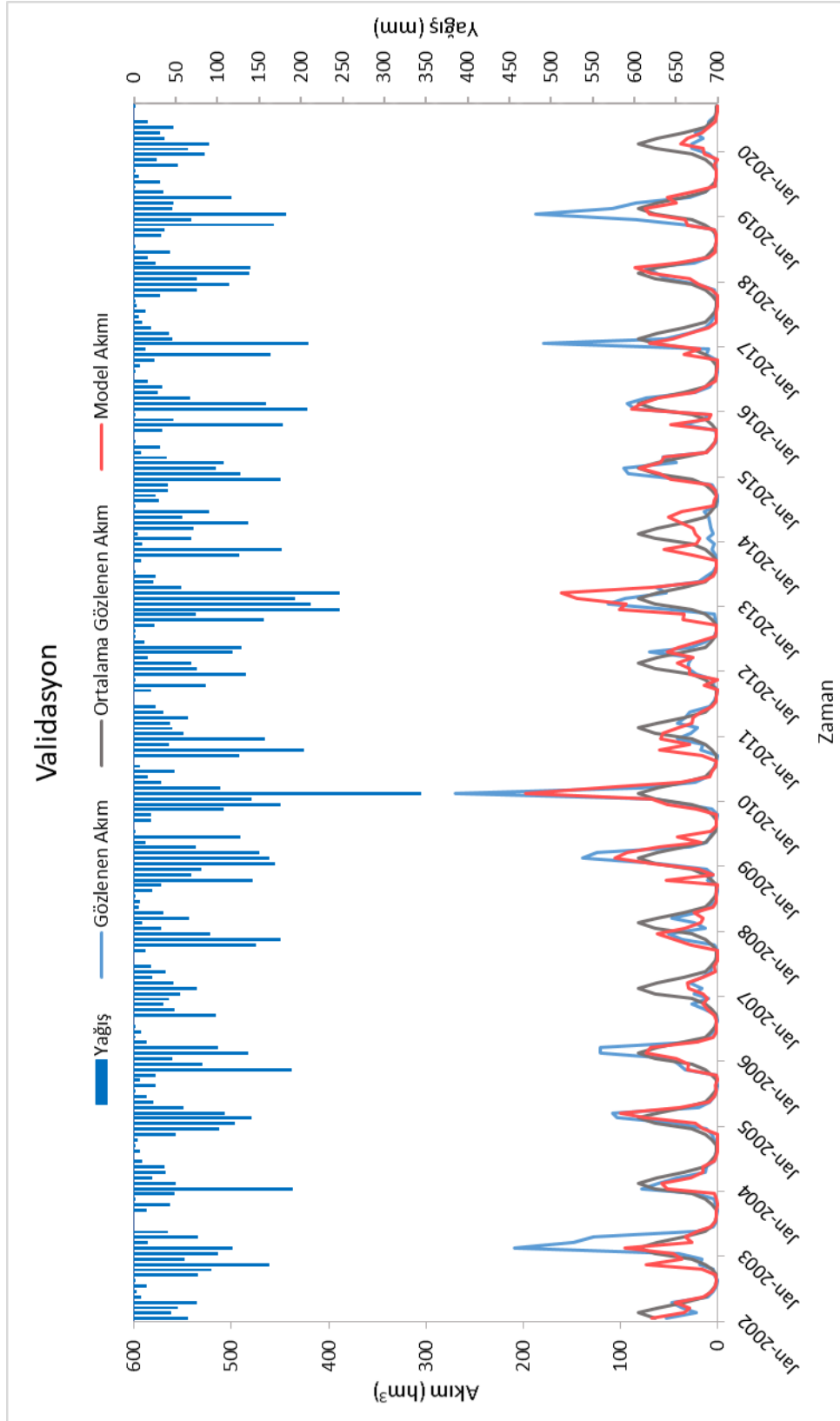
Şekil 5.16 Gönen Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon



Şekil 5.17 Gönen Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon



Şekil 5.18 Gönen Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon



Şekil 5.19 Gönen Çayı Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon

5.1.3.4. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)

Model kalibrasyonu için HBV-Light ve SWAT modellerine ait NSE değerleri sırasıyla 0,68 ve 0,55 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, validasyon için NSE değerleri sırasıyla 0,59 ve 0,55 olarak belirlenmiştir.

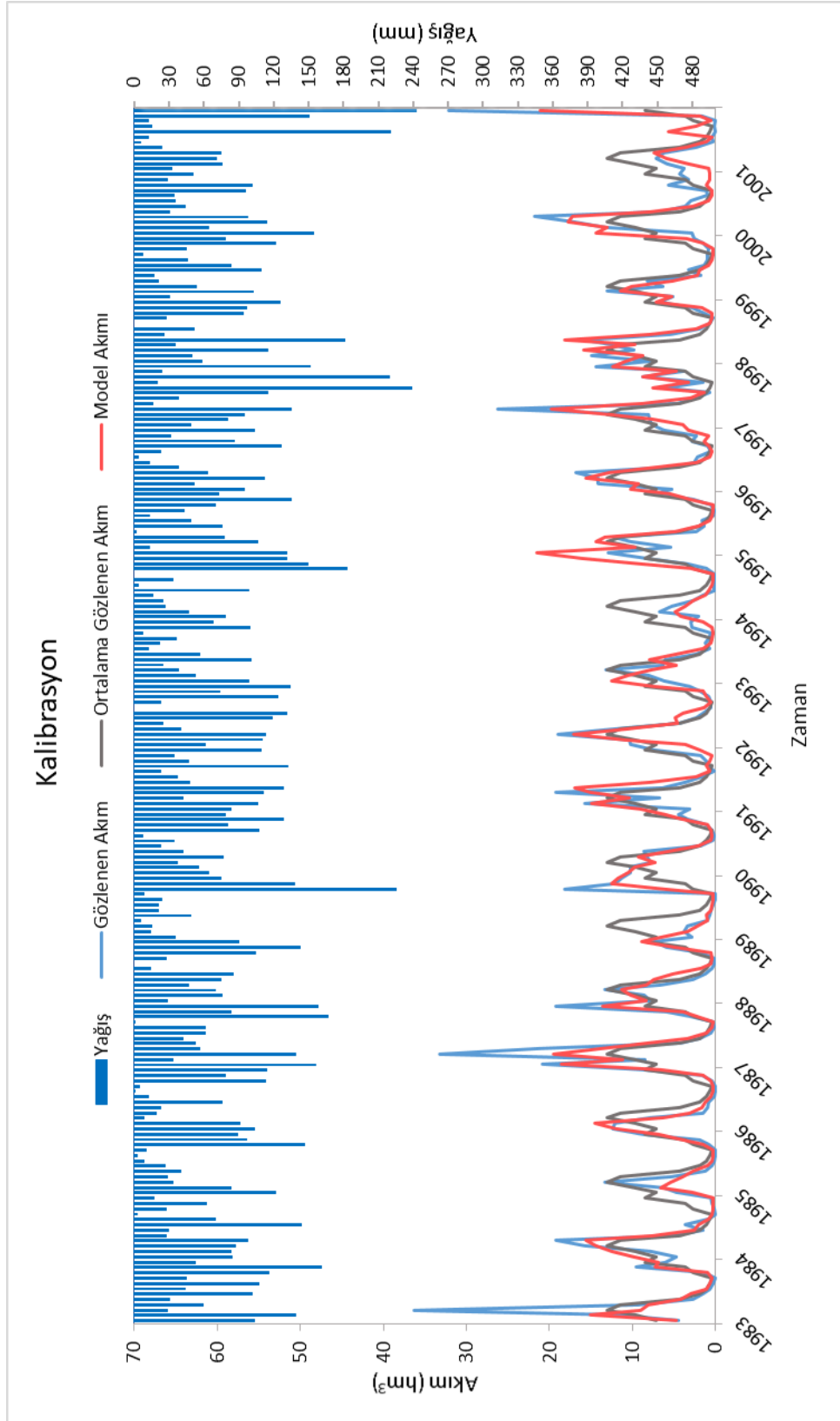
Model sonucu elde edilen aylık akım değerlerinin toplanmasıyla yıllık ortalama akım verileri elde edilmektedir. HBV-Light ile elde edilen bu ortalama değer kullanılarak alt havza için yüzey suyu potansiyeli 373,15 hm³ olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, SWAT modeli ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli ise 374,13 hm³'tur. Bu alt havzaya ait gözlemlenen veriler ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli 375,79 hm³ olarak elde edilmiştir.

Alt havzanın yeraltı suyu potansiyeli ise litolojik süzülme yöntemi ile 36,54 hm³ olarak belirlenmiştir.

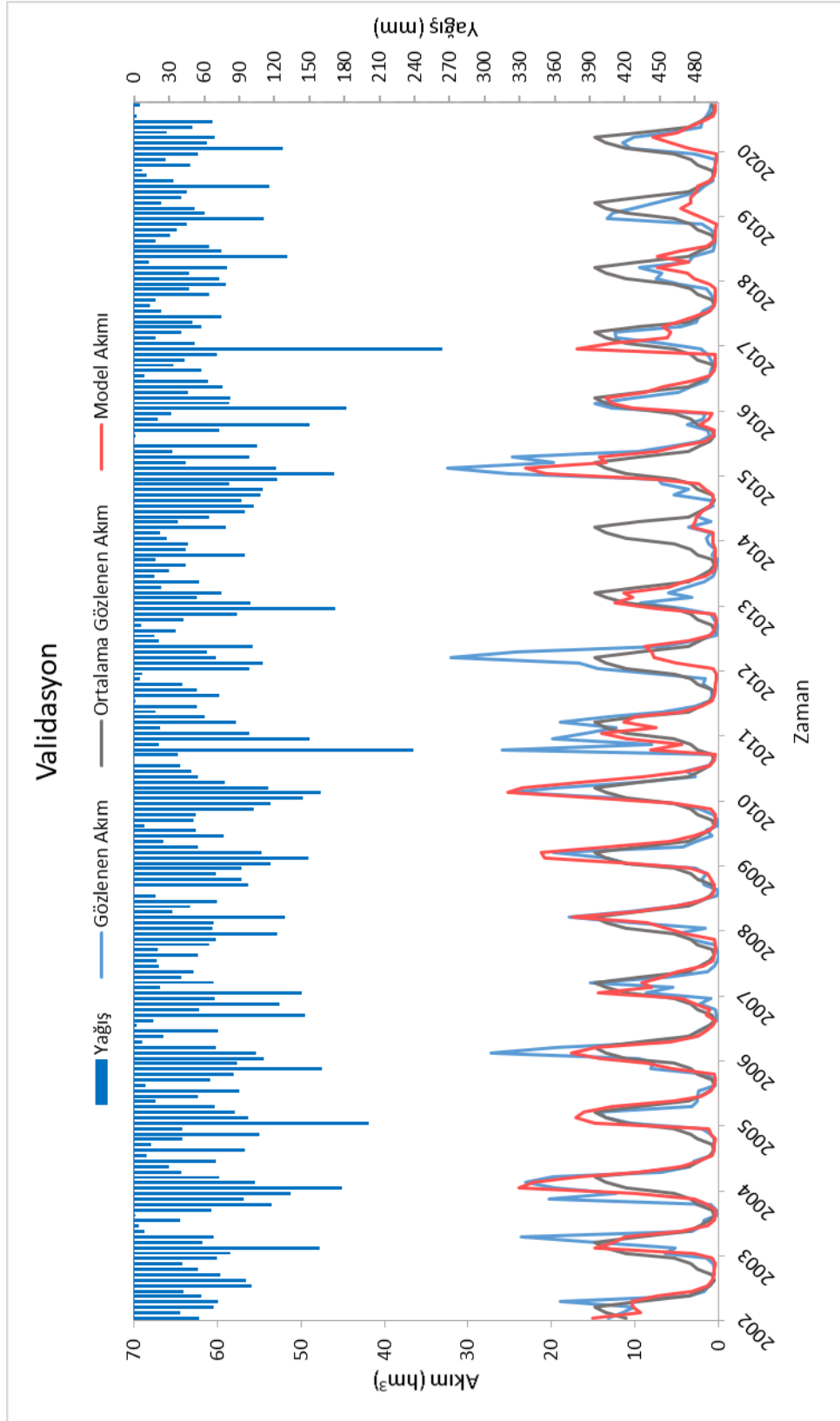
Tablo 5.12'de kalibrasyon ve validasyon dönemlerine ait model performans istatistikleri ve diğer özet bilgiler yer almaktadır. Şekil 5.20 ve Şekil 5.21 sırasıyla HBV-Light ve Şekil 5.22 ve Şekil 5.23 SWAT ile yapılan kalibrasyon ve validasyon sonucu elde edilen hidrografları göstermektedir.

Tablo 5.12 İznik Gölü Alt Havzası Model Performans İstatistikleri

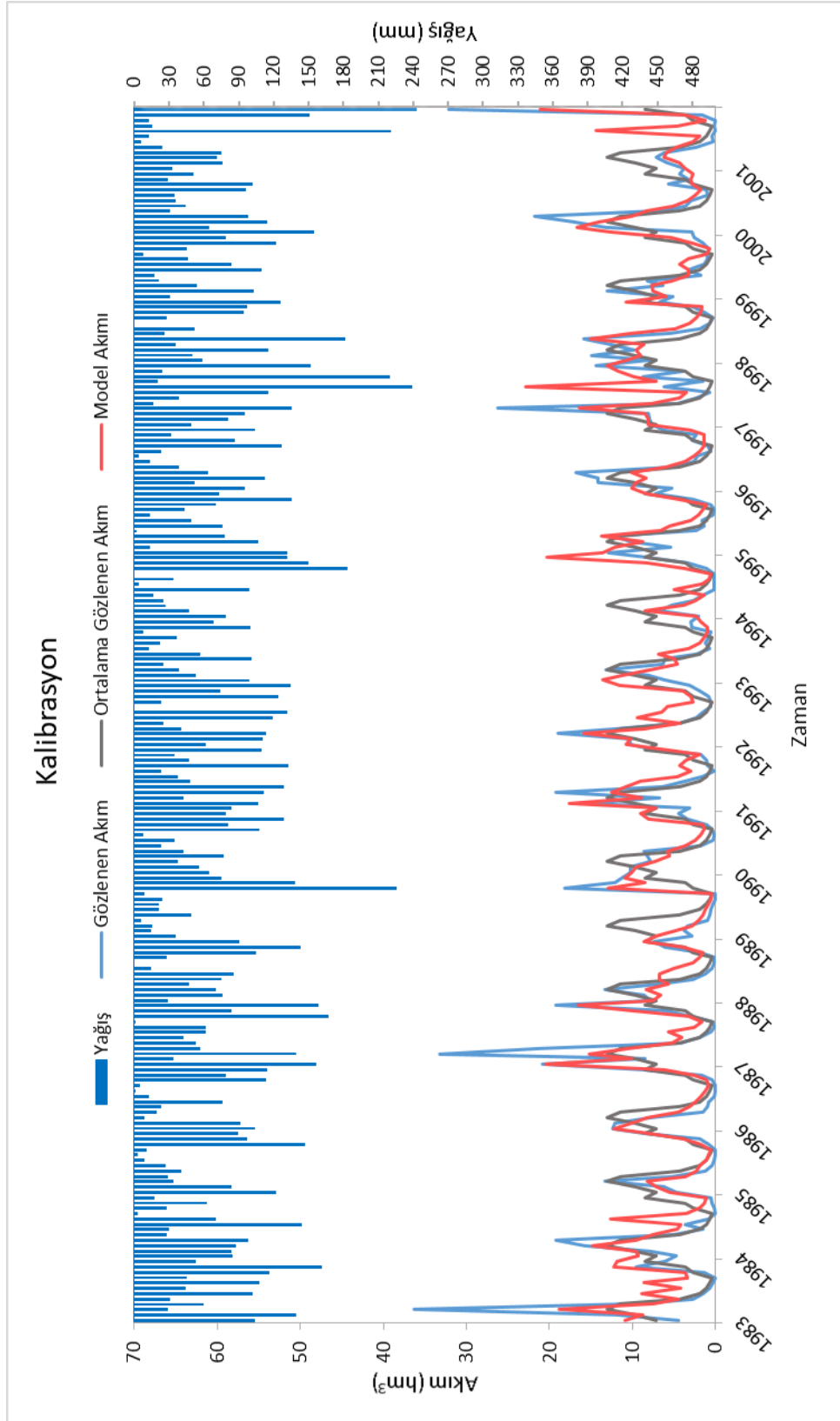
Model	Periyot	Dönem	NSE	RMSE	R ²	Std. Sap. (Model)	Std. Sap. (Gözlem)	Ort. Q (Model)	Ort. Q (Gözlem)
HBV	Kalibrasyon	1983-2001	0,68	0,68	0,82	5,25	6,21	5,37	5,41
	Validasyon	2002-2020	0,59	0,60	0,77	5,77	6,91	4,99	5,71
SWAT	Kalibrasyon	1983-2001	0,55	0,57	0,76	4,56	6,21	6,29	5,41
	Validasyon	2002-2020	0,55	0,56	0,75	5,92	6,91	5,96	5,71



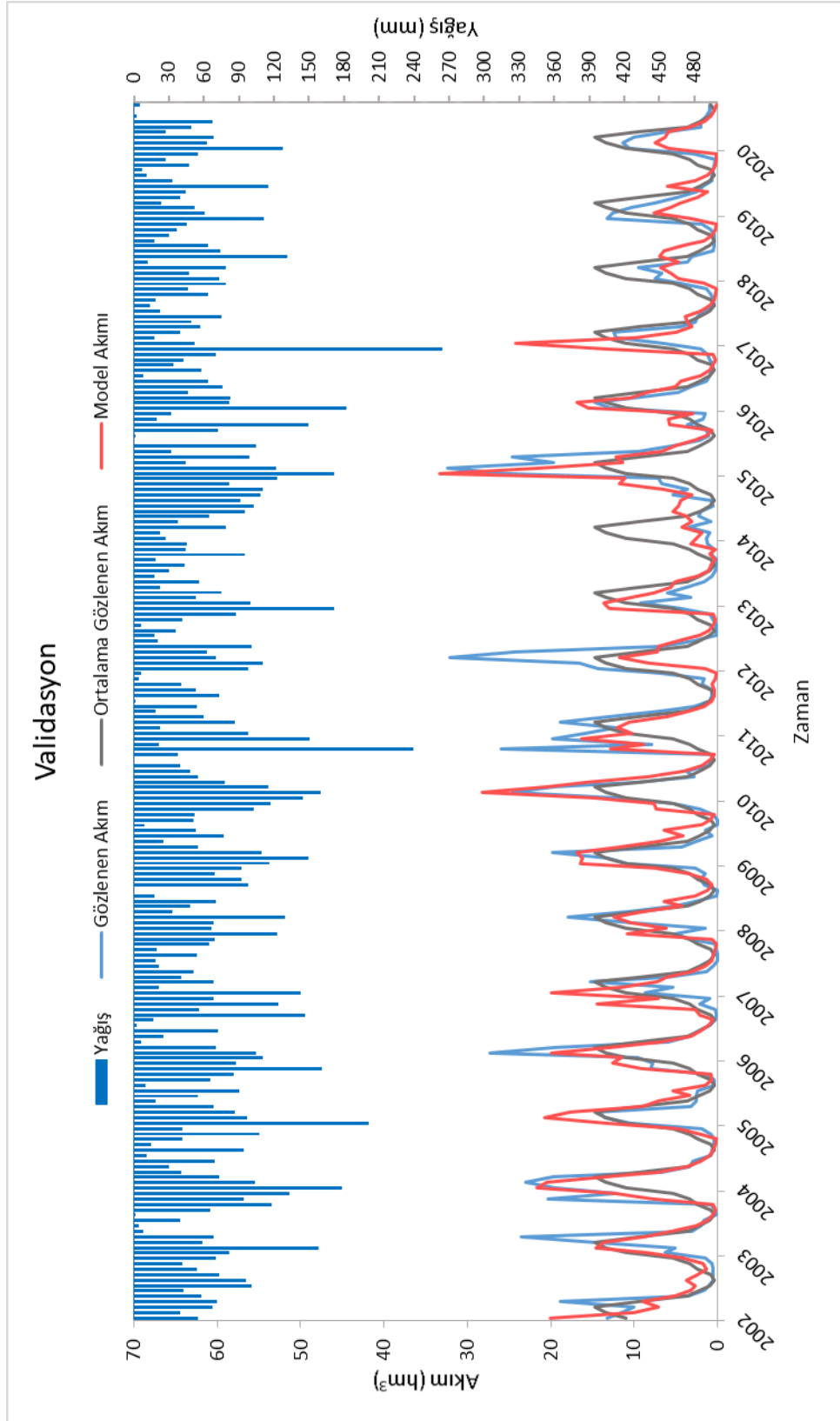
Şekil 5.20 İznik Gölü Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon



Şekil 5.21 İznik Gölü Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon



Şekil 5.22 İznik Gölü Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) -Kalibrasyon



Şekil 5.23 İznik Gölü Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon

5.1.3.5. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)

Model kalibrasyonu için HBV-Light ve SWAT modellerine ait NSE değerleri sırasıyla 0,73 ve 0,73 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, validasyon için NSE değerleri sırasıyla 0,63 ve 0,78 olarak belirlenmiştir.

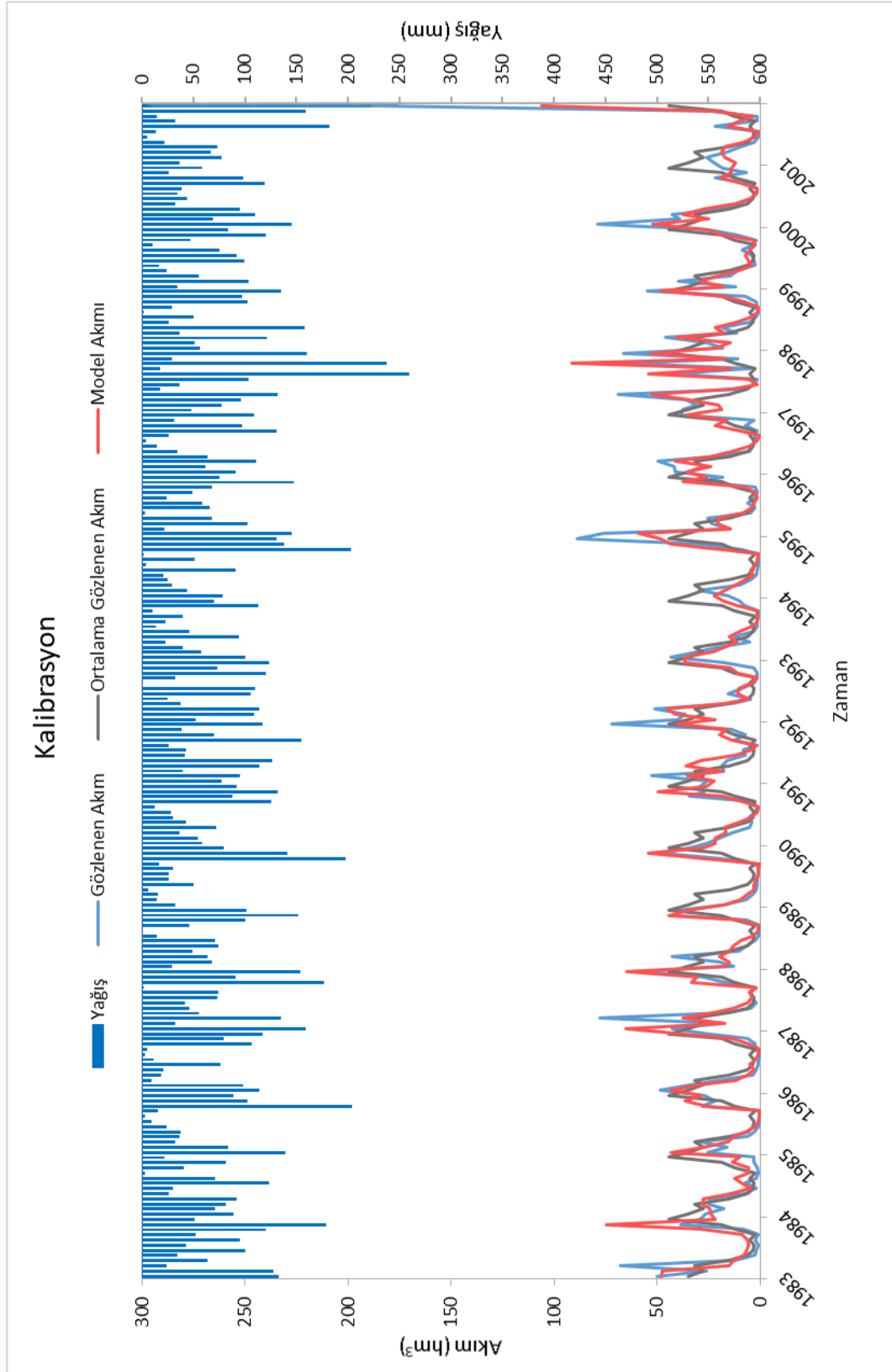
Model sonucu elde edilen aylık akım değerlerinin toplanmasıyla yıllık ortalama akım verileri elde edilmektedir. HBV-Light ile elde edilen bu ortalama değer kullanılarak alt havza için yüzey suyu potansiyeli 1480,00 hm³ olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, SWAT modeli ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli ise 1480,07 hm³'tur. Bu alt havzaya ait gözlemlenen veriler ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli 1488,59 hm³ olarak elde edilmiştir.

Ağva Alt Havzası'nda geçirimli formasyonlar; Karadeniz kıyısında, daha çok akarsuların denize ulaştığı bölgelerde cep şeklinde oluşmuş alüvyon sahaları (Şile ve Ağva civarında) olmakla birlikte günümüzde bu sahalar imara açıldığından ve tamamen yerleşim birimleri ile dolduğundan orijinal akifer ortamı kalmamıştır (DSİ, 2014).

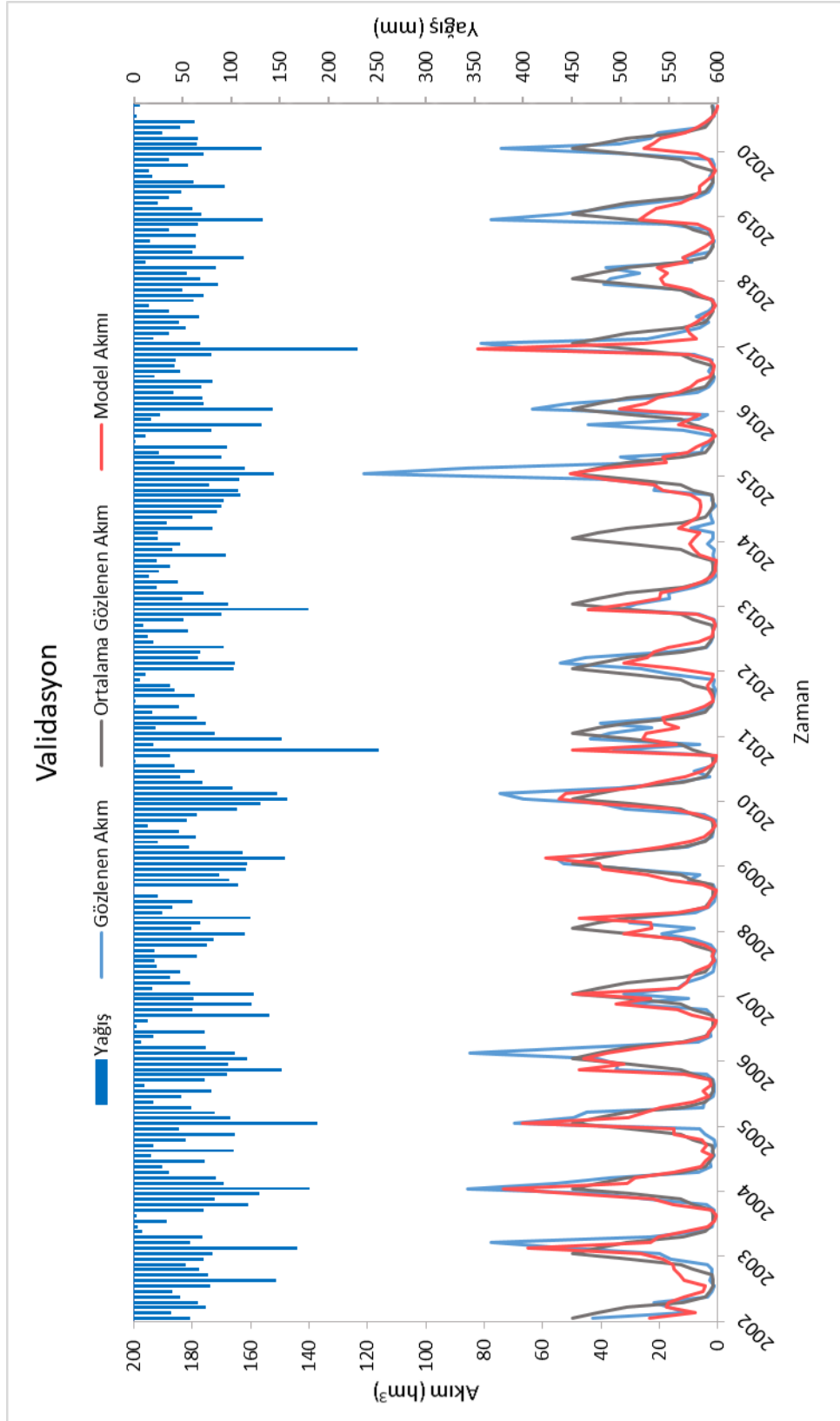
Tablo 5.13'te kalibrasyon ve validasyon dönemlerine ait model performans istatistikleri ve diğer özet bilgiler yer almaktadır. Şekil 5.24 ve Şekil 5.25 sırasıyla HBV-Light ve Şekil 5.26 ve Şekil 5.27 SWAT ile yapılan kalibrasyon ve validasyon sonucu elde edilen hidrografları göstermektedir.

Tablo 5.13 Ağva Deresi Alt Havzası Model Performans İstatistikleri

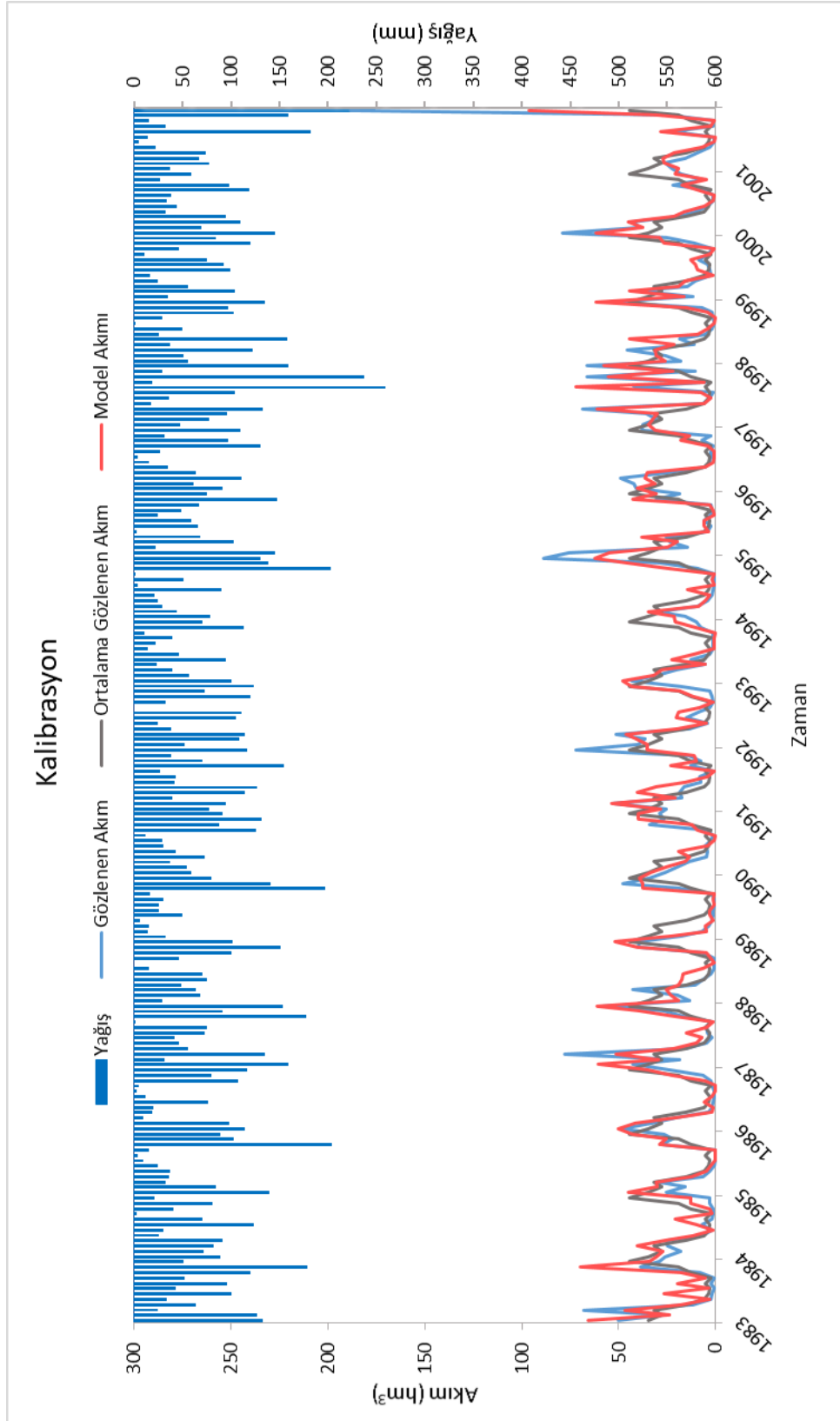
Model	Periyot	Dönem	NSE	RMSE	R ²	Std. Sap. (Model)	Std. Sap. (Gözlem)	Ort. Q (Model)	Ort. Q (Gözlem)
HBV	Kalibrasyon	1983-2001	0,73	0,73	0,86	16,81	21,52	17,86	17,16
	Validasyon	2002-2020	0,63	0,65	0,81	14,97	21,59	14,58	16,44
SWAT	Kalibrasyon	1983-2001	0,73	0,75	0,87	18,12	21,52	20,18	17,16
	Validasyon	2002-2020	0,78	0,79	0,89	18,18	21,59	18,21	16,43



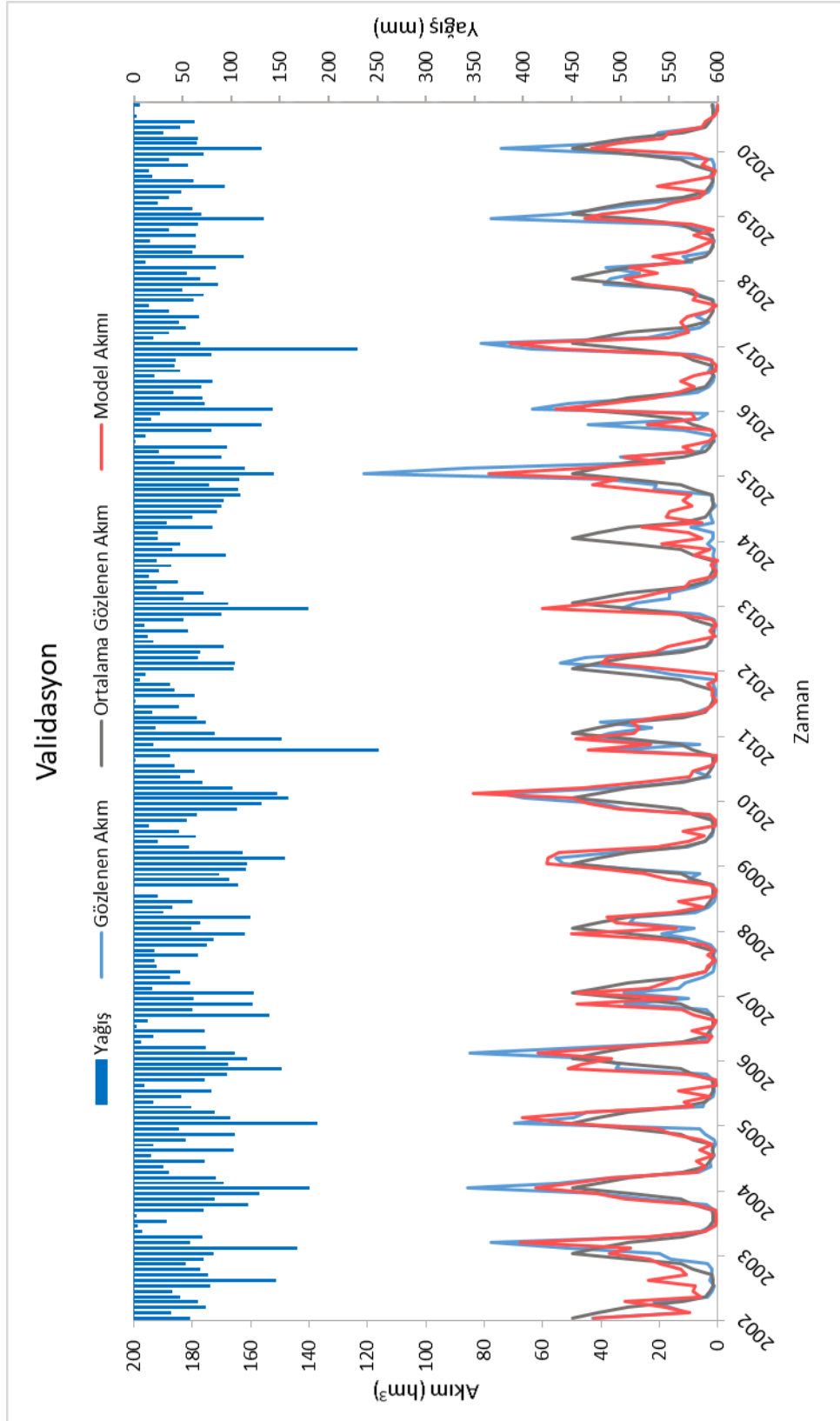
Şekil 5.24 Ağva Deresi Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon



Şekil 5.25 Ağva Deresi Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon



Şekil 5.26 Ağva Deresi Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon



Şekil 5.27 Ağva Deresi Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon

5.1.3.6. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)

Model kalibrasyonu için HBV-Light ve SWAT modellerine ait NSE değerleri sırasıyla 0,65 ve 0,60 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, validasyon için NSE değerleri sırasıyla 0,32 ve 0,39 olarak belirlenmiştir.

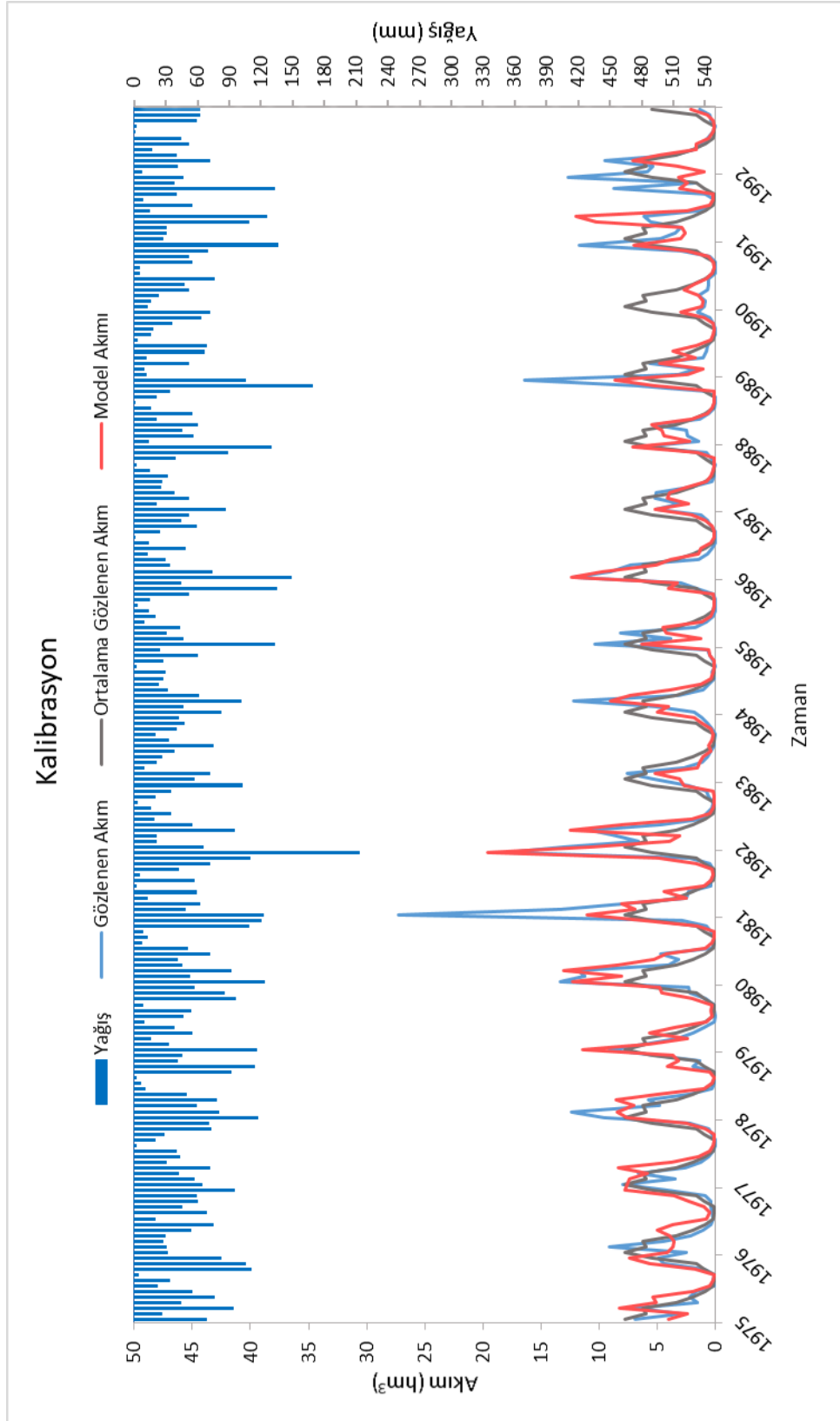
Model sonucu elde edilen aylık akım değerlerinin toplanmasıyla yıllık ortalama akım verileri elde edilmektedir. HBV-Light ile elde edilen bu ortalama değer kullanılarak alt havza için yüzey suyu potansiyeli 716,83 hm³ olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, SWAT modeli ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli ise 717,90 hm³'tur. Bu alt havzaya ait gözlemlenen veriler ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli 727,95 hm³ olarak elde edilmiştir.

Alt havzanın yeraltı suyu potansiyeli ise litolojik süzülme yöntemi ile 171,50 hm³ olarak belirlenmiştir.

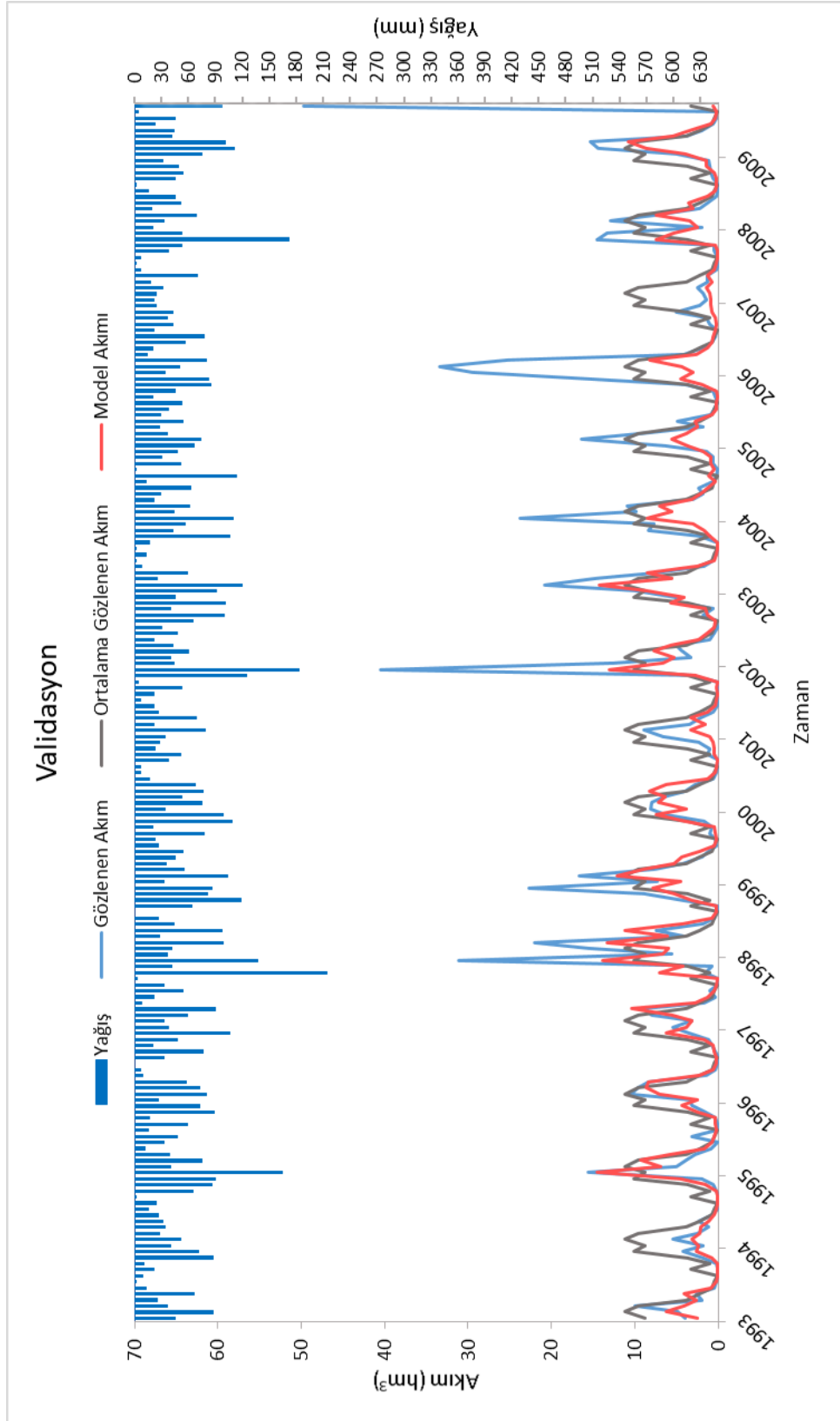
Tablo 5.14'te kalibrasyon ve validasyon dönemlerine ait model performans istatistikleri ve diğer özet bilgiler yer almaktadır. Şekil 5.28 ve Şekil 5.29 sırasıyla HBV-Light ve Şekil 5.30 ve Şekil 5.31 SWAT ile yapılan kalibrasyon ve validasyon sonucu elde edilen hidrografları göstermektedir.

Tablo 5.14 Batı İstanbul Alt Havzası Model Performans İstatistikleri

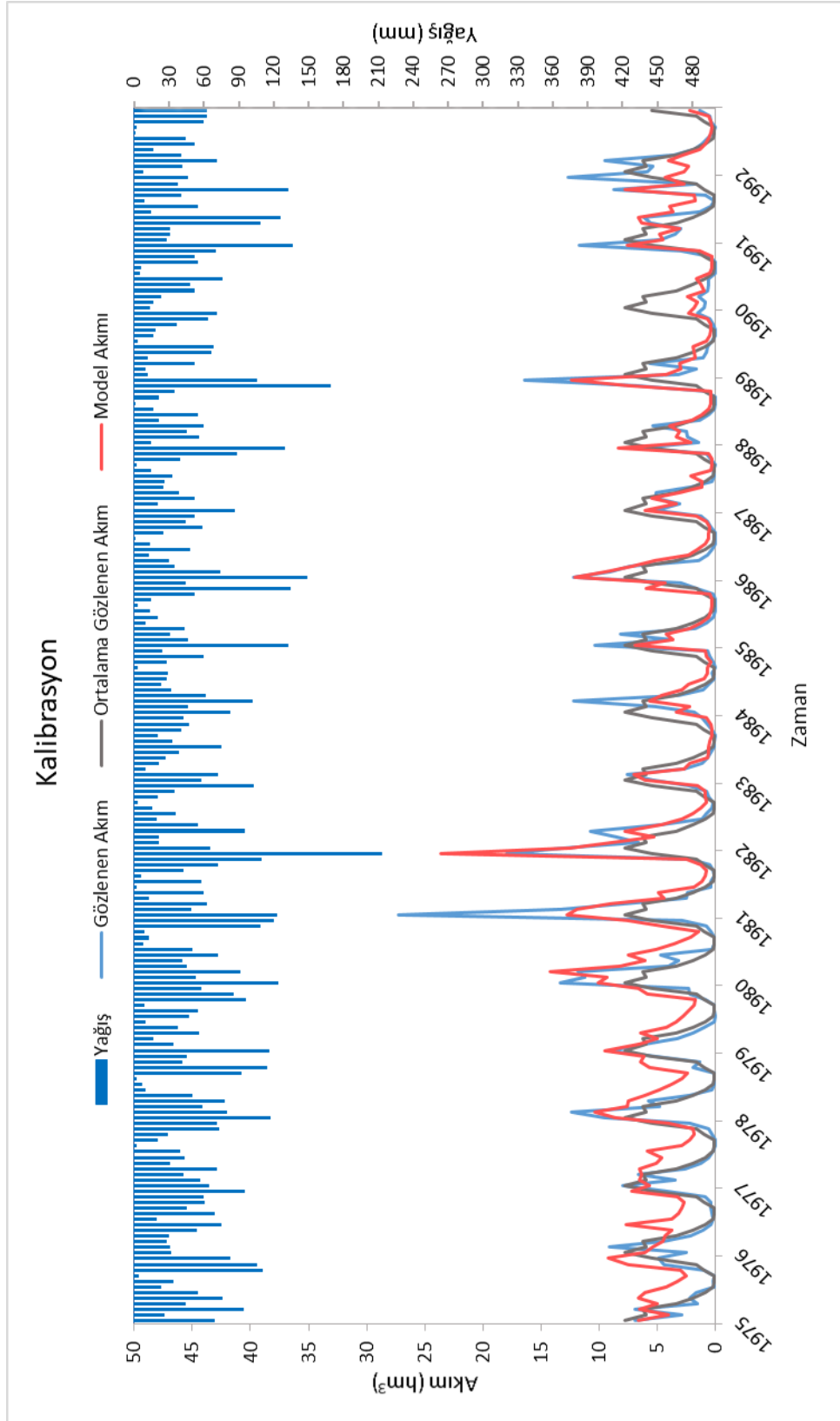
Model	Periyot	Dönem	NSE	RMSE	R ²	Std. Sap. (Model)	Std. Sap. (Gözlem)	Ort. Q (Model)	Ort. Q (Gözlem)
HBV	Kalibrasyon	1975-1992	0,65	0,66	0,81	3,27	3,95	3,07	2,91
	Validasyon	1993-2009	0,32	0,40	0,63	3,28	7,27	3,04	4,59
SWAT	Kalibrasyon	1975-1992	0,60	0,64	0,80	3,27	3,95	3,76	2,91
	Validasyon	1993-2009	0,39	0,39	0,62	4,54	7,27	4,38	4,59



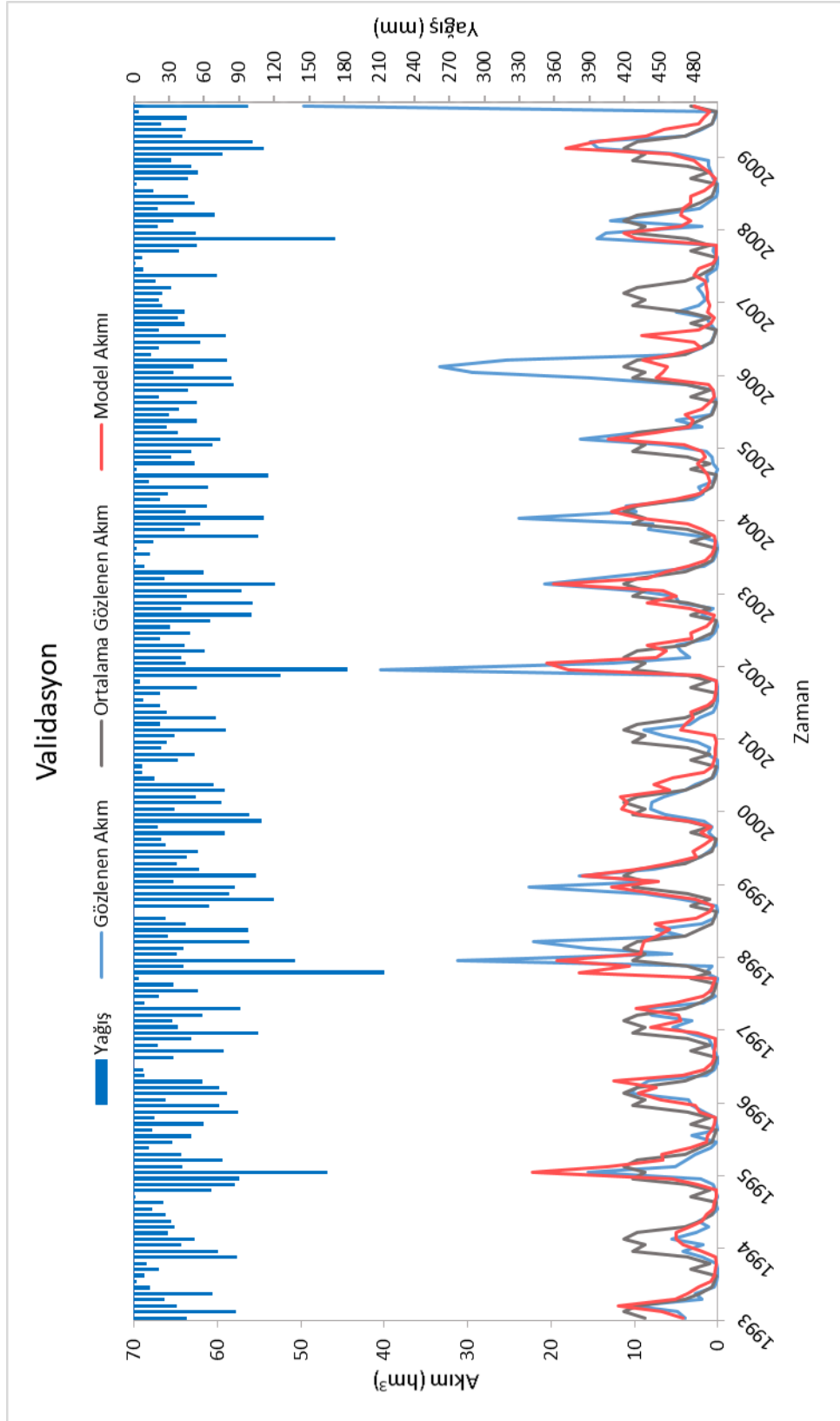
Şekil 5.28 Batı İstanbul Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon



Şekil 5.29 Batı İstanbul Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon



Şekil 5.30 Batı İstanbul Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon



Şekil 5.31 Batı İstanbul Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon

5.1.3.7. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8)

Model kalibrasyonu için HBV-Light ve SWAT modellerine ait NSE değerleri sırasıyla 0,53 ve 0,52 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, validasyon için NSE değerleri sırasıyla 0,20 ve 0,19 olarak belirlenmiştir.

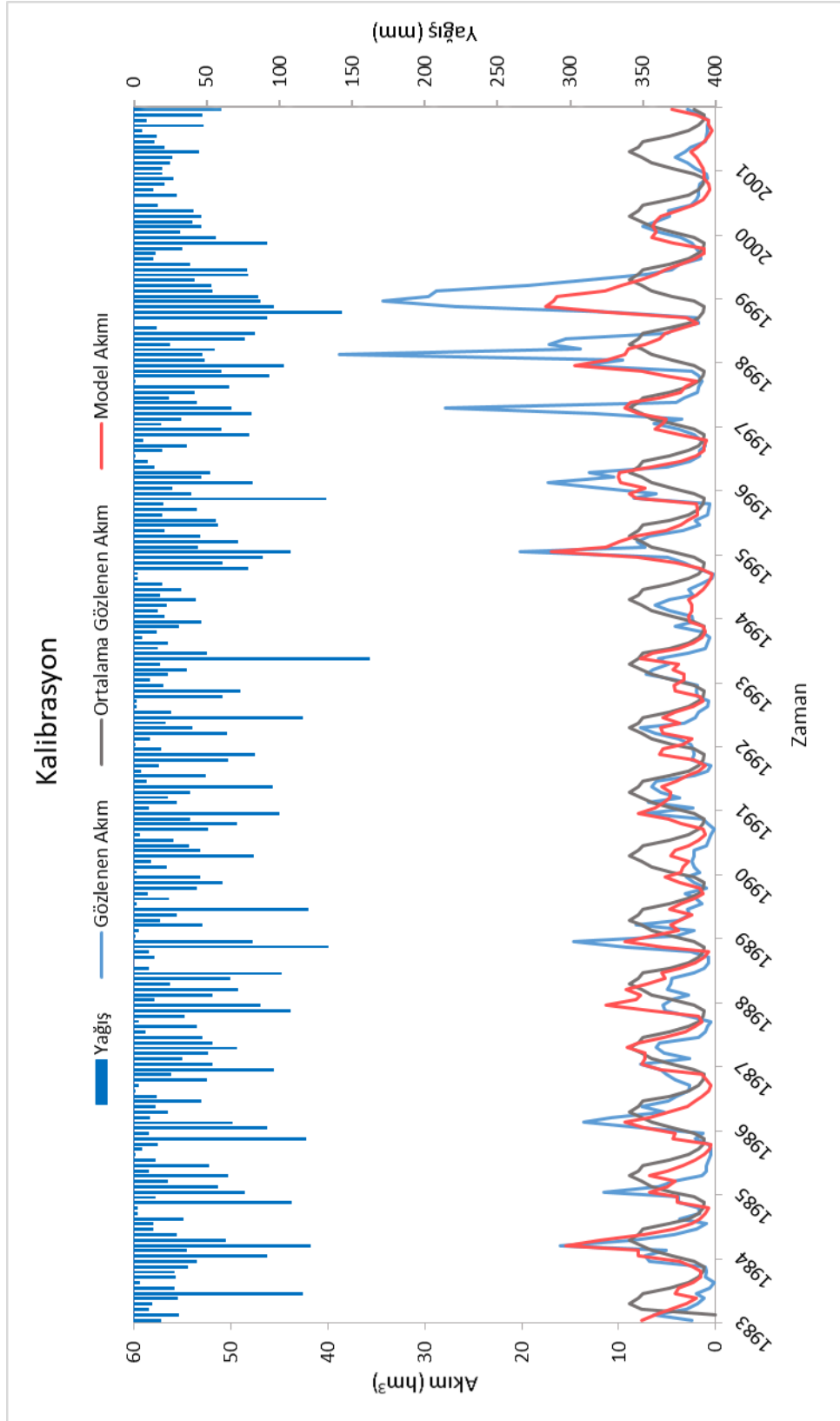
Model sonucu elde edilen aylık akım değerlerinin toplanmasıyla yıllık ortalama akım verileri elde edilmektedir. HBV-Light ile elde edilen bu ortalama değer kullanılarak alt havza için yüzey suyu potansiyeli 650,29 hm³ olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, SWAT modeli ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli ise 651,47 hm³'tur. Bu alt havzaya ait gözlemlenen veriler ile hesaplanan yüzey suyu potansiyeli 653,45 hm³ olarak elde edilmiştir.

Alt havzanın yeraltı suyu potansiyeli ise litolojik süzülme yöntemi ile 36,13 hm³ olarak belirlenmiştir.

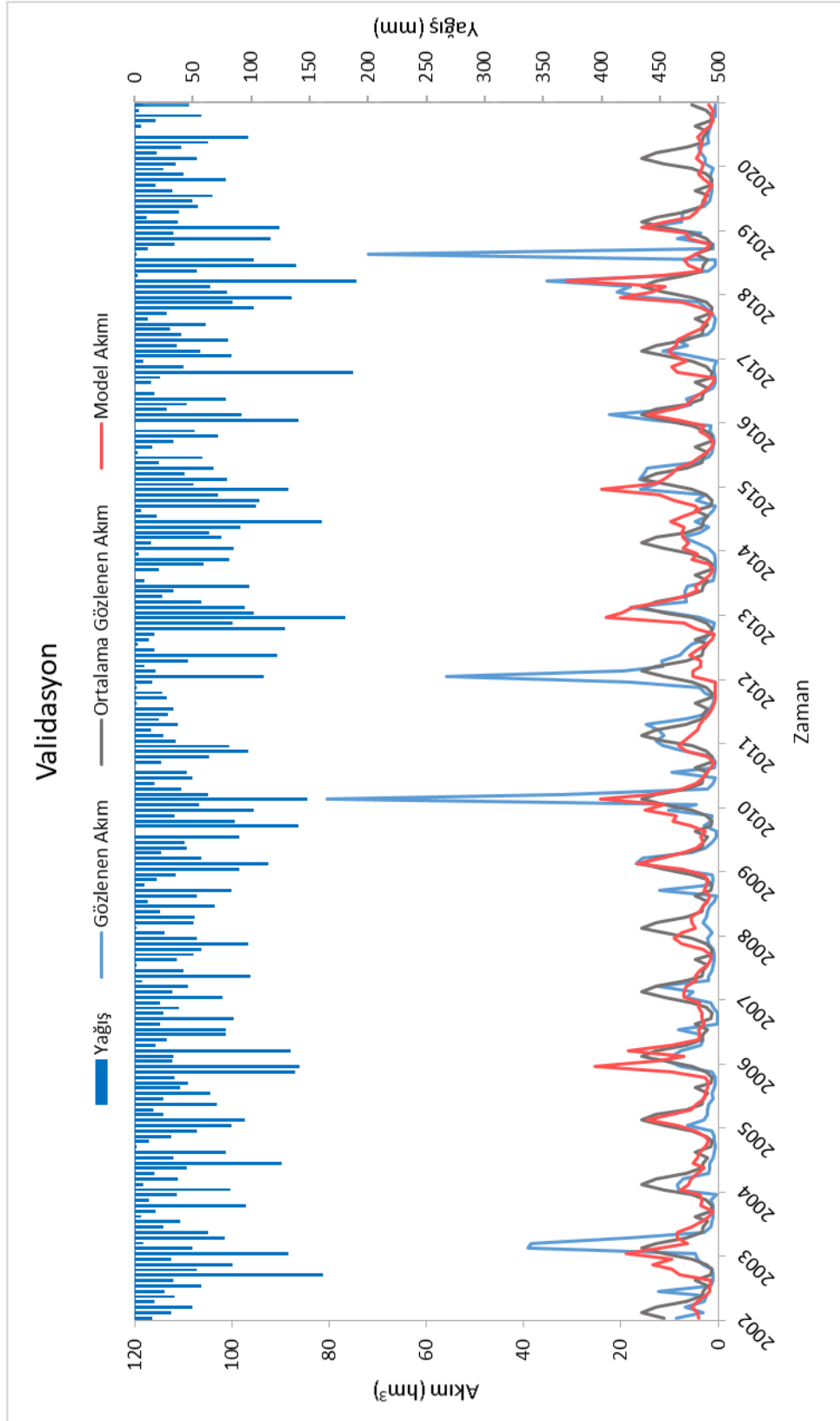
Tablo 5.15'te kalibrasyon ve validasyon dönemlerine ait model performans istatistikleri ve diğer özet bilgiler yer almaktadır. Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 sırasıyla HBV-Light ve Şekil 5.34 ve Şekil 5.35 SWAT ile yapılan kalibrasyon ve validasyon sonucu elde edilen hidrografları göstermektedir.

Tablo 5.15 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Model Performans İstatistikleri

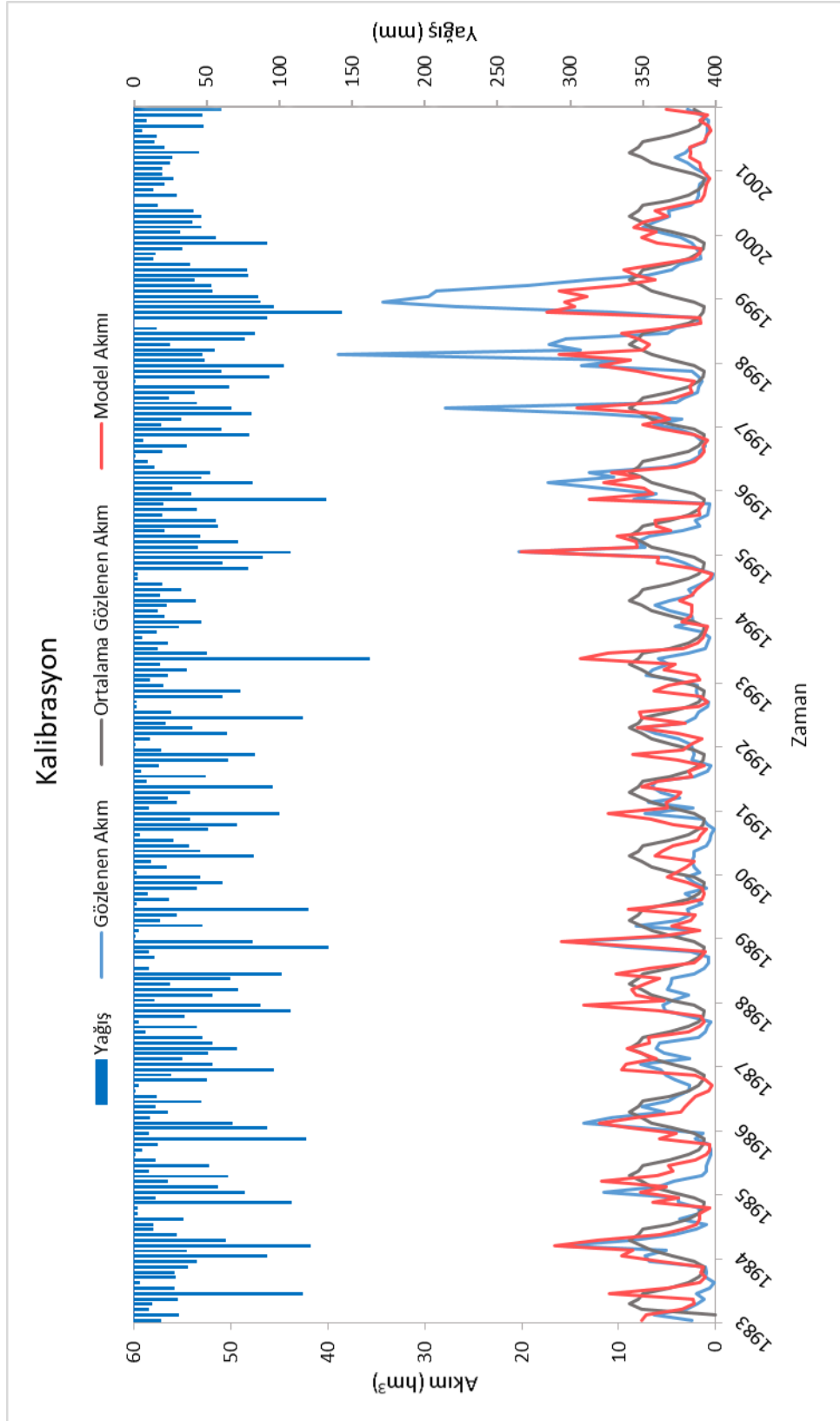
Model	Periyot	Dönem	NSE	RMSE	R ²	Std. Sap. (Model)	Std. Sap. (Gözlem)	Ort. Q (Model)	Ort. Q (Gözlem)
HBV	Kalibrasyon	1983-2001	0,53	0,56	0,75	3,37	5,74	4,58	4,76
	Validasyon	2002-2020	0,20	0,21	0,46	4,91	9,77	5,93	5,84
SWAT	Kalibrasyon	1983-2001	0,52	0,52	0,72	3,93	5,74	5,04	4,76
	Validasyon	2002-2020	0,19	0,20	0,45	4,66	9,77	6,34	5,84



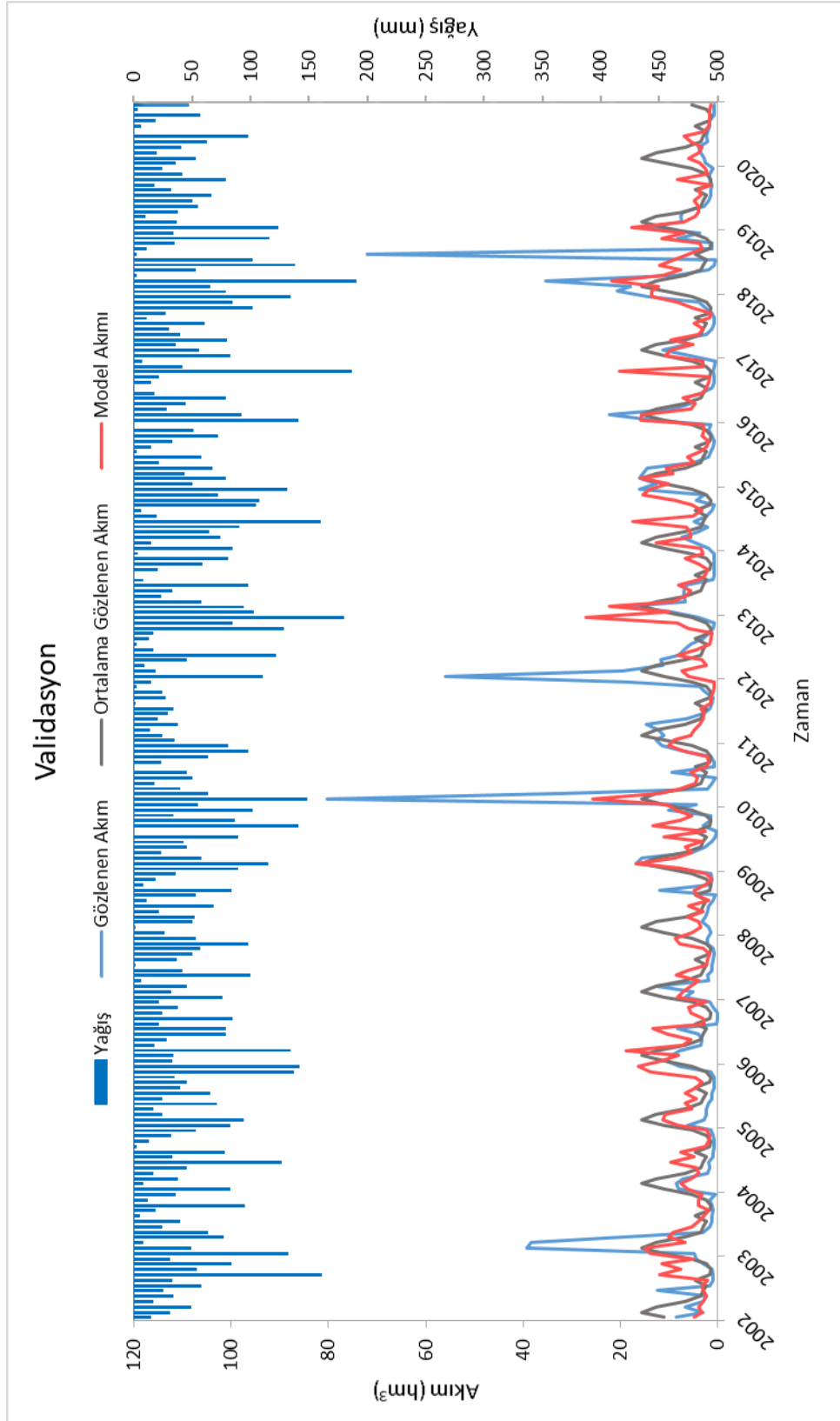
Şekil 5.32 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Kalibrasyon



Şekil 5.33 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV) - Validasyon



Şekil 5.34 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Kalibrasyon

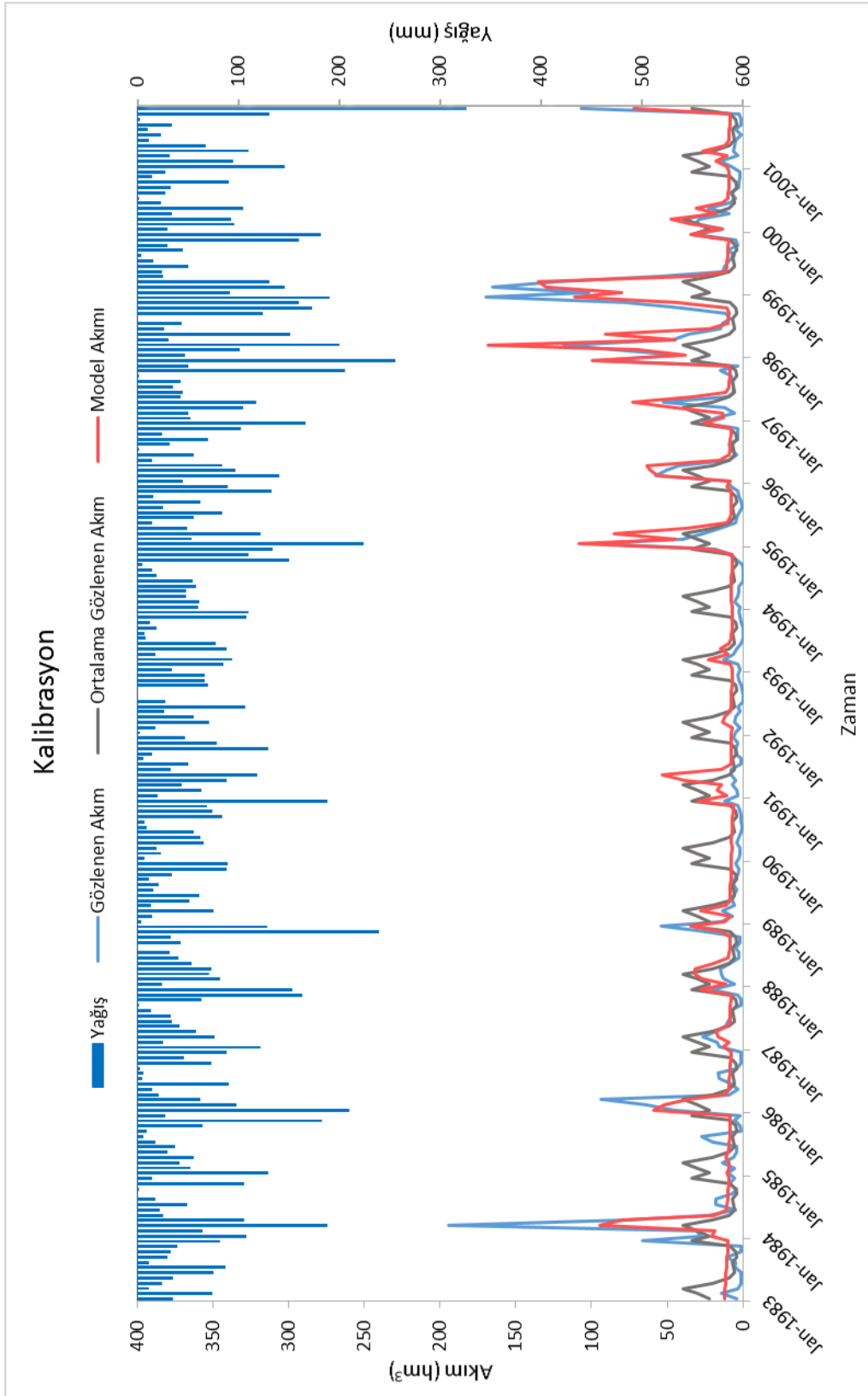


Şekil 5.35 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT) - Validasyon

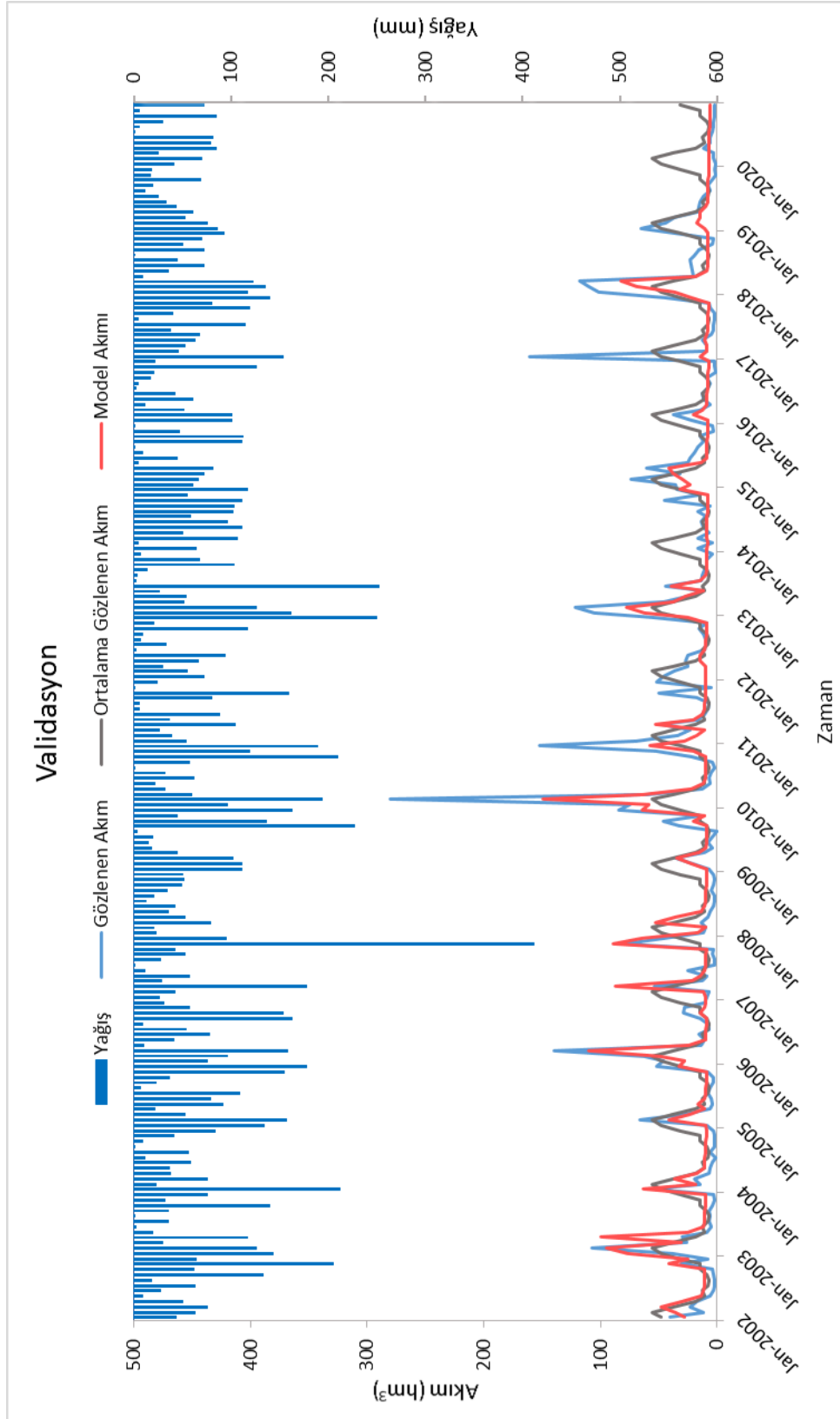
5.1.3.8. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8)

Kuzey Çanakkale Alt Havzası'nda doğallaştırılmış AGİ bulunmadığı için civarında bulunan Hayrabolu Alt Havzası'ndan alan oranıyla taşınmıştır. Buna göre, Kuzey Çanakkale Alt Havzası için elde edilen yüzey su potansiyeli HBV–Light ve SWAT modelleri sonuçlarından sırasıyla 411,51 ve 414,96 hm³ olarak hesaplanmıştır. Model kalibrasyon ve validasyon çalışmaları için de aynı yöntem uygulanmıştır. HBV-Light ve SWAT grafik sonuçları Şekil 5.36 - 5.39 üzerinde gösterilmiştir.

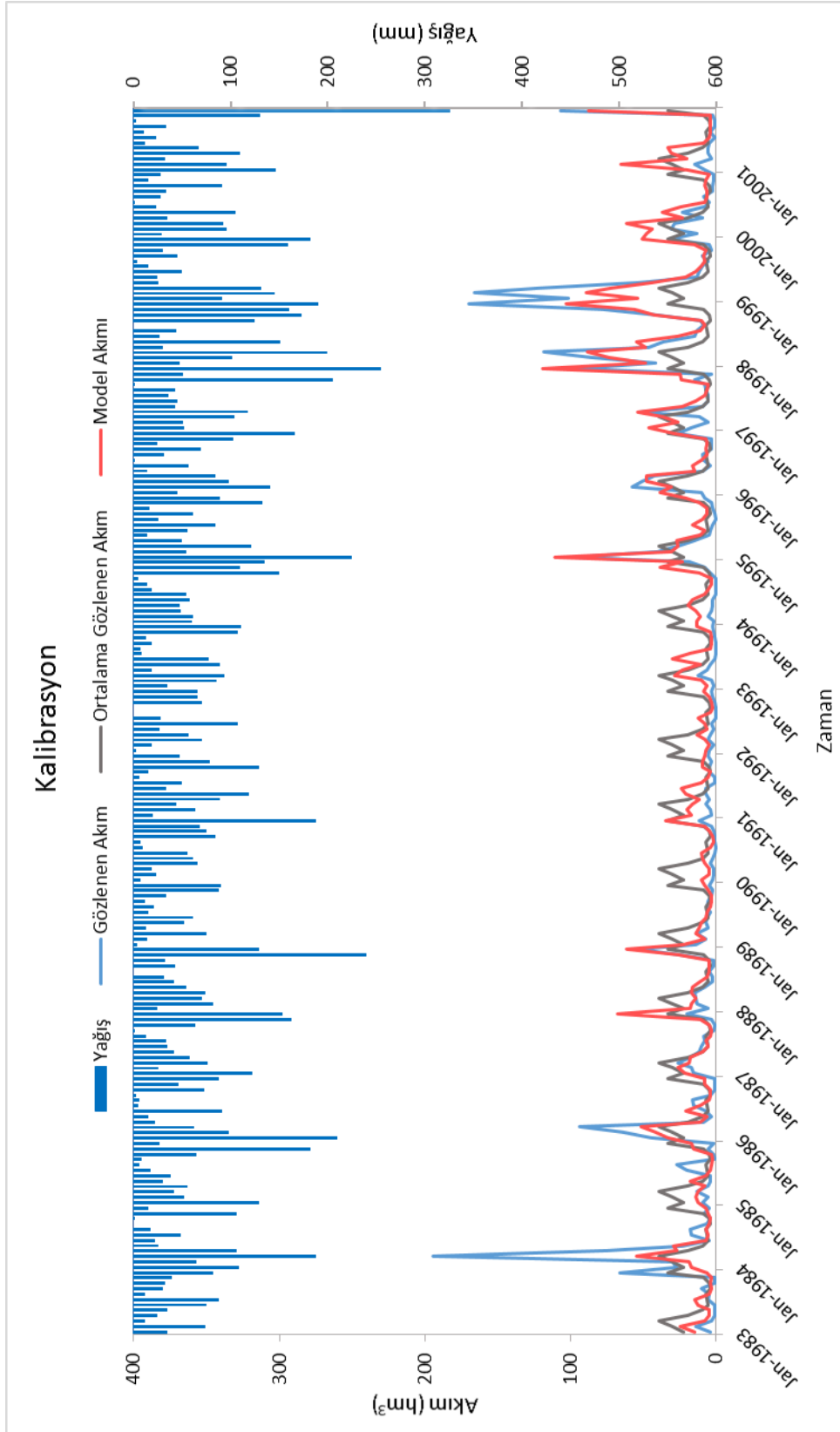
Alt havzanın yeraltı suyu potansiyeli ise litolojik süzülme yöntemi ile 162,04 hm³ olarak hesaplanmıştır.



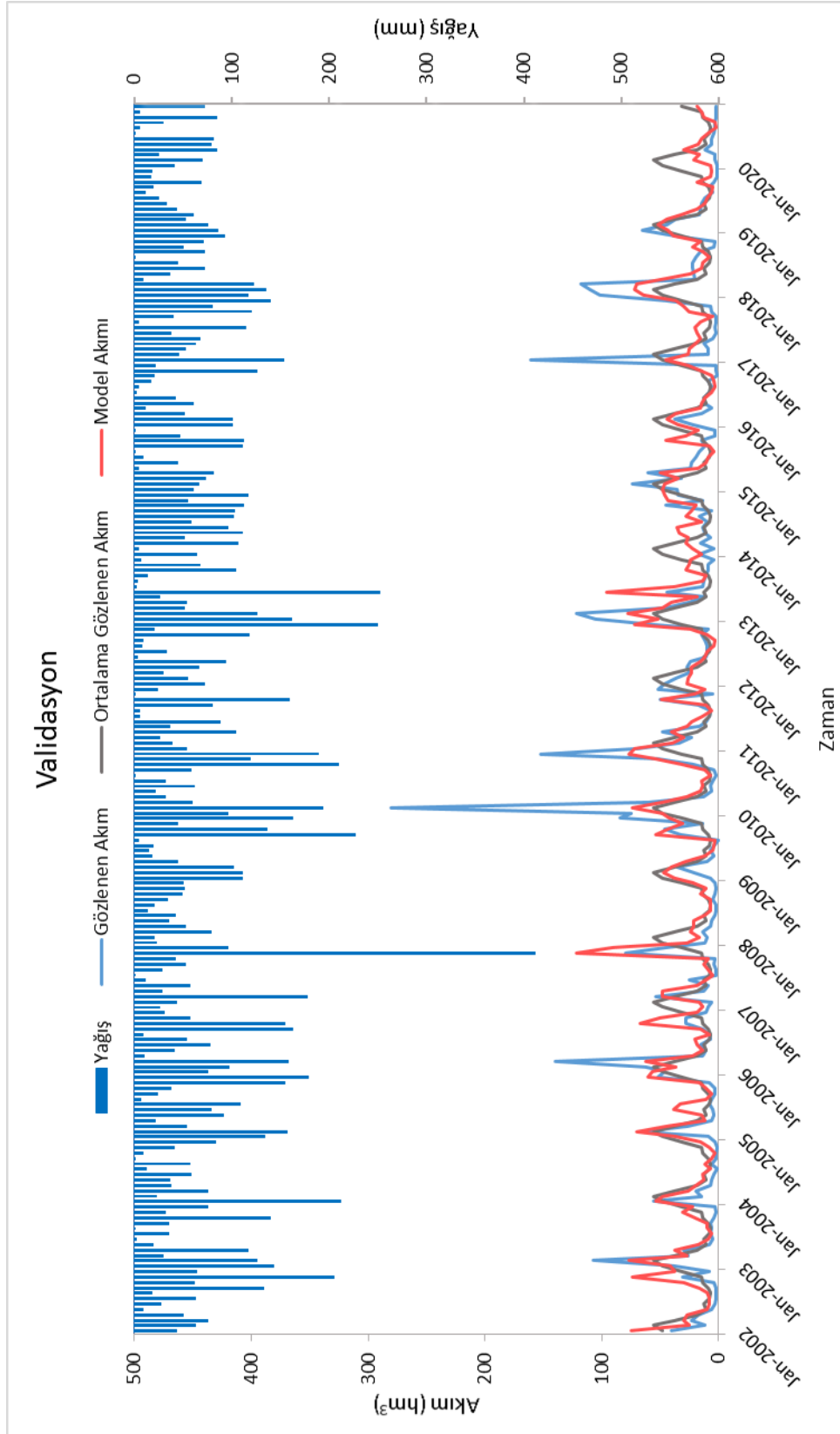
Şekil 5.36 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Aylık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV-Light)-Kalibrasyon



Şekil 5.37 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Aylık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (HBV-Light)-Validasyon



Şekil 5.38 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Aylık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT)-Kalibrasyon



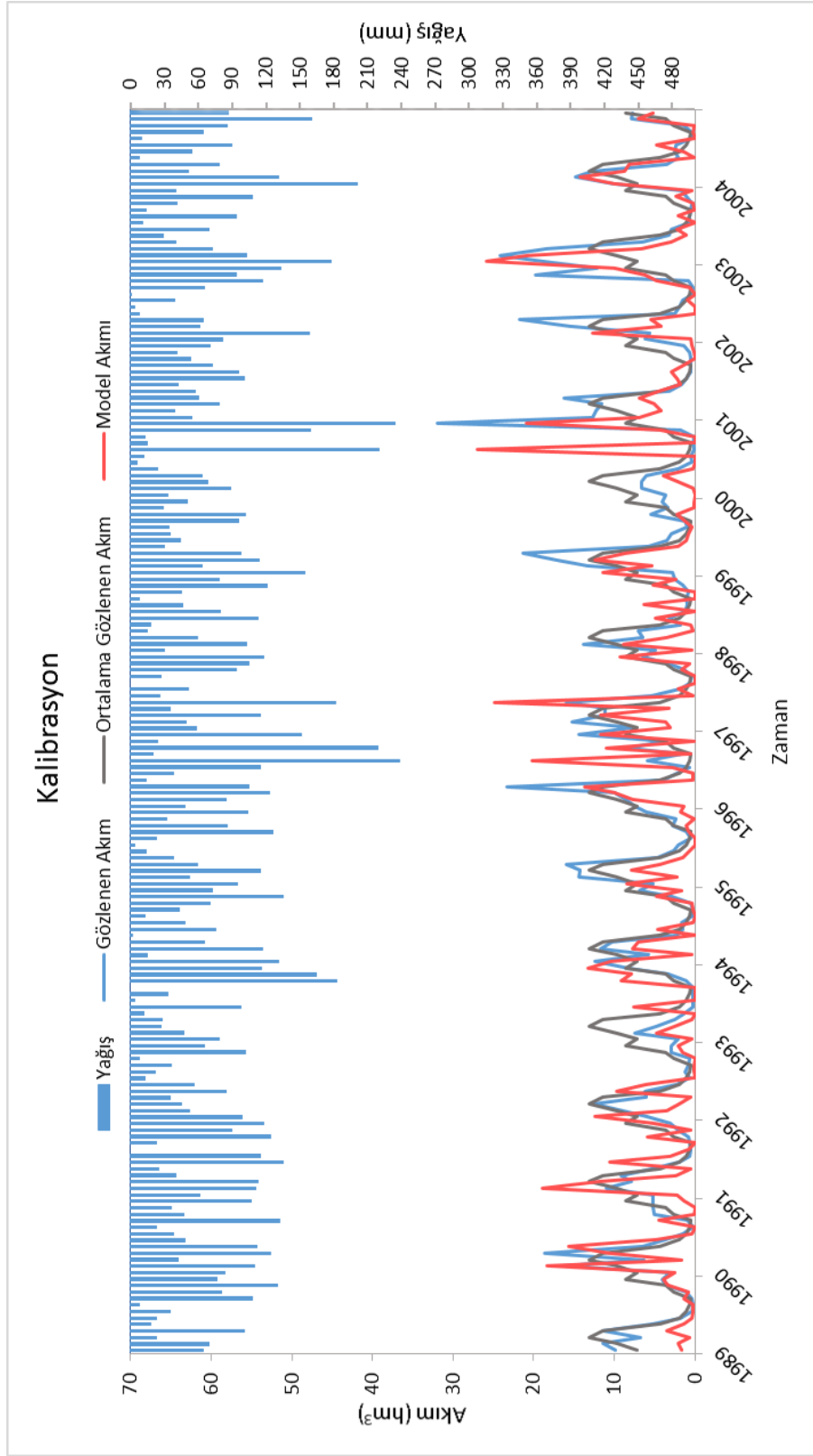
Şekil 5.39 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Aylık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması (SWAT)-Validasyon

5.1.3.9. HİDROTÜRK Model Sonuçları

Burada HİDROTÜRK ile örnek bir hidrolojik modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bunun için uygulama alanı olarak İznik Gölü Alt Havzası' da yer alan ve drenaj alanı 220,37 km² olarak belirlenen Çakırca Alt Havzası (AGİ No: D02A031) seçilmiştir. Modelleme için AGİ'ye ait 16 yıllık (1990-2005) veri seti kullanılmıştır. Model kalibrasyonu sonucunda NSE değeri 0,20 ve R² değeri ise 0,36 olarak belirlenmiştir. Tablo 5.16'da kalibrasyon dönemine ait model performans istatistikleri ve diğer özet bilgiler yer almaktadır. Şekil 5.40'ta HİDROTÜRK modeli ile yapılan kalibrasyon sonucunda elde edilen hidrograf görülmektedir.

Tablo 5.16 HİDROTÜRK Model Performans İstatistikleri

Model	Periyot	Dönem	NSE	RMSE	R ²	Std. Sap. (Model)	Std. Sap. (Gözlem)	Ort. Q (Model)	Ort. Q (Gözlem)
HİDROTÜRK	Kalibrasyon	1990-2005	0,20	1,99	0,36	5,34	5,76	4,03	5,42

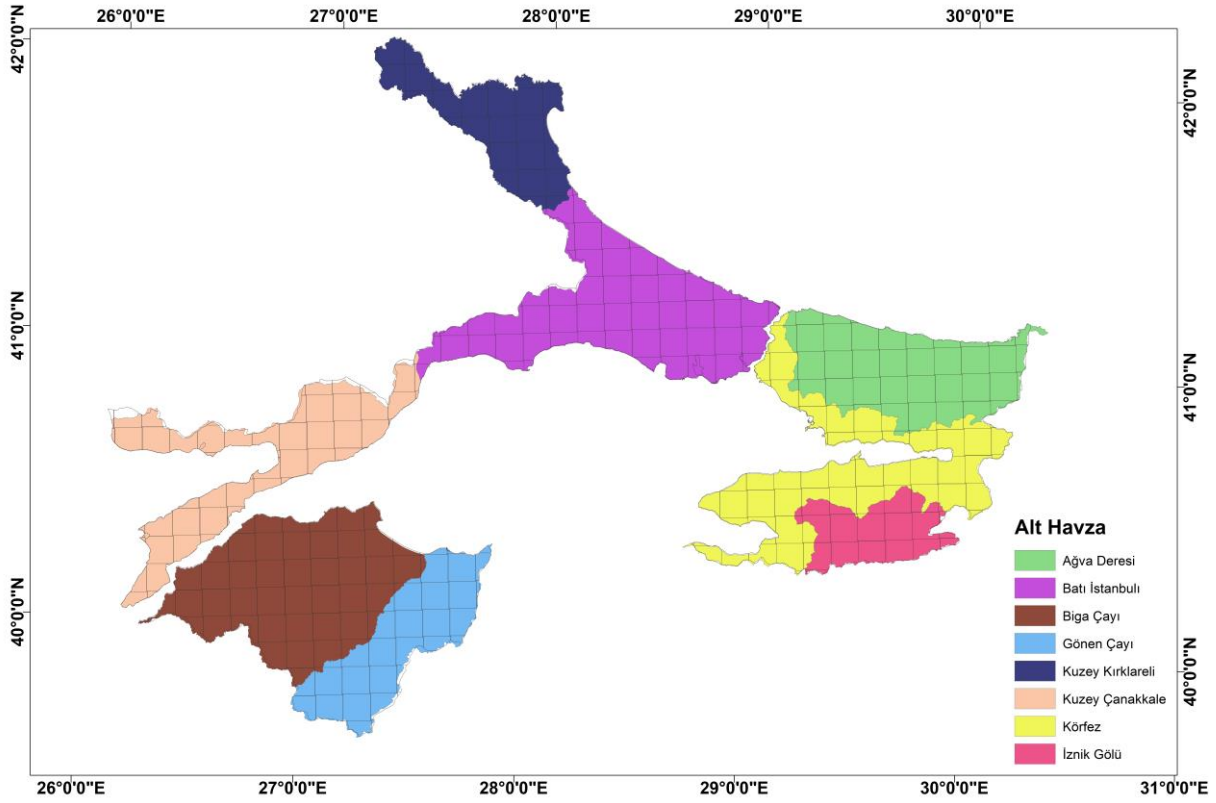


Şekil 5.40 Yıllık Toplam Yağış ve Doğal Akım ile Model Kalibrasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması (HİDROTÜRK)

5.1.4. Yüzeysel Su Potansiyelindeki İklim Değişikliği Etkileri (İklim Projeksiyonları)

İklim projeksiyonlarından elde edilen meteorolojik verileri (yağış, sıcaklık, potansiyel buharlaşma) yüzey su potansiyelindeki iklim değişikliği etkilerinin belirlenmesi için HBV-Light modeline girdi olarak kullanılmıştır. Potansiyel buharlaşmanın hesabı için Thornwaite yöntemi kullanılmıştır.

Grid bazında iklim verileri ArcMap vasıtasıyla her alt havza için önce clip yapılmıştır daha sonra 10x10 km tampon bölgeleri oluşturulup alt havzalara düşen gridlerin ortalaması alınmıştır. Böylece her alt havzaya ait yağış ve sıcaklık verileri elde edilmiştir, Şekil 5.41 Marmara havzasına ait gridlerin dağılımını göstermektedir.



Şekil 5.41 İklim Projeksiyonu Veri Gridlerinin Marmara Havzası Üzerindeki Dağılımı

Bu çalışmada 3 model (CNRM-CM5, HadGEM-ES, MPI) ve iki senaryo (RCP 4.5 ve RCP 8.5) kullanılarak toplamda 6 farklı gelecek akışları hesaplanmıştır.

Bölüm 5.1.3'te yapılan kalibrasyon çalışmalarında hesaplanan parametre değerleri her bir alt havza için kullanılarak HVB-Light modeli çalıştırılmıştır. İklim projeksiyon verileri kullanılarak her alt havzaya ait akım hesaplamaları detaylı bir şekilde raporda sunulmuştur.

Genel olarak tüm alt havzalarda gelecek yüzey suyu potansiyellerinin düşüş eğilimi gösterdiği gözlemlenmektedir. Örneğin seçilen 2075-2099 yılları arasında hesaplanmış olan ortalama akış değerleri önceki dönemlerdeki akışlara göre daha düşük değerlere sahiptir.

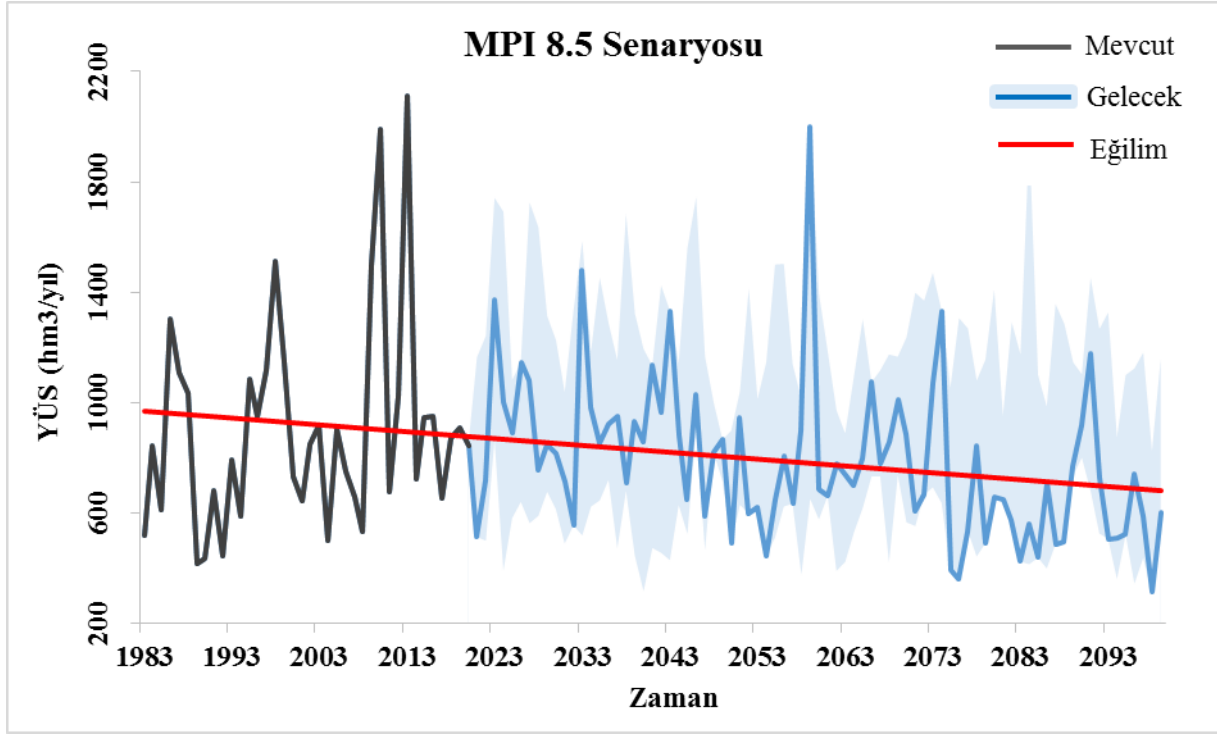
5.1.4.1. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)

Bu çalışmada projeksiyonlardan elde edilen akımların daha detaylı incelenmesi için projeksiyon zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplanmıştır. Alt havzada yapılan çalışma sonucunda toplamda 6 farklı zaman serisinde yıllık ortalama akım en yüksek 983,27 hm³ iken en düşük 785,64 hm³ olarak bulunmuştur. Tablo 5.17 seçilen dönemlere ait sonuçları göstermektedir. En kötü senaryoya (MPI 8.5) ait akım değerleri en düşük 595,21 hm³ ve en yüksek 908,35 hm³ olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.17 Biga Çayı Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm³)

Model	Senaryo	HBV-Light			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	983,27	1.006,39	1.008,42	918,74
	RCP 8.5	898,40	889,96	909,23	896,35
HadGEM	RCP 4.5	879,78	922,61	817,13	882,48
	RCP 8.5	912,16	1084,19	761,99	850,88
MPI	RCP 4.5	811,67	726,25	891,05	825,15
	RCP 8.5	785,64	908,35	826,53	595,21

Şekil 5.42'de Biga Çayı Alt Havzası'nda YÜS değerleri ve en kötü senaryo olan MPI 8.5 için elde edilen zaman serilerinin grafiği görülmektedir.



Şekil 5.42 Biga Çayı Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri

HBV-Light modeli ile 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.006,39 ve 889,96 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 922,61 ve 1.084,19 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 726,25 ve 908,35 hm³ olarak belirlenmiştir. İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.008,42 ve 909,23 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 817,13 ve 761,99 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 891,05 ve 826,53 hm³ olarak bulunmuştur. Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 918,74 ve 896,35 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönem için bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 882,48 ve 850,88 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre ise sırasıyla 825,15 ve 595,21 hm³ olarak elde edilmiştir.

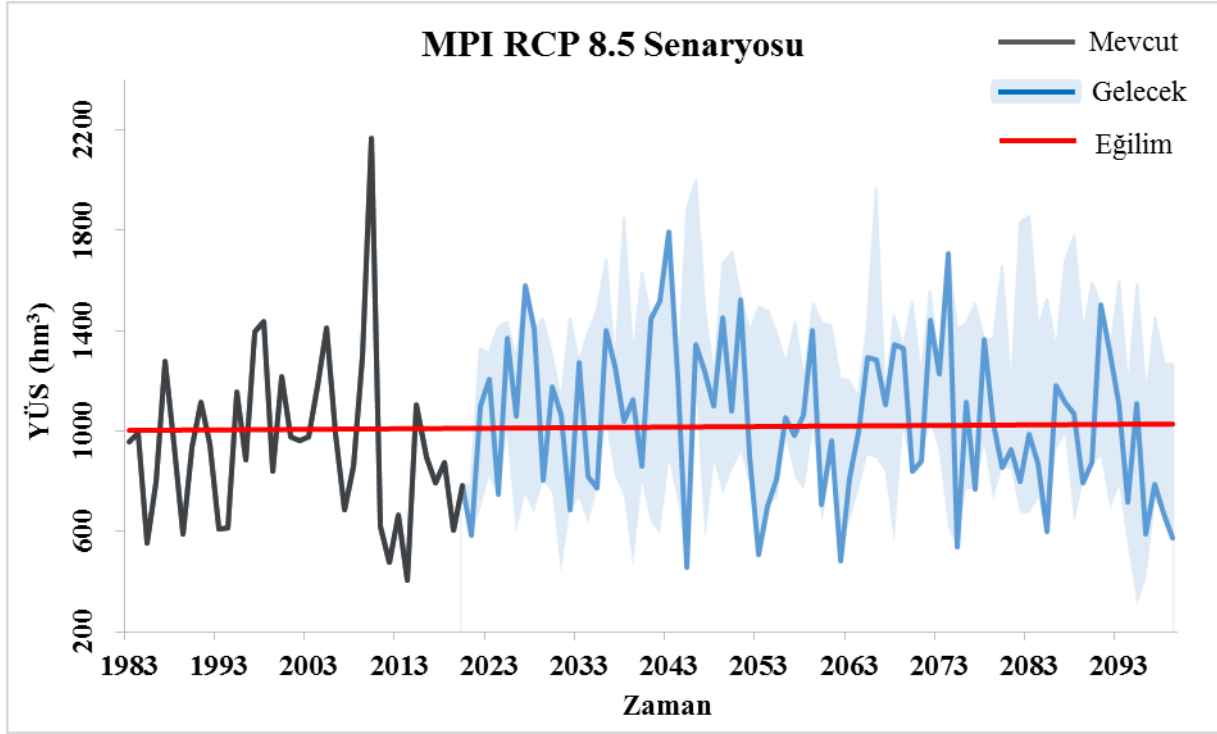
5.1.4.2. Körfez Alt Havzası (2/8)

Bu çalışmada projeksiyonlardan elde edilen akımların daha detaylı incelenmesi için projeksiyon zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplanmıştır. Alt havzada yapılan çalışma sonucunda, toplamda 6 farklı zaman serisinde yıllık ortalama akım en yüksek 1.155,97 hm³ iken en düşük 1.041,34 hm³ olarak bulunmuştur. Tablo 5.18 seçilen dönemlere ait sonuçları göstermektedir. En kötü senaryoya (MPI 8.5) ait akım değerleri ise en düşük 892,47 hm³ ve en yüksek değeri 1.133,71 hm³ olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.18 Körfez Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm³)

Model	Senaryo	HBV-Light			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	1.155,97	1.162,82	1.093,54	1.133,75
	RCP 8.5	1.068,51	1.007,51	1.060,93	1.785,21
HadGEM	RCP 4.5	1.053,75	1.054,18	1.503,90	1.529,64
	RCP 8.5	1.041,34	1.040,46	1.035,52	994,16
MPI	RCP 4.5	1.068,17	981,09	1.094,56	1.080,01
	RCP 8.5	1.045,11	1.133,71	1.025,24	892,47

Şekil 5.43 Körfez Alt Havzası'nda YÜS değerleri ve en kötü senaryo olan MPI 8.5 için elde edilen zaman serilerinin grafiği görülmektedir.



Şekil 5.43 Körfez Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri

HBV-Light modeli ile 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.162,82 ve 1.007,51 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 1.054,18 ve 1.040,46 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 981,09 ve 1.133,71 hm³ olarak belirlenmiştir. İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.093,54 ve 1060,93 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 1.503,90 ve 1.035,52 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 1.094,56 ve 1.025,24 hm³ olarak bulunmuştur. Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.133,75 ve 1.785,21 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 1.529,64 ve 994,16 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre ise sırasıyla 1.080,01 ve 892,47 hm³ olarak hesaplanmıştır.

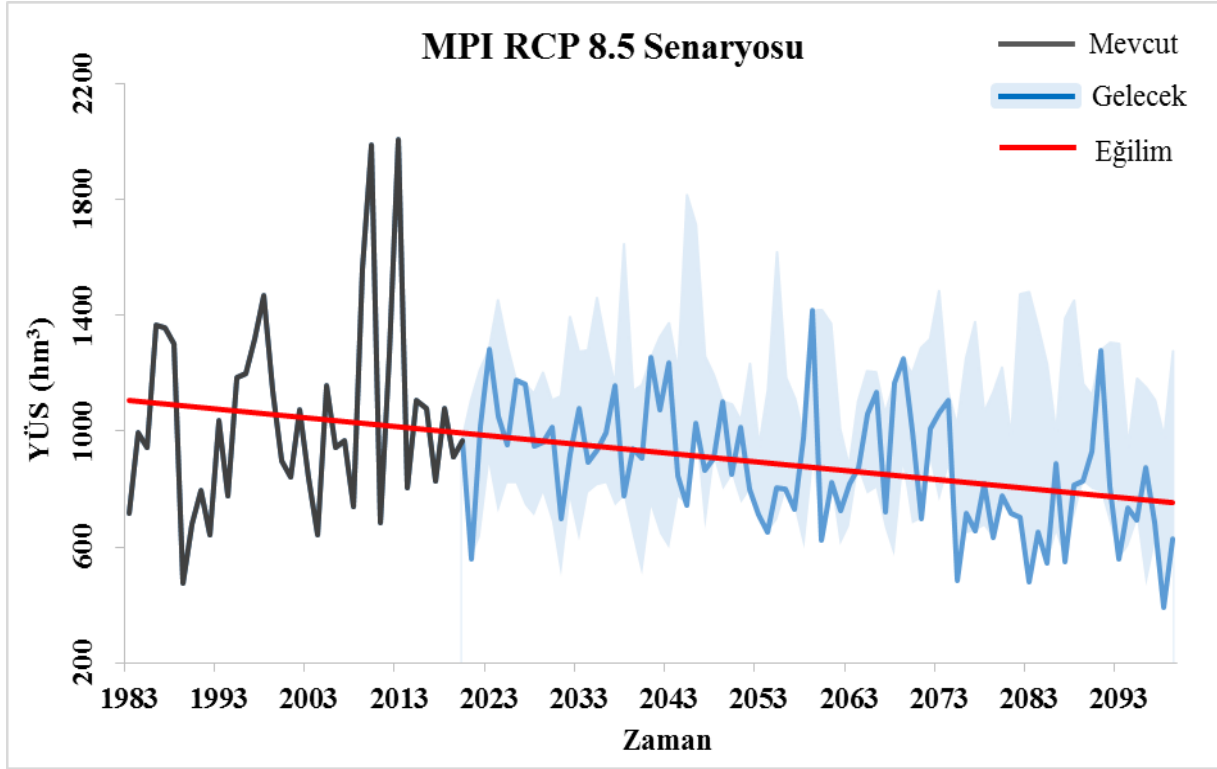
5.1.4.3. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)

Bu çalışmada projeksiyonlardan elde edilen akımların daha detaylı incelenmesi için projeksiyon zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplanmıştır. Alt havzada yapılan çalışma sonucunda, toplamda 6 farklı zaman serisinde yıllık ortalama akım en yüksek 1.034,31 hm³ iken en düşük 874,80 hm³ olarak bulunmuştur. Tablo 5.19 seçilen dönemlere ait sonuçları göstermektedir. En kötü senaryoya (MPI 8.5) ait akım değerleri ise en düşük 938,95 hm³ ve en yüksek değeri 982,62 hm³ olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.19 Gönen Çayı Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm³)

Model	Senaryo	HBV-Light			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	1.034,31	973,04	982,62	938,95
	RCP 8.5	967,75	1.020,28	937,41	986,60
HadGEM	RCP 4.5	987,10	1.044,88	923,47	933,34
	RCP 8.5	975,44	875,25	978,89	925,70
MPI	RCP 4.5	927,41	981,57	905,12	707,44
	RCP 8.5	874,80	973,04	982,62	938,95

Şekil 5.44 Gönen Çayı Alt Havzası'nda YÜS değerleri ve en kötü senaryo olan MPI 8.5 için elde edilen zaman serilerinin grafiği görülmektedir.



Şekil 5.44 Gönen Çayı Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri

HBV-Light modeli ile hesaplanan 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 973,04 ve 1.020,28 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı döneme ait bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 1.044,88 ve 875,25 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 981,57 ve 973,04 hm³ olarak belirlenmiştir. İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 982,62 ve 937,41 hm³ olarak bulunmuştur. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 923,47 ve 978,89 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 905,12 ve 982,62 hm³ olarak elde edilmiştir. Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 938,95 ve 986,60 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 933,34 ve 925,70 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 707,44 ve 938,95 hm³ olarak bulunmuştur.

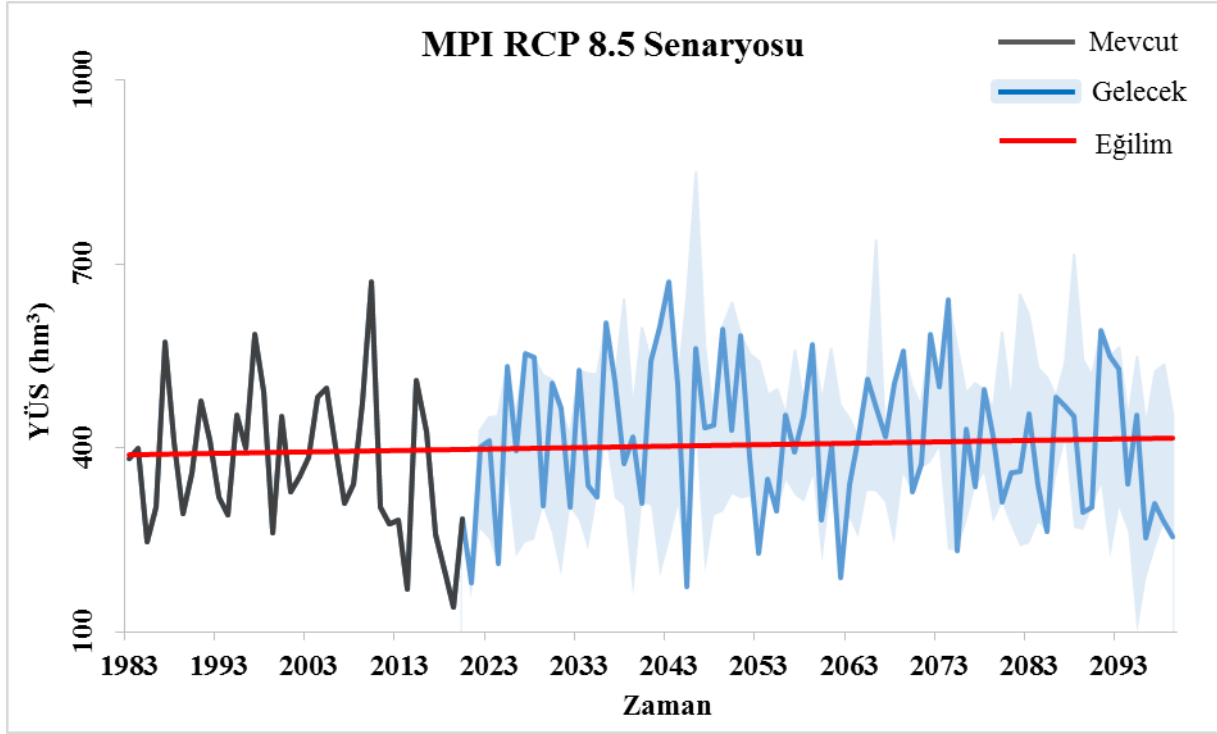
5.1.4.4. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)

Bu çalışmada projeksiyonlardan elde edilen akımların daha detaylı incelenmesi için projeksiyon zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplanmıştır. Alt havzada yapılan çalışma sonucunda, toplamda 6 farklı zaman serisinde yıllık ortalama akım en yüksek 416,79 hm³ iken en düşük 381,35 hm³ olarak bulunmuştur. Tablo 5.20 seçilen dönemlere ait sonuçları göstermektedir. En kötü senaryoya (MPI 8.5) ait akım değerleri ise en düşük 366,59 hm³ ve en yüksek değeri 438,55 hm³ olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.20 İznik Gölü Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm³)

Model	Senaryo	HBV-Light			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	416,25	415,19	389,90	406,66
	RCP 8.5	381,35	369,81	367,68	379,65
HadGEM	RCP 4.5	390,84	376,94	360,52	402,03
	RCP 8.5	388,93	387,75	383,52	367,51
MPI	RCP 4.5	415,04	392,28	403,36	421,45
	RCP 8.5	416,79	438,55	407,72	366,59

Şekil 5.45 İznik Gölü Alt Havzası'nda YÜS değerleri ve en kötü senaryo olan MPI 8.5 için elde edilen zaman serilerinin grafiği görülmektedir.



Şekil 5.45 İznik Gölü Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri

HBV-Light modeli ile 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 514,19 ve 369,81 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 376,94 ve 387,75 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 392,28 ve 438,55 hm³ olarak belirlenmiştir. İkinci dönemde (2050-2074) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ortalama akım değerleri sırasıyla 389,90 ve 367,68 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre sırasıyla 360,52 ve 383,52 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre ise sırasıyla 403,36 ve 407,72 hm³ olarak hesaplanmıştır. Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 406,66 ve 379,65 hm³ olarak bulunmuştur. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 402,03 ve 367,51 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 421,45 ve 366,59 hm³ olarak hesaplanmıştır.

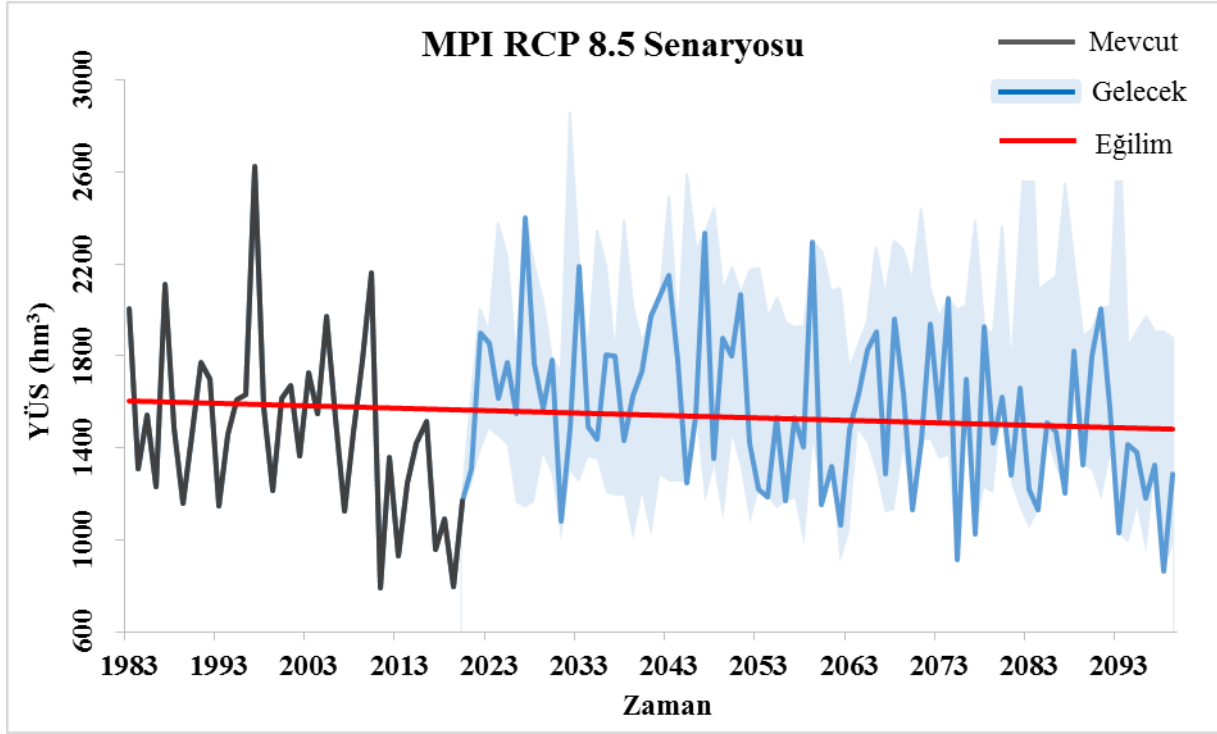
5.1.4.5. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)

Bu çalışmada projeksiyonlardan elde edilen akımların daha detaylı incelenmesi için projeksiyon zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplanmıştır. Alt havzada yapılan çalışma sonucunda, toplamda 6 farklı zaman serisinde yıllık ortalama akım en yüksek 1.771,01 hm³ iken en düşük 1.516,63 hm³ olarak bulunmuştur. Tablo 5.21 seçilen dönemlere ait sonuçları göstermektedir. En kötü senaryoya (MPI 8.5) ait akım değerleri ise en düşük 1.724,76 hm³ ve en yüksek değeri 1.809,01 hm³ olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.21 Ağva Deresi Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm³)

Model	Senaryo	HBV-Light			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	1.771,01	1.809,01	1.724,76	1.766,44
	RCP 8.5	1.699,80	1.617,72	1.736,55	1.754,95
HadGEM	RCP 4.5	1.516,63	1.519,77	1.498,13	1.526,28
	RCP 8.5	1.562,30	1.579,13	1.550,79	1.549,73
MPI	RCP 4.5	1.595,82	1.535,21	1.683,19	1.576,23
	RCP 8.5	1.568,95	1.809,01	1.724,76	1.766,44

Şekil 5.46 Ağva Deresi Alt Havzası'nda YÜS değerleri ve en kötü senaryo olan MPI 8.5 için elde edilen zaman serilerinin grafiği görülmektedir.



Şekil 5.46 Ağva Deresi Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri

HBV-Light modeli ile 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.809,01 ve 1.617,72 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 1.519,77 ve 1.579,13 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 1.535,21 ve 1.809,01 hm³ olarak belirlenmiştir. İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.724,76 ve 1.736,55 hm³ olarak bulunmuştur. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 1.498,13 ve 1.550,79 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 1.683,19 ve 1.724,76 hm³ olarak hesaplanmıştır. Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.766,44 ve 1.754,95 hm³ olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 1.526,28 ve 1.549,73 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 1.576,23 ve 1.766,44 hm³ olarak hesaplanmıştır.

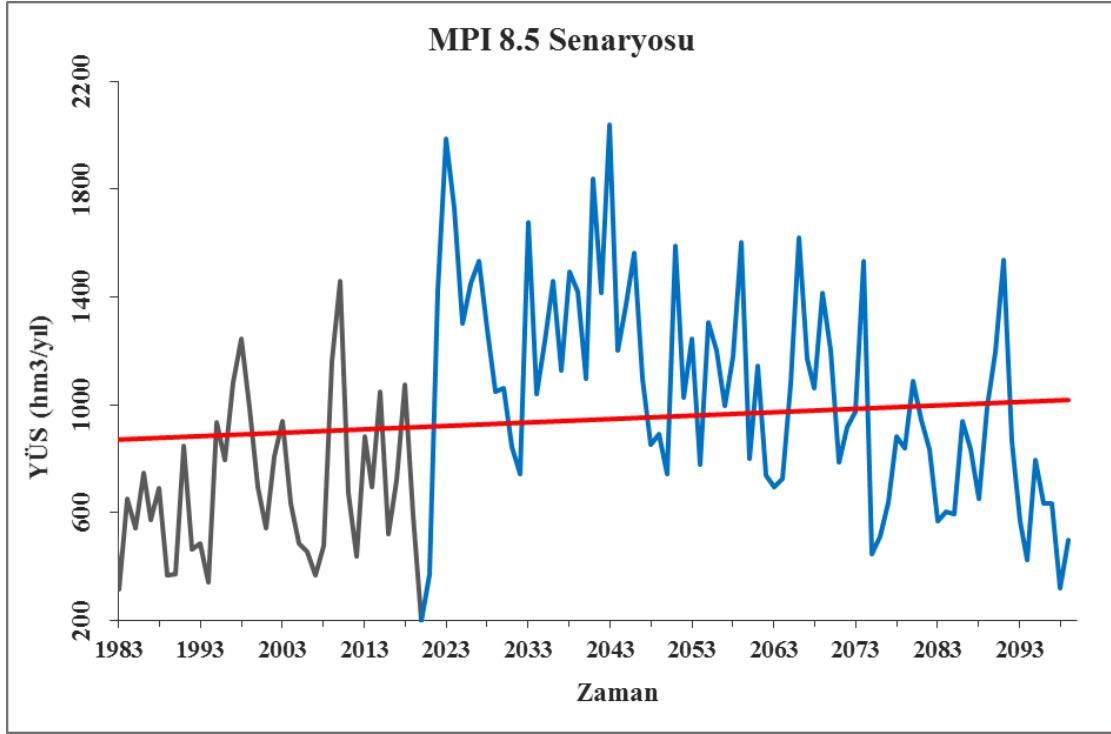
5.1.4.6. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)

Bu çalışmada projeksiyonlardan elde edilen akımların daha detaylı incelenmesi için projeksiyon zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplanmıştır. Alt havzada yapılan çalışma sonucunda, toplamda 6 farklı zaman serisinde yıllık ortalama akım en yüksek 1.345,23 hm³ iken en düşük 1.063,11 hm³ olarak bulunmuştur. Tablo 5.22 seçilen dönemlere ait sonuçları göstermektedir. En kötü senaryoya (MPI 8.5) ait akım değerleri ise en düşük 978,41 hm³ ve en yüksek değeri 1.194,69 hm³ olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.22 Batı İstanbul Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm³)

Model	Senaryo	HBV-Light			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	1.345,23	1.367,99	1.377,35	1.251,24
	RCP 8.5	1.209,18	1.162,08	1.240,64	1.205,78
HadGEM	RCP 4.5	1.080,51	1.180,39	965,57	1.042,78
	RCP 8.5	1.088,11	1.260,77	969,16	970,63
MPI	RCP 4.5	1.068,21	978,41	1.194,69	1.017,33
	RCP 8.5	1.063,11	1.367,99	1.377,35	1.251,24

Şekil 5.47 Batı İstanbul Alt Havzası'nda YÜS değerleri ve en kötü senaryo olan MPI 8.5 için elde edilen zaman serilerinin grafiği görülmektedir.



Şekil 5.47 Batı İstanbul Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri

HBV-Light modeli ile hesaplanan 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.367,99 ve 1.162,08 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 1.180,39 ve 1.260,77 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 978,41 ve 1.367,99 hm³ olarak belirlenmiştir. İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.377.35 ve 1.240.64 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 965,57 ve 969,16 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 1.194,69 ve 1.377,35 hm³ olarak bulunmuştur. Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım sırasıyla 1.251,24 ve 1.205,78 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 1.042,78 ve 970,63 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 1.017,33 ve 1.251,24 hm³ olarak hesaplanmıştır.

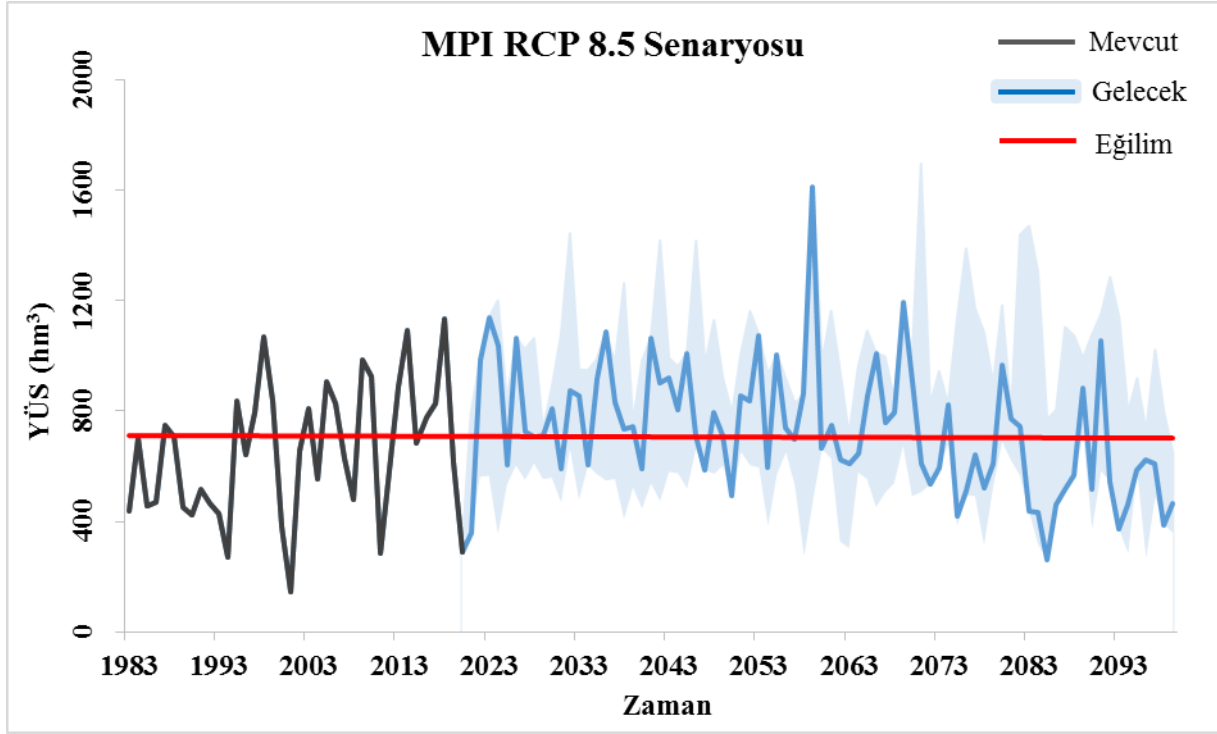
5.1.4.7. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8)

Bu çalışmada projeksiyonlardan elde edilen akımların daha detaylı incelenmesi için projeksiyon zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplanmıştır. Alt havzada yapılan çalışma sonucunda, toplamda 6 farklı zaman serisinde yıllık ortalama akım en yüksek 830,79 hm³ iken en düşük 690,00 hm³ olarak bulunmuştur. Tablo 5.23 seçilen dönemlere ait sonuçları göstermektedir. En kötü senaryoya (MPI 8.5) ait akım değerleri ise en düşük 707,05 hm³ ve en yüksek değeri 804,03 hm³ olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.23 Kuzey Kırklareli Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm³)

Model	Senaryo	HBV-Light			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	830,79	1296,43	1091,04	742,55
	RCP 8.5	757,34	853,32	845,18	770,17
HadGEM	RCP 4.5	715,32	761,87	745,18	754,77
	RCP 8.5	690,00	751,83	639,17	731,04
MPI	RCP 4.5	751,68	761,48	619,99	650,09
	RCP 8.5	733,76	707,05	804,03	734,38

Şekil 5.48 Kuzey Kırklareli Alt Havzası'nda YÜS değerleri ve en kötü senaryo olan MPI 8.5 için elde edilen zaman serilerinin grafiği görülmektedir.



Şekil 5.48 Kuzey Kırklareli Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri

HBV-Light modeli ile 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.296,43 ve 853,32 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 761,87 ve 751,83 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 761,48 ve 707,05 hm³ olarak belirlenmiştir. İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 1.091,04 ve 845,18 hm³ olarak bulunmuştur. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 745,18 ve 639,17 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 619,99 ve 804,03 hm³ olarak elde edilmiştir. Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 742,55 ve 770,17 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 754,77 ve 731,04 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise 650,09 ve 734,38 hm³ olarak bulunmuştur.

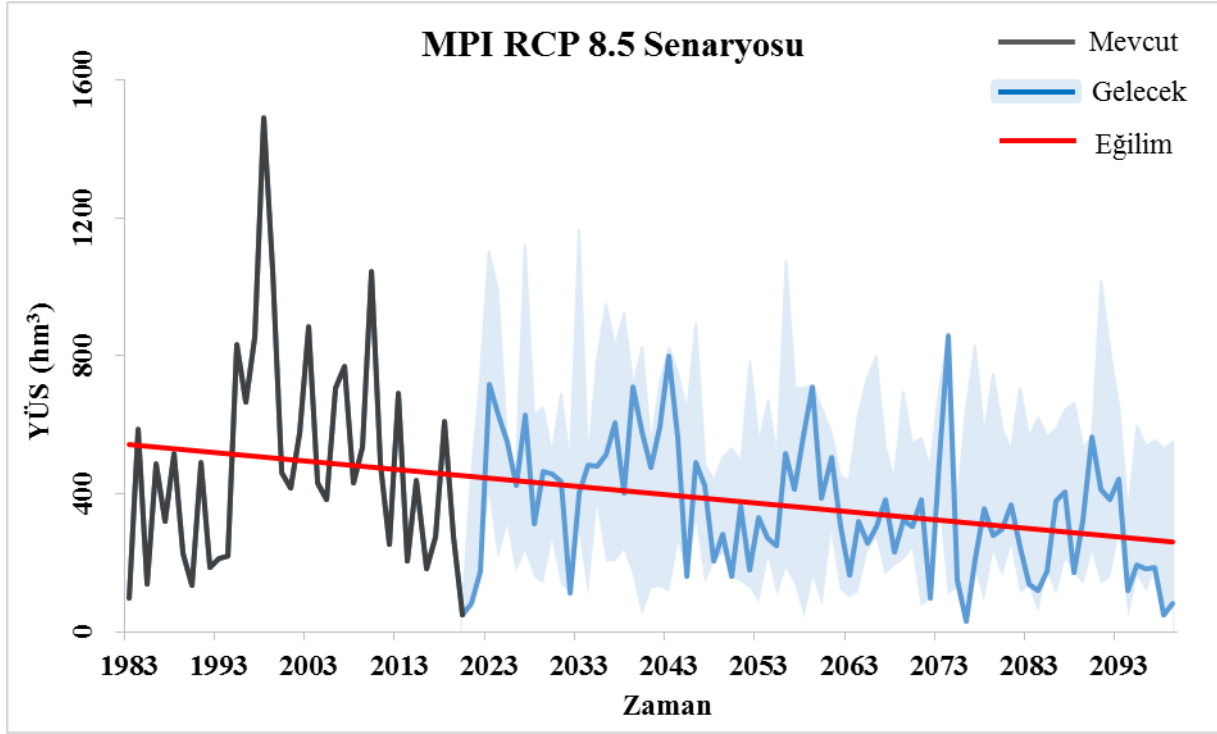
5.1.4.8. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8)

Bu çalışmada projeksiyonlardan elde edilen akımların daha detaylı incelenmesi için projeksiyon zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplanmıştır. Alt havzada yapılan çalışma sonucunda, toplamda 6 farklı zaman serisinde yıllık ortalama akım en yüksek 484,76 hm³ iken en düşük 357,44 hm³ olarak bulunmuştur. Tablo 5.24 seçilen dönemlere ait sonuçları göstermektedir. En kötü senaryoya (MPI 8.5) ait akım değerleri ise en düşük 248,21 hm³ ve en yüksek değeri 453,92 hm³ olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.24 Kuzey Çanakkale Alt Havzası İklim Projeksiyonu Akım Sonuçları (hm³)

Model	Senaryo	HBV-Light			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	484,76	481,01	499,44	467,71
	RCP 8.5	418,20	456,19	406,24	376,23
HadGEM	RCP 4.5	387,80	439,59	326,61	380,03
	RCP 8.5	357,44	477,53	278,75	289,54
MPI	RCP 4.5	378,22	313,71	424,05	389,56
	RCP 8.5	360,88	453,92	359,75	248,21

Şekil 5.49 Kuzey Çanakkale Alt Havzası'nda YÜS değerleri ve en kötü senaryo olan MPI 8.5 için elde edilen zaman serilerinin grafiği görülmektedir.



Şekil 5.49 Kuzey Çanakkale Alt Havzası YÜS Değerleri ve MPI 8.5 Senaryosu Akım Zaman Serileri

HBV-Light modeli ile 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 481,01 ve 456,19 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı döneme ait bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 439,59 ve 477,53 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 313,71 ve 453,92 hm³ olarak belirlenmiştir. İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 499,44 ve 406,24 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 326,61 ve 278,75 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 424,05 ve 359,75 hm³ olarak belirlenmiştir. Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım sırasıyla 467,71 ve 376,23 hm³ olarak bulunmuştur. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama akım sırasıyla 380,03 ve 289,54 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 389,56 ve 248,21 hm³ olarak hesaplanmıştır.

5.2. Yeraltı Su Potansiyeli

5.2.1. Yeraltı Suyu Modelleri

Hidrolojik bütçe, belirli bir zaman dönemi içinde bir havza veya havzanın bir parçasında kazanılan veya kaybedilen suların miktar olarak değerlendirilmesi için yapılmaktadır. Hidrolojik bütçe hesaplamalarında ana amaç havzaya giren ve havzayı terk eden su miktarlarını hesaplamaktır (Doğdu, 2011).

Hidrolojik bütçenin ana elemanları yağış, buharlaşma-terleme, süzülme, yüzey akışı ve yeraltı suyu akımıdır. Bir havzada gerçekleşen hidrolojik çevrimin anlaşılması o havzada bir hidrolojik model oluşturularak su potansiyelinin belirlenmesiyle mümkündür.

Hidrolojik modelleme suyun doğadaki çevrimini etkileyen yağış, sızma, buharlaşma, yeraltı suyundan beslenme, toprak nemi, sediment taşınımı gibi birçok karmaşık olayın birbirleriyle ilişkisini kuran bir modelleme yaklaşımıdır.

Yeraltı suyu modelleri kullanım amacına göre yorumlayıcı, kestirimci veya genel olarak oluşturulabilir. Yorumlayıcı modeller genel olarak mevcut durumu analiz etmek adına yeraltı suyu akışını ve/veya kirletici madde taşınımını modellemek amacıyla kullanılırken, kestirimci modeller tahmin amaçlı, genel (jenerik) modeller ise genel olarak su kaynakları yönetiminde ve iyileştirme çalışmalarında kullanılmaktadır. Yeraltı suyu modellemenin amaçları genel olarak aşağıdaki gibi listelenebilir. (Baalousha, 2008) :

- Zamansal ve mekânsal yeraltı suyu akışı ve seviyesi tahminleri
- Kuyulardan çekilen yeraltı suyunun akış rejimine etkisinin ve bununla bağıntılı yeraltı su seviyesindeki değişimlerinin incelenmesi
- İnsan faktörünün (örnek olarak atıksu deşarjı, tarım, yerüstü çöp birikimleri vb.) yeraltı suyu kalitesine etkisinin incelenmesi
- Niceliksel ve niteliksel olarak yeraltı suyu sistemleri üzerinde çeşitli yönetim senaryolarının analizleri

Çalışmaların amacına göre yeraltı suyu modellemeleri, uygun verilere ve etüt alanlarına göre seçilerek farklı kompleks seviyelerde oluşturulabilir. Özellikle hidrojeoloji gibi ölçümü, analizi ve yorumlaması zor alanlarda kurulan modellerin amacını karşılayacak düzeyde basit olması, mevcut verinin ve model çalışma sürelerinin kısıtlayıcı etkisini en aza indirerek tutarlı sonuç elde edilmesini kolaylaştırmaktadır (Hill, 2006).

Marmara Havzası'nda yer alan alt havzaların yeraltı suyu potansiyelini hesaplamak için litolojik süzülme yöntemi kullanılmıştır.

5.2.2. Akifer Parametrelerinin Belirlenmesi

Akiferlerin besleniminde yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme kayıpları gibi meteorolojik etkenler ile akiferin yayılımı alanı ve kalınlığı, jeolojik konumu, litolojik ve yapısal özellikleri, topografya, toprak ve bitki örtüsü gibi özellikler etkilidir. Bir akiferden sürekli olarak güvenle çekilebilecek azami yeraltı suyu miktarının belirlenmesinde öncelikle bu özelliklerin bilinmesi gerekmektedir (Apaydın, 1997). YAS alt havzalarının yağış drenaj alanında yer alan tüm jeolojik formasyonların litolojik ve yapısal özellikleri dikkate alınarak yağışlardan süzülme yolu ile hesaplanmıştır.

5.2.2.1. Kullanılan Yöntemler

YAS beslenimi ve boşalım hesaplarında, litolojik birimlerden beslenme hesabı için aşağıdaki formül kullanılmıştır. Litolojik süzülme katsayılarına ait değerler havzada önceden yapılan çalışmalardan alınmıştır.

$$Q = (A * P * I) / 1000 \quad (5.27)$$

Q= Yağıştan beslenme miktarı (hm³/yıl)

A = Alan (km²)

P = Yağış (mm)

I = Süzülme katsayısı

5.2.3. YAS Beslenme ve Boşalma Hesapları

YAS alt havzaların yağış drenaj alanında yer alan tüm jeolojik formasyonların litolojik ve yapısal özellikleri dikkate alınarak yağışlardan süzülme yolu ile hesaplanmıştır.

5.2.3.1. Hidrolojik Zemin Sınıflandırması

Bu çalışmada daha önce bölgede yapılmış olan çalışmalar baz alınmıştır. Havzada yer alan jeolojik birimlerin yapısal ve litolojik özellikleri dikkate alınarak hidrojeolojik özellikleri tanımlanmıştır. Bu çalışmalar kapsamında hazırlanmış olan hidrojeoloji haritasından (Şekil 3.2)

yararlanılarak havzanın yeraltı suyu potansiyeli litolojik süzülme katsayılarıyla alt havza bazında hesaplanmıştır.

Marmara Havzası'nda yer alan jeolojik birimler hidrojeolojik yönden değerlendirilerek geçirimsizlik ve akifer olma özelliklerine göre sınıflandırılmış olup havzaya ait hidrojeolojik özelliklerin anlatıldığı 3. Bölüm içerisinde detaylı olarak verilmiştir.

5.2.4. YAS Potansiyeli Üzerinde İklim Değişikliği Etkilerinin Belirlenmesi (İklim Projeksiyonları)

Havzanın YAS potansiyeli üzerindeki iklim değişikliği etkilerini değerlendirmek için İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi (SYGM, 2016) kapsamında HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 iklim modelleri ile RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarından elde edilen 2021-2100 yılları arası 10x10 km'lik gridlere ait toplam yağış çıktıları kullanılmıştır. Burada toplamda 6 farklı durum için gelecek YAS potansiyelleri litolojik süzülme yöntemi ile hesaplanmıştır. Alt havzalarda YAS alt havzalarının litolojik süzülme katsayılarına ait değerler havza genelinde gerçekleştirilen literatürde yer alan çalışmalardan elde edilmiştir. Alt havzalar için elde edilen sonuçlar detaylı olarak aşağıda değerlendirilmiştir.

5.2.4.1. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)

Bu çalışmada YAS potansiyelinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi için yağış zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplama yapılmıştır. Tüm periyot ve alt periyotlar için tahmin edilen ortalama YAS potansiyel değerlerine ait bilgiler Tablo 5.25 üzerinde verilmiştir.

Tablo 5.25 Biga Çayı Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri

Model	Senaryo	Litolojik Süzülme Miktarı (hm ³)			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	69,32	68,12	71,40	68,63
	RCP 8.5	66,21	62,44	67,54	69,26
HadGEM	RCP 4.5	64,61	65,20	62,88	65,70
	RCP 8.5	64,43	65,55	61,09	66,56
MPI	RCP 4.5	63,66	60,07	66,83	64,66
	RCP 8.5	60,16	62,14	62,11	55,90

Tabloda görüldüğü gibi 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 68,12 ve 62,44 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 65,20 ve 65,55 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 60,07 ve 62,14 hm³ olarak belirlenmiştir.

İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 71,40 ve 67,54 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 62,88 ve 61,09 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 66,83 ve 62,11 hm³ olarak bulunmuştur.

Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 68,63 ve 69,26 hm³ olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 65,70 ve 66,56 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 64,66 ve 55,90 hm³ olarak hesaplanmıştır.

5.2.4.2. Körfez Alt Havzası (2/8)

Bu çalışmada YAS potansiyelinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi için yağış zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplama yapılmıştır. Tüm periyot ve alt periyotlar için tahmin edilen ortalama YAS potansiyel değerlerine ait bilgiler Tablo 5.26 üzerinde verilmiştir.

Tablo 5.26 Körfez Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri

Model	Senaryo	Litolojik Süzülme Miktarı (hm ³)			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	69,73	69,35	69,58	70,32
	RCP 8.5	68,70	67,24	69,29	69,81
HadGEM	RCP 4.5	68,50	66,42	66,37	66,00
	RCP 8.5	66,70	66,43	67,02	66,70
MPI	RCP 4.5	68,72	67,93	69,42	68,92
	RCP 8.5	67,66	68,61	68,03	66,18

Tabloda görüldüğü gibi 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 69,35 ve 67,24 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 66,42 ve 66,43 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 67,93 ve 68,61 hm³ olarak belirlenmiştir.

İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 69,58 ve 69,29 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 66,37 ve 67,02 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 69,42 ve 68,03 hm³ olarak bulunmuştur.

Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 70,32 ve 69,81 hm³ olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 66,00 ve 66,70 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 68,92 ve 66,18 hm³ olarak hesaplanmıştır.

5.2.4.3. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)

Bu çalışmada YAS potansiyelinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi için yağış zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplama yapılmıştır. Tüm periyot ve alt periyotlar için tahmin edilen ortalama YAS potansiyel değerlerine ait bilgiler Tablo 5.27 üzerinde verilmiştir.

Tablo 5.27 Gönen Çayı Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri

Model	Senaryo	Litolojik Süzülme Miktarı (hm ³)			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	53,37	54,25	53,71	51,99
	RCP 8.5	50,96	48,62	52,21	52,41
HadGEM	RCP 4.5	50,07	50,35	48,81	51,04
	RCP 8.5	50,06	50,59	48,16	51,39
MPI	RCP 4.5	49,47	46,60	51,99	50,28
	RCP 8.5	46,16	47,90	47,87	42,42

Tabloda görüldüğü gibi 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 54,37 ve 48,62 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 50,35 ve 50,59 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 46,60 ve 47,90 hm³ olarak belirlenmiştir.

İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 53,71 ve 52,21 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 48,81 ve 48,16 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 51,99 ve 47,87 hm³ olarak bulunmuştur.

Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 51,99 ve 52,41 hm³ olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 51,04 ve 51,39 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 50,28 ve 42,42 hm³ olarak hesaplanmıştır.

5.2.4.4. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)

Bu çalışmada YAS potansiyelinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi için yağış zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplama yapılmıştır. Tüm periyot ve

alt periyotlar için tahmin edilen ortalama YAS potansiyel değerlerine ait bilgiler Tablo 5.28 üzerinde verilmiştir.

Tablo 5.28 İznik Gölü Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri

Model	Senaryo	Litolojik Süzülme Miktarı (hm ³)			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	35,58	35,32	35,09	36,37
	RCP 8.5	34,25	33,32	34,52	35,05
HadGEM	RCP 4.5	31,59	31,32	31,15	32,36
	RCP 8.5	32,04	31,84	32,73	31,56
MPI	RCP 4.5	35,65	35,03	35,94	36,08
	RCP 8.5	34,53	35,70	34,84	32,86

Tabloda görüldüğü gibi 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 35,32 ve 33,32 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 31,32 ve 31,84 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 35,03 ve 35,70 hm³ olarak belirlenmiştir.

İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 35,09 ve 34,52 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 31,15 ve 32,73 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 35,94 ve 34,84 hm³ olarak bulunmuştur.

Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 36,37 ve 35,05 hm³ olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 32,36 ve 31,56 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 36,08 ve 32,86 hm³ olarak hesaplanmıştır.

5.2.4.5. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)

Ağva Deresi Alt Havzası'nda geçirimli formasyonlar Karadeniz kıyısında, daha çok akarsuların denize ulaştığı bölgelerde cep şeklinde oluşmuş alüvyon sahaları (Şile ve Ağva civarında) olmakla birlikte günümüzde bu sahalar imara açıldığından ve tamamen yerleşim birimleri ile dolduğundan orijinal akifer ortamı kalmamıştır (DSİ, 2014). Dolayısıyla, Ağva Deresi Alt Havzası'nda gelecek dönem YAS potansiyeli hesaplanmamıştır.

5.2.4.6. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)

Bu çalışmada YAS potansiyelinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi için yağış zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplama yapılmıştır. Tüm periyot ve alt periyotlar için tahmin edilen ortalama YAS potansiyel değerlerine ait bilgiler Tablo 5.29 üzerinde verilmiştir.

Tablo 5.29 Batı İstanbul Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri

Model	Senaryo	Litolojik Süzülme Miktarı (hm ³)			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	195,35	187,56	201,87	197,86
	RCP 8.5	185,12	168,44	191,77	197,82
HadGEM	RCP 4.5	168,50	171,70	161,90	171,52
	RCP 8.5	171,50	170,96	162,46	172,26
MPI	RCP 4.5	179,29	171,71	190,93	176,45
	RCP 8.5	172,01	177,96	178,86	158,25

Tabloda görüldüğü gibi 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 68,12 ve 62,44 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 65,20 ve 64,43 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 60,07 ve 62,14 hm³ olarak belirlenmiştir.

İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 53,71 ve 52,21 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 48,81 ve 51,39 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 51,99 ve 47,87 hm³ olarak bulunmuştur.

Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 51,99 ve 52,41 hm³ olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde bu

değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 51,04 ve 51,39 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 50,28 ve 42,42 hm³ olarak hesaplanmıştır.

5.2.4.7. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8)

Bu çalışmada YAS potansiyelinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi için yağış zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplama yapılmıştır. Tüm periyot ve alt periyotlar için tahmin edilen ortalama YAS potansiyel değerlerine ait bilgiler Tablo 5.30 üzerinde verilmiştir.

Tablo 5.30 Kuzey Kırklareli Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri

Model	Senaryo	Litolojik Süzülme Miktarı (hm ³)			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	42,69	41,75	44,08	42,40
	RCP 8.5	40,05	37,70	40,36	42,48
HadGEM	RCP 4.5	36,88	36,94	34,77	39,00
	RCP 8.5	36,19	36,95	34,25	37,29
MPI	RCP 4.5	41,05	38,81	43,86	40,83
	RCP 8.5	38,73	39,28	41,56	35,26

Tabloda görüldüğü gibi 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 41,75 ve 37,70 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 36,94 ve 36,95 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 38,81 ve 39,28 hm³ olarak belirlenmiştir.

İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 44,08 ve 40,36 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 34,77 ve 34,25 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 43,86 ve 41,56 hm³ olarak bulunmuştur.

Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 42,40 ve 42,48 hm³ olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 39,00 ve 5 37,29 hm³,

MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 40,83 ve 35,26 hm³ olarak hesaplanmıştır.

5.2.4.8. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8)

Bu çalışmada YAS potansiyelinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi için yağış zaman serileri 3 döneme (2021-2049, 2050-2074, 2075-2099) ayrılarak hesaplama yapılmıştır. Tüm periyot ve alt periyotlar için tahmin edilen ortalama YAS potansiyel değerlerine ait bilgiler Tablo 5.31 üzerinde verilmiştir.

Tablo 5.31 Kuzey Çanakkale Alt Havzası'nda Seçilen Dönemlere Ait İklim Projeksiyonu YAS Değerleri

Model	Senaryo	Litolojik Süzülme Miktarı (hm ³)			
		2021-2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
CNRM	RCP 4.5	184,53	174,81	190,51	189,83
	RCP 8.5	173,74	167,54	176,56	178,12
HadGEM	RCP 4.5	164,73	168,68	155,90	169,16
	RCP 8.5	156,91	164,18	149,18	156,18
MPI	RCP 4.5	171,17	161,03	179,75	174,35
	RCP 8.5	161,36	167,25	163,22	152,66

Tabloda görüldüğü gibi 3 farklı iklim projeksiyon dönemlerinden ilk döneme (2021-2049) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 174,81 ve 167,54 hm³ olarak hesaplanmıştır. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 168,68 ve 164,18 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 161,03 ve 167,25 hm³ olarak belirlenmiştir.

İkinci döneme (2050-2074) ait CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 190,51 ve 176,56 hm³ olarak elde edilmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 155,90 ve 149,18 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 179,75 ve 163,22 hm³ olarak bulunmuştur.

Üçüncü dönemde (2075-2099) CNRM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için yıllık ortalama YAS potansiyeli sırasıyla 189,83 ve 178,12 hm³ olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde bu değerler, HadGEM modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için sırasıyla 169,16 ve 156,18 hm³, MPI modeli RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları için ise sırasıyla 174,35 ve 152,66 hm³ olarak hesaplanmıştır.

5.3. Su Bütçesi Metodu

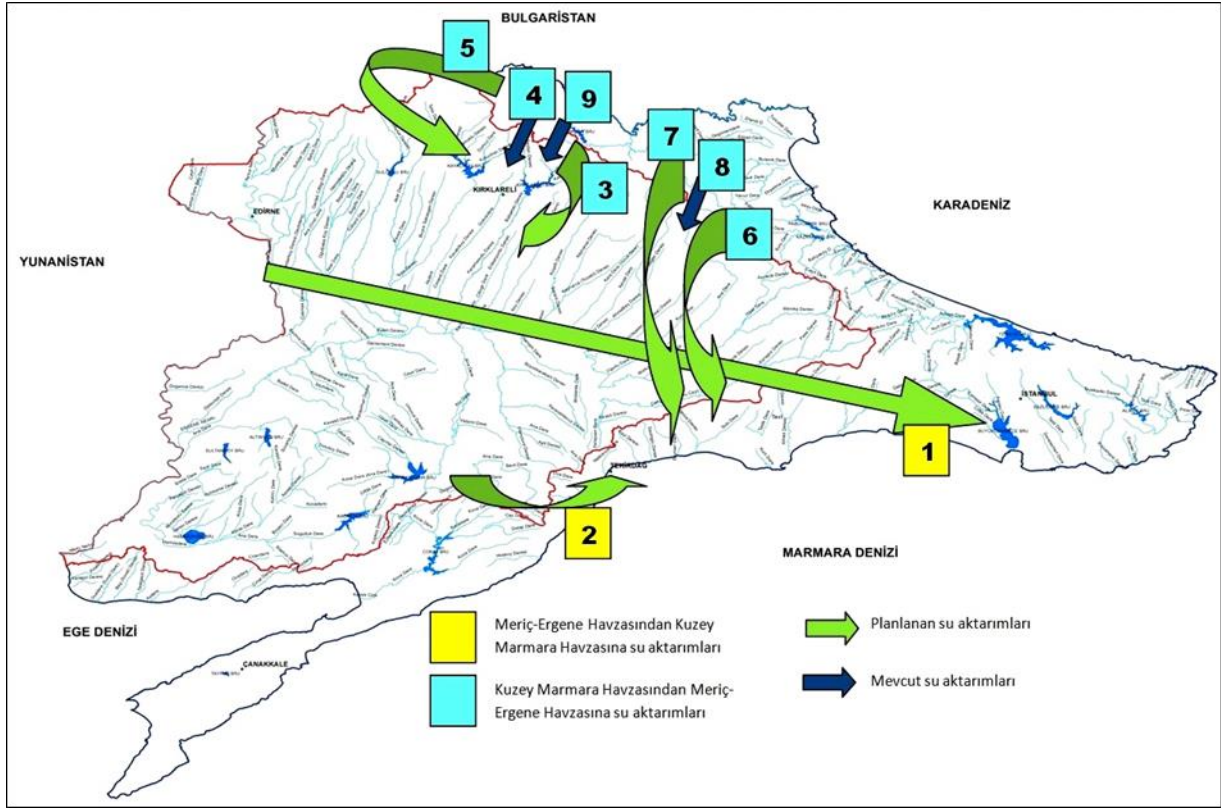
Hidrolojik bütçenin ana elemanları yağış, buharlaşma-terleme, süzülme, yüzey akışı ve yeraltı suyu akımıdır. Gelecekte gözlemlenebilecek yağış ve sıcaklık değişimlerinden en çok etkilenecek hidrolojik değişkenler yağış ve buna bağımlı olarak yüzeysel ve yeraltı suyu akımlarıdır. Bu rapor kapsamında iki ayrı hidrolojik model kullanılarak yüzeysel ve yeraltı su potansiyelindeki iklim değişikliği etkileri bu bölüm içerisinde alt başlıklar altında değerlendirilmiştir. Bu çalışmada göz önüne alınan HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 iklim modelleri ile RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarından elde edilen sonuçlara göre, genel olarak Marmara Havzası'nda sıcaklığın belirgin bir artış eğilimine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan, sıcaklıktaki artış eğilimine rağmen yağışta sert azalma eğilimi olmadığı ve hidrolojik model sonuçlarına göre yüzeysel akışta artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Marmara Havzası ve alt havzaların su bütçesi belirlenirken havzada bulunan meteoroloji istasyonlarından elde edilen 1980–2020 yıllarına ait yağış ölçümlerinin alansal ortalamaları kullanılmıştır. Havza geneli ve alt havzalar için yapılan su bütçesi hesaplamaları aşağıda detaylı şekilde değerlendirilmiştir.

5.3.1. Havzalar Arası Su Transferleri

Meriç-Ergene ile Kuzey Marmara havzaları arasındaki su aktarımı ile ilgili detaylı bilgiler Tablo 5.32'de verilmiştir. Havzalar arası su transferleri grafik ortamda Şekil 5.50 üzerinde gösterilmiştir (DSİ, 2018). Tabloda görüldüğü gibi içme suyu ve sulama amacıyla master plan, proje, inşaat, planlama ve mevcut durum aşamasında havzalar arasında yıllık su aktarım miktarları ayrı ayrı belirlenmiştir. Buna göre Kuzey Marmara Havzası'ndan Meriç-Ergene Havzası'na toplamda yıllık net 10,414 hm³ su aktarımı söz konusudur. Ayrıca, Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan Melen Çayı'ndan Marmara Havzası'na (Batı İstanbul Alt Havzası) içme ve kullanma amacıyla 2015 yılı itibariyle yılda ortalama 575 hm³ su aktarımı yapılmaktadır.

Tablo 5.32 Meriç-Ergene ve Kuzey Marmara Havzaları Arasındaki Su Aktarımları (DSİ, 2018)

Sıra No	Aşaması	Proje Adı	Suyu Veren Havza Adı	Suyu Alan Havza Adı	Aktarılan Su Miktarı (hm ³ /yıl)	Amacı
1	Master Plan	Meriç Nehrinden Büyükkılıçlı Barajına	Meriç-Ergene	Kuzey Marmara	156,384	İçme suyu
2	Proje	İncelik göleti, İncelik Barajı ve Dedecik Barajından Tekirdağ içme suyuna	Meriç-Ergene	Kuzey Marmara	19,140	İçme suyu
MERİÇ-ERGENE HAVZASINDAN KUZEY MARMARA HAVZASINA AKTARILAN TOPLAM SU					175,524	-
3	İnşaat	Armağan barajından Kızılcıkdere sulamasına	Kuzey Marmara	Meriç-Ergene	4,900	Sulama
4	İnşaat	Armağan barajından Kırklareli barajına	Kuzey Marmara	Meriç-Ergene	13,000	İçme suyu
5	Proje	Kula-1 ve Kula-2 regülatörleri ve Çağlayık barajından Kayalıköy barajına	Kuzey Marmara	Meriç-Ergene	48,500	Sulama ve İçme suyu
6	Planlama	Kızılağaç ve Kömürköy barajlarından Çorlu-Çerkezköy ilçeleri İçme suyu	Kuzey Marmara	Meriç-Ergene	27,183	İçme suyu
7	Planlama	Balaban barajından Çorlu-Çerkezköy ilçeleri içme suyu	Kuzey Marmara	Meriç-Ergene	89,450	İçme suyu
8	Mevcut	Sergen göletinden Sergen göleti sulamasına	Kuzey Marmara	Meriç-Ergene	0,980	Sulama
9	Mevcut	Armağan barajından Çukurpınar sulamasına	Kuzey Marmara	Meriç-Ergene	1,925	Sulama
KUZEY MARMARA HAVZASINDAN MERİÇ-ERGENE HAVZASINA AKTARILAN TOPLAM SU					185,938	-
İKİ HAVZA SU AKTARIMLARI ARASINDAKİ FARK (Kuzey Marmara Havzasından Meriç-Ergene Havzasına Aktarılan Toplam Su Miktarı)					10,414	-



Şekil 5.50 Meriç Ergene Havzası ile Kuzey Marmara Havzası Arasındaki Su Aktarımlarının Havzadaki Yerleri (DSİ, 2018)

5.3.2. Marmara Havzası Genel Su Bütçesi

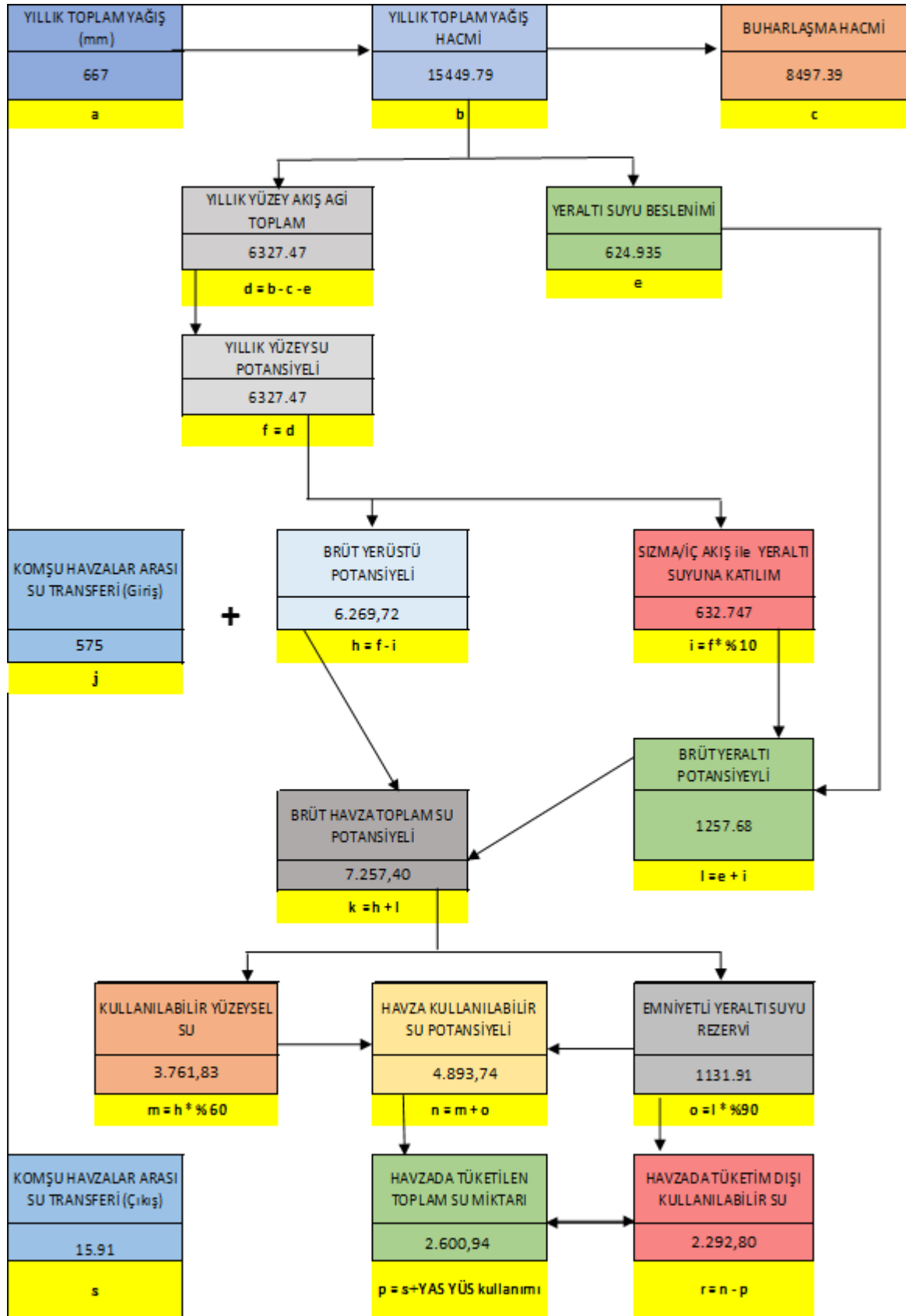
Marmara Havzası'nın güncel su potansiyeli belirlenirken havzada bulunan meteoroloji istasyonlarından elde edilen 1980–2020 yıllarına ait yağış ölçümlerinin alansal ortalamaları kullanılmıştır. Havzaya düşen toplam yıllık yağışın ortalama değeri 667 mm olarak hesaplanmıştır. Havzanın toplam drenaj alanı 23.163,11 km² olup yıllık yağışların toplam su hacmi 15.449,79 hm³ olarak hesaplanmıştır. Bu yağışın toplamda 624,94 hm³'lük kısmının litolojik süzülmeyle yeraltı suyunu beslediği ve geriye kalan 6.327,47 hm³'lük kısmının ise yüzeysel akışa geçtiği hesaplanmıştır. 8.497,39 hm³'lük miktarın ise buharlaşma ve terleme yoluyla havzadan uzaklaştığı belirlenmiştir. Yüzeysel akışın 632,75 hm³'lük kısmının (toplam akışın %10'u) akış sırasında sızma yoluyla yeraltı suyuna tekrar katıldığı tahmin edilerek havzanın yeraltı suyu potansiyeli 1.257,68 hm³ olarak elde edilmiştir. Yeraltı suyu yıllık emniyetli rezervi, net yeraltı suyunun %90'ına tekabül ettiği kabul edilerek 1.131,91 hm³ olarak

hesaplanmıştır. Marmara Havzası'ndan Meriç Ergene Havzası'na yaklaşık olarak $15,91 \text{ hm}^3$ civarında su aktarımı yapılmaktadır. Diğer taraftan, Batı Karadeniz Havzası'nda Melen Regülatörü'nden Marmara Havzası'na yılda 575 hm^3 içme ve kullanma suyu transfer edilmektedir. Buna göre, havzanın brüt yüzeysel su potansiyeli $6.269,72 \text{ hm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, havzanın yeraltı ve yerüstü suları brüt toplam hacmi $7.257,40 \text{ hm}^3$ olarak elde edilmiştir. Yapılan kabuller ile havzada kullanılabilir su kaynakları yüzey suyu için $3.761,83 \text{ hm}^3$, yeraltı suyu için ise $1.131,91 \text{ hm}^3$ olarak belirlenmiş olup toplam kullanılabilir su potansiyeli $4.893,74 \text{ hm}^3$ olarak tespit edilmiştir.

Marmara Havzası ve alt havzalara ait su bütçesi bilgileri özet halinde Tablo 5.33 üzerinde verilmiştir. Havzanın su bütçesi Şekil 5.51 üzerinde şematik olarak özetlenmiştir. Alt havzaların su bütçesi hesaplamaları ayrıca detaylı şekilde alt bölümlerde verilmiştir. Burada havza ve alt havza bazında tüketilen ve tüketim dışı kullanılabilir su miktarları da ayrıca verilmiştir.

Tablo 5.33 Marmara Havzası ve Alt Havzalara Ait Su Bütçesi

Alt Havza	Yağış Alanı (km ²)	Yıllık Toplam Yağış Hacmi (hm ³)	Buharlaşma Hacmi (hm ³)	Yerüstü Su (YÜS) Potansiyeli (hm ³)	Yeraltı Suyu (YAS) Beslenimi (hm ³)	Brüt YÜS Potansiyeli (hm ³)	Havzalar Arası Su Transferi (hm ³)	Kullanılabilir YÜS Potansiyeli (hm ³)	Emniyetli Yeraltı Suyu Rezervi (hm ³)	Havza Kullanılabilir Su Potansiyeli (hm ³)	Havzada Tüketilen Toplam Su Miktarı (hm ³)	Havzada Tüketim Dışı Toplam Su Miktarı (hm ³)
Biga Çayı	4.177,55	2.661,10	1.463,61	1.112,88	84,62	1.001,59	0,00	600,95	176,32	777,27	251,15	526,12
Körfez	3.456,50	2.550,90	1.402,99	1.074,30	73,6	966,87	0,00	580,12	162,93	743,05	567,08	175,97
Gönen Çayı	2.168,56	1.465,95	806,27	603,30	56,38	542,97	0,00	325,78	105,03	430,82	141,17	289,65
İznik Gölü	1.241,43	891,35	490,24	360,44	40,67	324,39	0,00	194,64	69,04	263,68	116,95	146,73
Ağva Deresi	2.966,60	2.414,81	1.328,15	1.086,67		978,00	0,00	586,80	97,80	684,60	386,20	298,40
Batu İstanbul	4.312,26	2.695,16	1.482,34	1.041,32	171,5	1.512,19	575,00	907,31	248,07	1.155,40	900,89	254,50
Kuzey Kurklareli	1.992,75	1.137,86	625,82	475,91	36,13	428,32	15,91	256,99	75,35	332,34	137,46	194,88
Kuzey Çanakale	2.847,45	1.631,59	897,37	572,17	162,04	514,96	0,00	308,97	197,33	506,31	100,48	405,83
Marmara Havzası	23.163,10	15.449,79	8.496,39	6.327,47	624,94	6.269,72	262,91	3.761,83	1.131,91	4.893,74	2.601,38	2.292,80



Şekil 5.51 Marmara Havzası Su Bütçesi

Kullanılan metodolojinin daha iyi açıklanabilmesi için su bütçesini oluşturan 16 kaleme birer harf atanarak bütçe tablolarında ilgili kalemlerin hesaplamaları gösterilmiştir (Tablo 5.34). Burada bahsi geçen hesaplamalar ve kalemler bütün alt havzalar için aynı olup hesaplamalar aynı şematik yapıyı takip etmektedir.

Tablo 5.34 Su Bütçesi Metodu Hesap Açıklamaları

	Değişken Adı/Tanımı	Hesap	Açıklama
a	Yıllık Toplam Yağış		Alansal Düşen Yağış Toplamı
b	Yıllık Toplam Yağış Hacmi		Alansal Düşen Yağış Hacmi
c	Buharlaşma Hacmi		Buharlaşma Katsayısı (%55) * Yağış * Alan
d	Yıllık Yüzeysel Akış AGİ Toplam	$d = b - c - e$	Yıllık Toplam Yağış Hacmi - Buharlaşma Hacmi + Yeraltı Suyu Beslenimi
e	Yeraltı Suyu Beslenimi		Litolojik Süzülme
f	Yıllık Yüzeysu Potansiyeli	$f = d + g$	Yıllık Yüzey Akış Hacmi + Kaynak Çıkışları
h	Brüt Yerüstü Su Potansiyeli	$h = f - i$	Yıllık Yüzeysu Potansiyeli - Sızma/İç Akış ile Yeraltı Suyuna Katılım
i	Sızma/İç Akış İle Yeraltı Suyuna Katılım	$i = f * \%10$	Yıllık Yüzeysu Potansiyeli * Sızma Oranı (%10) (Yaklaşım)
j	Komşu Havzalar Arası Su Potansiyeli		Havzalar Arası Giren Derivasyon İhtiyaçları
k	Brüt Havza Toplam Su Potansiyeli	$k = h + l$	Brüt Yerüstü Su Potansiyeli + Brüt Yeraltı Su Potansiyeli
l	Brüt Yeraltı Su Potansiyeli	$l = e + i$	Yeraltı Suyu Beslenimi + Sızma/İç Akış İle Yeraltı Suyuna Katılım
m	Kullanılabilir Yüzeysel Su Potansiyeli	$m = h * \%60$	Brüt Yerüstü Su Potansiyeli * Kullanılabilir Su Oranı (Yaklaşım)
n	Havza Kullanılabilir Su Potansiyeli	$n = m + o$	Kullanılabilir Yüzeysel Su Potansiyeli + Emniyetli Yeraltı Suyu Rezervi
o	Emniyetli Yeraltı Suyu Rezervi	$o = l * \%90$	Brüt Yeraltı Su Potansiyeli * Kullanılabilir Su Oranı (Yaklaşım)
p	Havzada Tüketilen Toplam Su Miktarı	$p = j + YÜS$ ve YAS Tüketimi	Toplam Havza Dışı Derivasyon + Toplam Sektörel YÜS YAS Su Kullanımı (Tarım, İçme, Sanayi vb.)
r	Havzada Tüketim Dışı Kullanılabilir Su Potansiyeli	$r = n - p$	Havza Kullanılabilir Su Potansiyeli - Havzada Tüketilen Toplam Su Miktarı
s	Komşu Havzalar Arası Su Potansiyeli		Havzalar Arası Çıkan Derivasyon İhtiyaçları

Bu çalışmada kullanılan su bütçesi metoduna ait hesaplamalarda benimsenen 4 önemli yaklaşım özet halinde aşağıda açıklanmıştır.

- **Yağıştan Buharlaşmaya Dönüşme Oranı (c):** Buharlaşma değerlerinin tutarlı hesaplanması için çeşitli kaynaklar araştırılmıştır. Gerçek buharlaşma değeri Türkiye

ortalaması olarak toplam yağışın %55'ine denk gelmektedir (DSİ, 2017). Bu çalışmada Marmara Havzası geneli ve alt havzalar için aynı değer kabul edilmiştir.

- **Yeraltı Suyu Sızma Oranı (i):** Sızma/İç Akış İle Yeraltı Suyuna Katılım kaleminin hesaplanabilmesi için gerekli olan Yeraltı Suyu Sızma Oranı'nın belirlenmesi için hem havzanın jeolojik yapısı incelenmiş hem de su bütçesinin daha dengeli olması amaçlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda Marmara Havzası'nda Yeraltı Suyu Sızma Oranı %10 olarak belirlenmiş olup bu değer bu havzaya ait alt havzalarda da aynı kabul edilmiştir.
- **Kullanılabilir Yüzeysel Su Oranı (m):** Toplam yüzeysel su potansiyelinin kullanılabilir yüzeysel su potansiyeline çevrimi hesaplaması için gereken kullanılabilir yüzeysel su oranı için çeşitli kaynaklar incelenmiş ve bu oranın Türkiye için mevcut durumda %60 olduğu belirlenmiştir (DSİ, 2017). Bu değer havzadaki alt havzalarda da aynı kabul edilmiştir.
- **Kullanılabilir Yeraltı Su Oranı (o):** Emniyetli Yeraltı Suyu Rezervi hesaplamaları için gereken Kullanılabilir Yeraltı Su Oranı'nın belirlenmesi için hem havzanın jeolojik yapısı incelenmiş hem de su bütçesinin daha dengeli olması amaçlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda Marmara Havzası'nda Kullanılabilir Yeraltı Su Oranı %90 olarak belirlenmiş olup bu değer bu havzaya ait alt havzalarda da aynı kabul edilmiştir.

5.3.3. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)

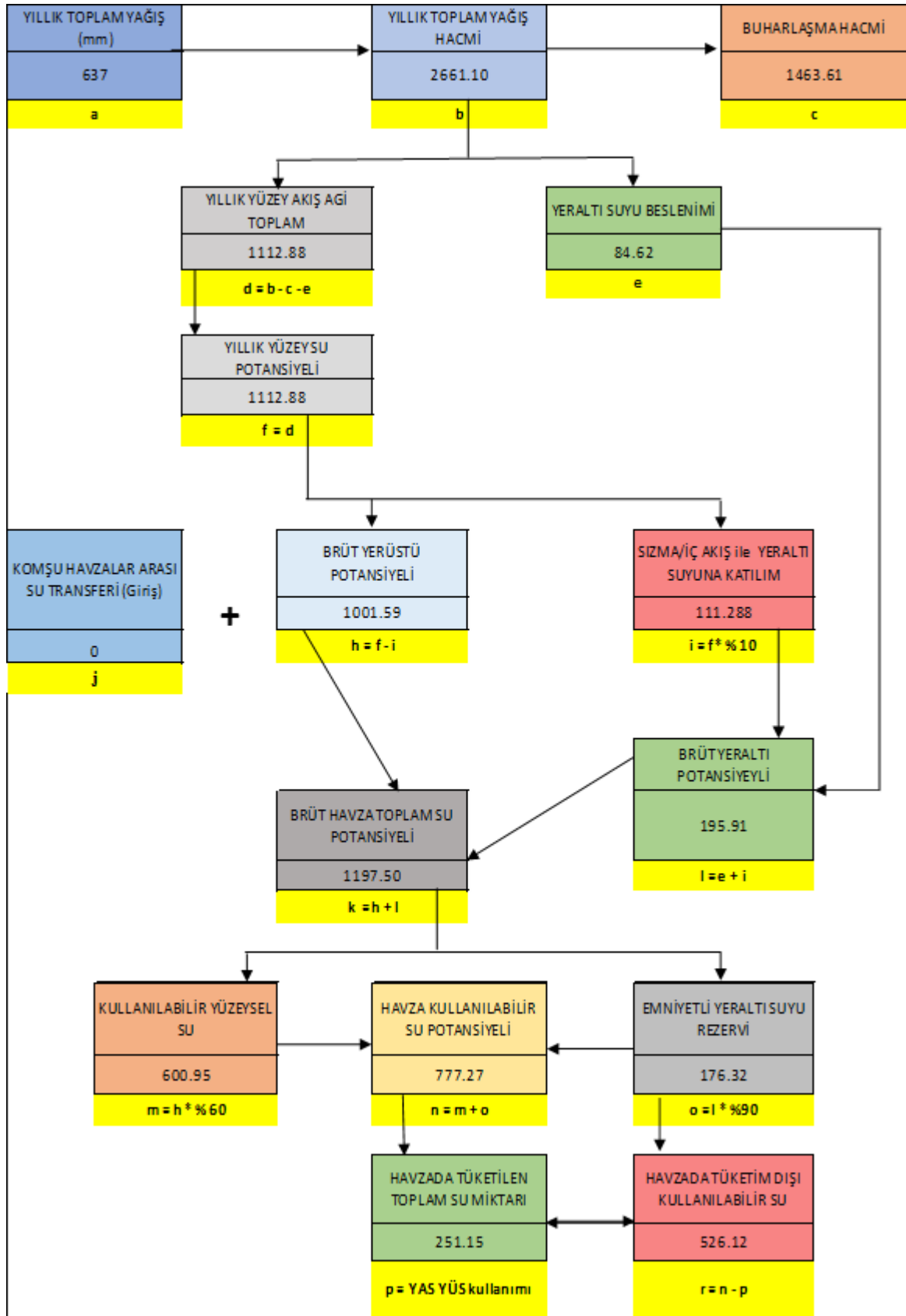
Biga Çayı Alt Havzası'nın güncel su potansiyeli belirlenirken havzada bulunan meteoroloji istasyonlarının 1980 – 2020 yıllarına ait ölçümlerinin alansal ortalamaları kullanılmıştır. Alt havza toplam drenaj alanı 4.177,55 km²'dir. Yeraltı suyu potansiyeli ise alt havzada bulunan hidrojeolojik yapının kapsamlı incelenmesi sonrası akiferlerin yağış – beslenme ilişkilerine bağlı kalınarak litolojik süzülme miktarlarından hesaplanmıştır. Alt havzaya düşen yağışın toplam yıllık ortalama değeri 637 mm olarak hesaplanmış ve buna göre yıllık yağışların toplam su hacmi 2.661,10 hm³ olarak bulunmuştur. Bu yağışın toplamda 84,62 hm³'lük kısmının litolojik süzülmeyle yeraltı suyunu beslediği ve geriye kalan 1.112,88 hm³'lük kısmının ise yüzeysel akışa geçtiği hesaplanmıştır. 1.463,61 hm³'lük miktarın ise buharlaşma ve terleme yoluyla havzadan uzaklaştığı hesaplanmıştır.

Yüzeysel akışın 111,29 hm³'lük kısmı akış sırasında sızma yoluyla yeraltı suyuna tekrar katılmaktadır ve böylelikle havzada 195,91 hm³ yeraltı suyu potansiyeli oluşmaktadır. Yeraltı

suyu yıllık emniyetli rezervi net yeraltı suyunun %90'ı olarak kabul edilmiş ve 176,32 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Alt havzada brüt yüzeysel su potansiyeli 1.001,59 hm³ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle alt havza yeraltı ve yerüstü suları brüt toplam hacmi 1.197,50 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan kabuller ile havza kullanılabilir su kaynakları yüzey suyu için 600,95 hm³, yeraltı suyu için ise 176,32 hm³ olarak belirlenmiş olup toplam alt havza kullanılabilir su potansiyeli ise 777,26 hm³ olarak hesaplanmıştır. Alt havzanın su bütçesi şematik olarak Şekil 5.52 üzerinde özetlenmiştir.



Şekil 5.52 Biga Çayı Alt Havzası Su Bütçesi

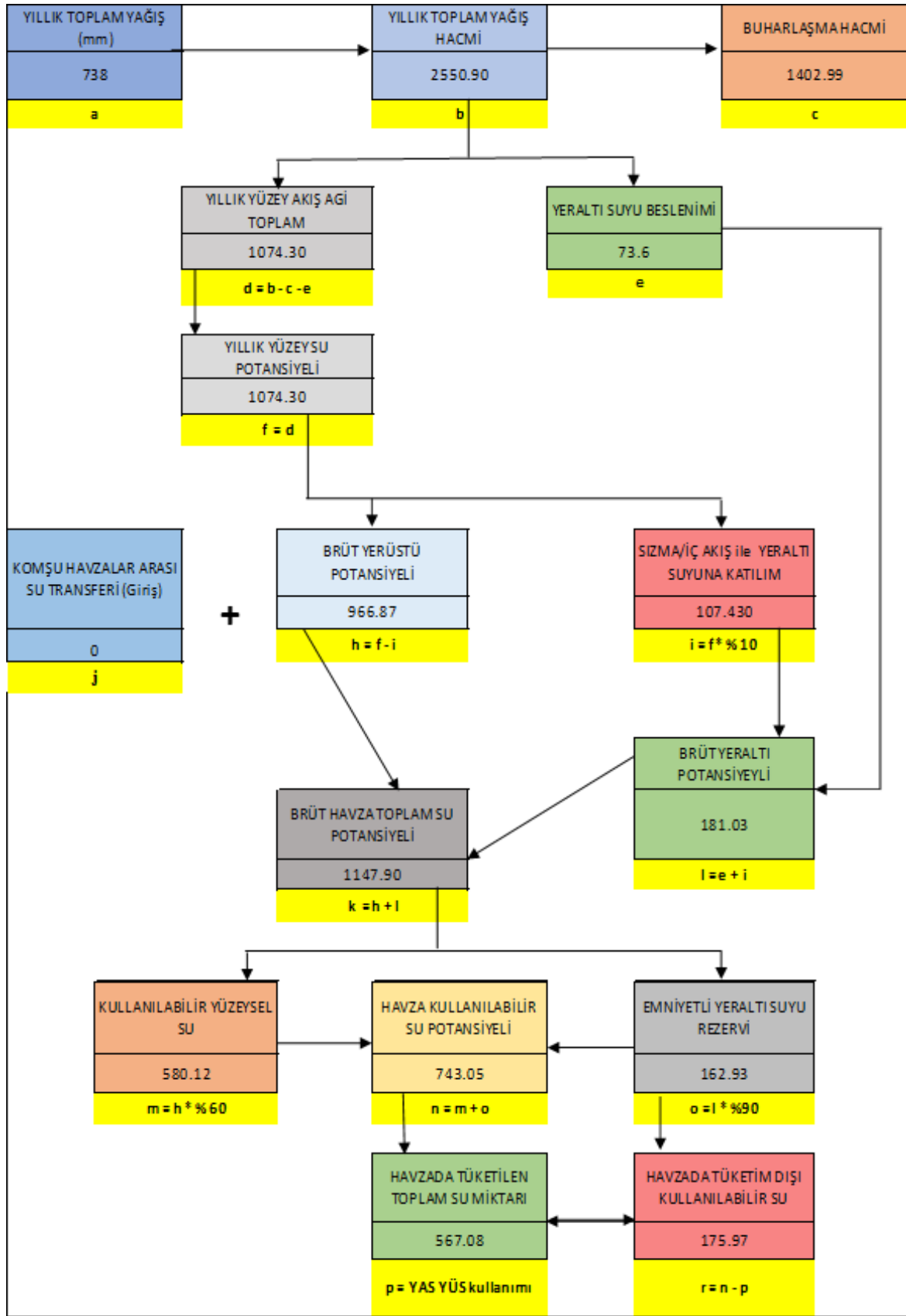
5.3.4. Körfez Alt Havzası (2/8)

Körfez Alt Havzası'ndaki günümüze ait su potansiyeli belirlenirken havzada bulunan meteoroloji istasyonlarının 1980 – 2020 yıllarına ait ölçümlerinin alansal ortalamaları kullanılmıştır. Alt havza toplam drenaj alanı 3.456,50 km²'dir. Yeraltı Suyu potansiyeli ise alt havzada bulunan hidrojeolojik yapının kapsamlı incelenmesi sonrası akiferlerin yağış – beslenme ilişkilerine bağımlı kalınarak litolojik süzülme miktarlarından hesaplanmıştır. Alt havzaya düşen yağışın toplam yıllık ortalama değeri 738 mm olarak hesaplanmış ve buna göre yıllık yağışların toplam su hacmi 2.550,90 hm³ olarak bulunmuştur. Bu yağışın toplamda 73,6 hm³'lük kısmının litolojik süzülmeyle yeraltı suyunu beslediği ve geriye kalan 1.074,30 hm³'lük kısmının ise yüzeysel akışa geçtiği hesaplanmıştır. 1.402,99 hm³'lük miktarın ise buharlaşma ve terleme yoluyla havzadan uzaklaştığı hesaplanmıştır.

Yüzeysel akışın 107,43 hm³'lük kısmı akış sırasında sızma yoluyla yeraltı suyuna tekrar katılmaktadır ve böylelikle havzada 181,03 hm³ yeraltı suyu potansiyeli oluşmaktadır. Yeraltı suyu yıllık emniyetli rezervi, net yeraltı suyunun %90'ı olarak kabul edilmiş ve 162,93 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Alt havza brüt yüzeysel su potansiyeli 966,87 hm³ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle alt havza yeraltı ve yerüstü suları brüt toplam hacmi 1.147,90 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan kabuller ile havza kullanılabilir su kaynakları yüzey suyu için 580,12 hm³, yeraltı suyu için ise 162,93 hm³ olarak belirlenmiş olup toplam alt havza kullanılabilir su potansiyeli ise 743,05 hm³ olarak hesaplanmıştır. Alt havzanın su bütçesi şematik olarak Şekil 5.53 üzerinde özetlenmiştir.



Şekil 5.53 Körfez Alt Havzası Su Bütçesi

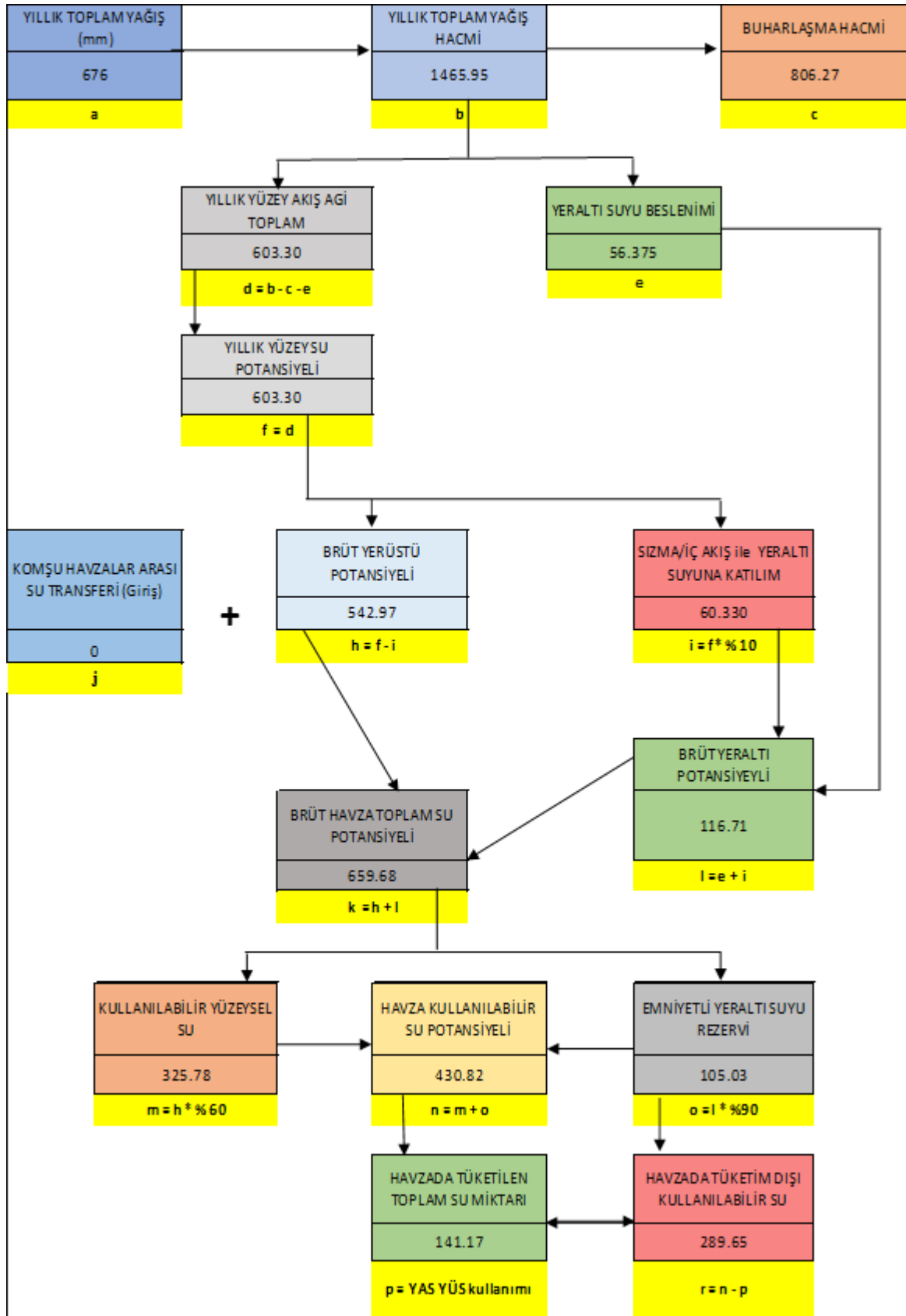
5.3.5. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)

Gönen Çayı Alt Havzası'ndaki günümüze ait su potansiyeli belirlenirken havzada bulunan meteoroloji istasyonlarının 1980 – 2020 yıllarına ait ölçümlerinin alansal ortalamaları kullanılmıştır. Alt havza toplam drenaj alanı 2.168,56 km²'dir. Yeraltı Suyu potansiyeli ise alt havzada bulunan hidrojeolojik yapının kapsamlı incelenmesi sonrası akiferlerin yağış – beslenme ilişkilerine bağımlı kalınarak litolojik süzülme miktarlarından hesaplanmıştır. Alt havzaya düşen yağışın toplam yıllık ortalama değeri 676 mm olarak hesaplanmış ve buna göre yıllık yağışların toplam su hacmi 1.464,95 hm³ olarak bulunmuştur. Bu yağışın toplamda 56,38 hm³'lük kısmının litolojik süzülmeyle yeraltı suyunu beslediği ve geriye kalan 603,30 hm³'lük kısmının ise yüzeysel akışa geçtiği hesaplanmıştır. 806,27 hm³'lük miktarın ise buharlaşma ve terleme yoluyla havzadan uzaklaştığı hesaplanmıştır.

Yüzeysel akışın 60,33 hm³'lük kısmı akış sırasında sızma yoluyla yeraltı suyuna tekrar katılmaktadır ve böylelikle havzada 116,71 hm³ yeraltı suyu potansiyeli oluşmaktadır. Yeraltı suyu yıllık emniyetli rezervi, net yeraltı suyunun %90'ı olarak kabul edilmiş ve 105,03 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Alt havza brüt yüzeysel su potansiyeli 542,97 hm³ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle alt havza yeraltı ve yerüstü suları brüt toplam hacmi 659,68 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan kabuller ile havza kullanılabilir su kaynakları yüzey suyu için 325,78 hm³, yeraltı suyu için ise 105,03 hm³ olarak belirlenmiş olup toplam alt havza kullanılabilir su potansiyeli ise 430,82 hm³ olarak hesaplanmıştır. Alt havzanın su bütçesi şematik olarak Şekil 5.54 üzerinde özetlenmiştir.



Şekil 5.54 Gönen Çayı Alt Havzası Su Bütçesi

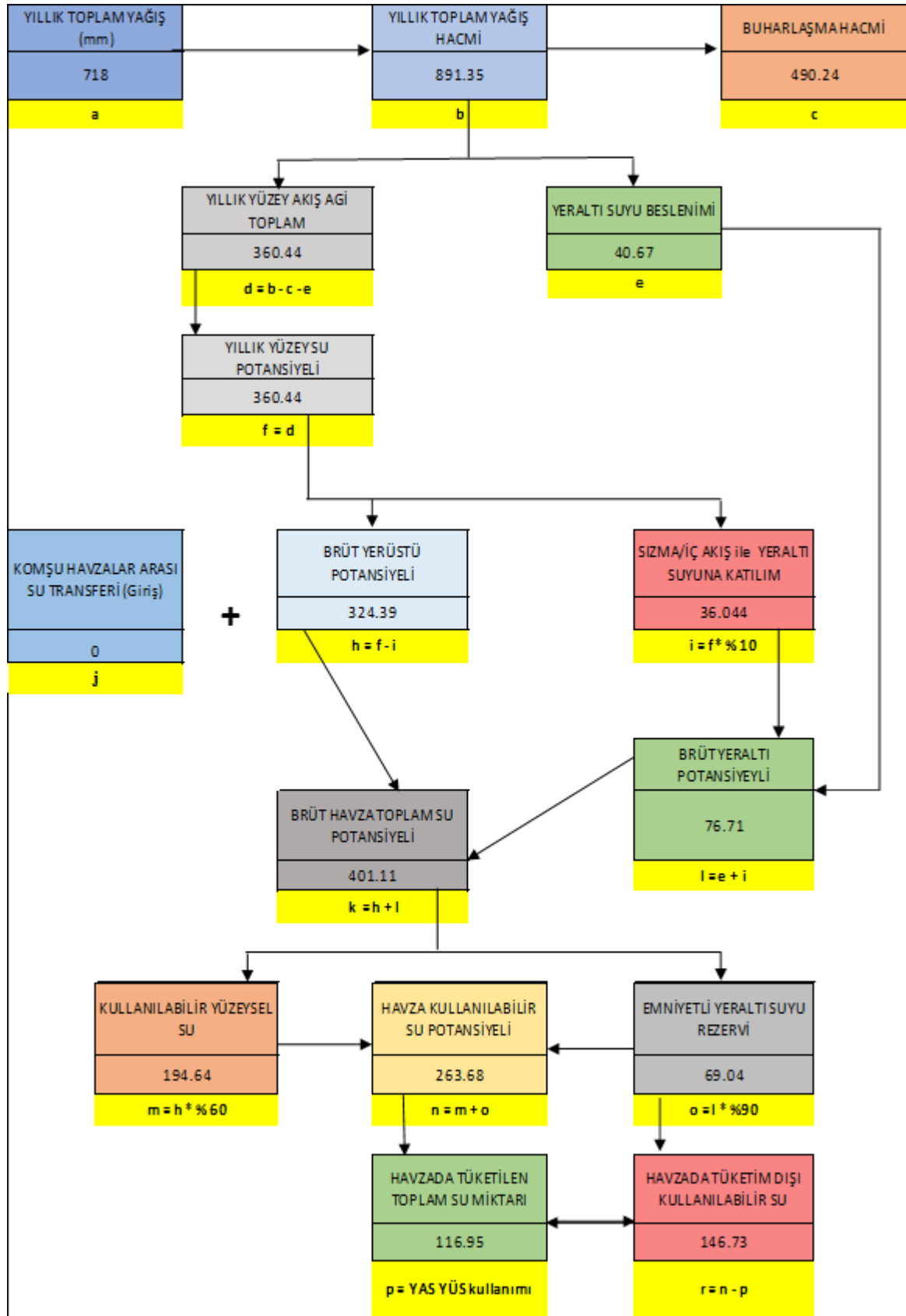
5.3.6. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)

İznik Gölü Alt Havzası'ndaki günümüze ait su potansiyeli belirlenirken havzada bulunan meteoroloji istasyonlarının 1980 – 2020 yıllarına ait ölçümlerinin alansal ortalamaları kullanılmıştır. Alt havza toplam drenaj alanı 2.141,43 km²'dir. Yeraltı Suyu potansiyeli ise alt havzada bulunan hidrojeolojik yapının kapsamlı incelenmesi sonrası akiferlerin yağış – beslenme ilişkilerine bağımlı kalınarak litolojik süzülme miktarlarından hesaplanmıştır. Alt havzaya düşen yağışın toplam yıllık ortalama değeri 718 mm olarak hesaplanmış ve buna göre yıllık yağışların toplam su hacmi 891,35 hm³ olarak bulunmuştur. Bu yağışın toplamda 40,67 hm³'lük kısmının litolojik süzülmeyle yeraltı suyunu beslediği ve geriye kalan 360,44 hm³'lük kısmının ise yüzeysel akışa geçtiği hesaplanmıştır. 490,24 hm³'lük miktarın ise buharlaşma ve terleme yoluyla havzadan uzaklaştığı hesaplanmıştır.

Yüzeysel akışın 36,04 hm³'lük kısmı akış sırasında sızma yoluyla yeraltı suyuna tekrar katılmaktadır ve böylelikle havzada 76,71 hm³ yeraltı suyu potansiyeli oluşmaktadır. Yeraltı suyu yıllık emniyetli rezervi, net yeraltı suyunun %90'ı olarak kabul edilmiş ve 69,04 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Alt havza brüt yüzeysel su potansiyeli 324,39 hm³ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle alt havza yeraltı ve yerüstü suları brüt toplam hacmi 401,11 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan kabuller ile havza kullanılabilir su kaynakları yüzey suyu için 194,64 hm³, yeraltı suyu için ise 69,04 hm³ olarak belirlenmiş olup toplam alt havza kullanılabilir su potansiyeli ise 263,68 hm³ olarak hesaplanmıştır. Alt havzanın su bütçesi şematik olarak Şekil 5.55 üzerinde özetlenmiştir.



Şekil 5.55 İznik Gölü Alt Havzası Su Bütçesi

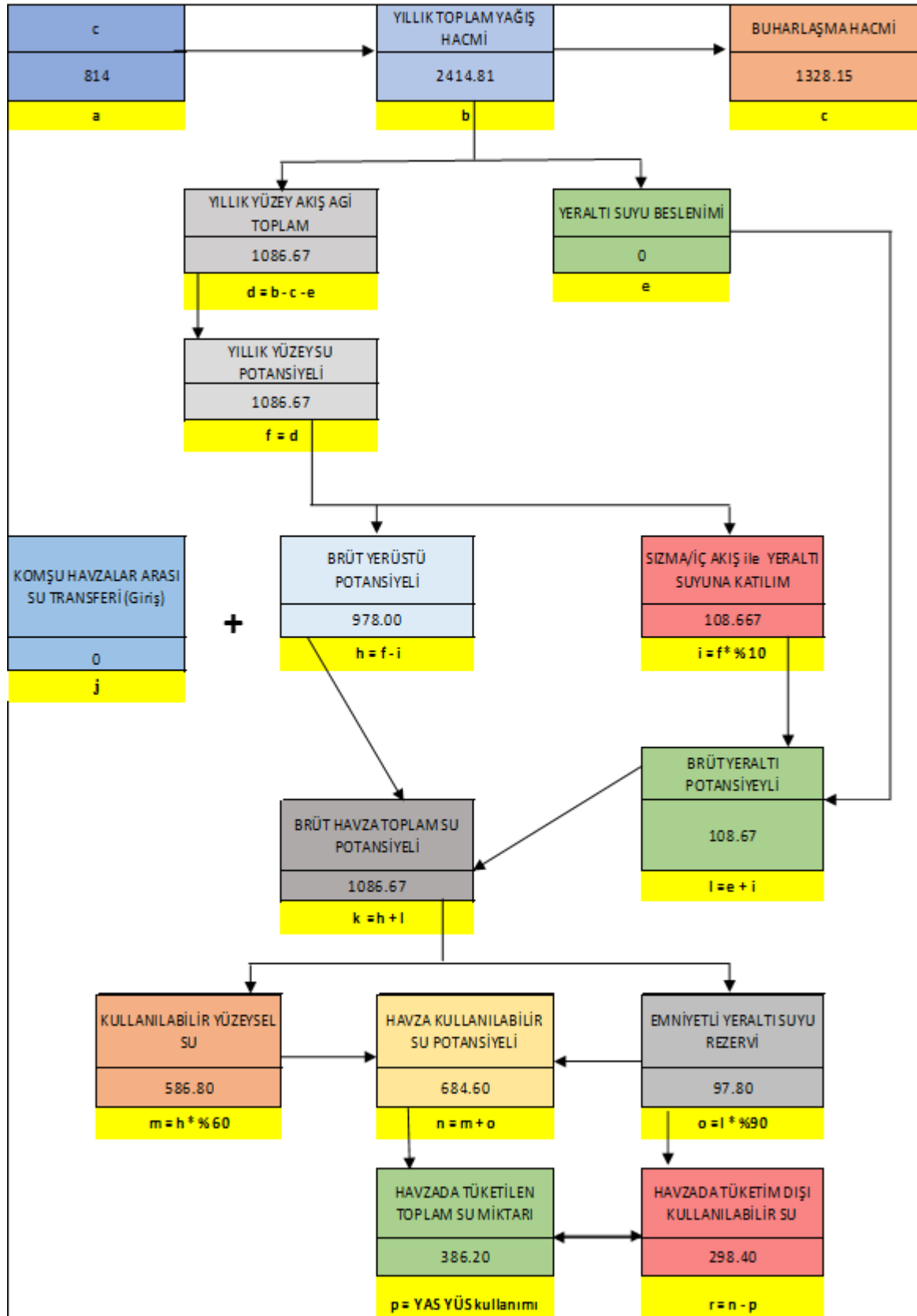
5.3.7. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)

Ağva Deresi Alt Havzası'ndaki günümüze ait su potansiyeli belirlenirken havzada bulunan meteoroloji istasyonlarının 1980 – 2020 yıllarına ait ölçümlerinin alansal ortalamaları kullanılmıştır. Alt havza toplam drenaj alanı 2.966,60 km²'dir. Yeraltı Suyu potansiyeli ise alt havzada bulunan hidrojeolojik yapının kapsamlı incelenmesi sonrası akiferlerin yağış – beslenme ilişkilerine bağımlı kalınarak litolojik süzülme miktarlarından hesaplanmıştır. Alt havzaya düşen yağışın toplam yıllık ortalama değeri 814 mm olarak hesaplanmış ve buna göre yıllık yağışların toplam su hacmi 2.414,81 hm³ olarak bulunmuştur. Bu yağışın toplamda 1.086,67 hm³'lük kısmının yüzeysel akışa geçtiği hesaplanmıştır. 1.328,15 hm³'lük miktarın ise buharlaşma ve terleme yoluyla havzadan uzaklaştığı hesaplanmıştır.

Yüzeysel akışın 108,67 hm³'lük kısmı akış sırasında sızma yoluyla yeraltı suyuna tekrar katılmaktadır ve böylelikle havzada 108,67 hm³ yeraltı suyu potansiyeli oluşmaktadır. Yeraltı suyu yıllık emniyetli rezervi, net yeraltı suyunun %90'ı olarak kabul edilmiş ve 97,80 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Alt havza brüt yüzeysel su potansiyeli 978 hm³ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle alt havza yeraltı ve yerüstü suları brüt toplam hacmi 1086,67 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan kabuller ile havza kullanılabilir su kaynakları yüzey suyu için 586,80 hm³, yeraltı suyu için ise 97,80 hm³ olarak belirlenmiş olup toplam alt havza kullanılabilir su potansiyeli ise 684,60 hm³ olarak hesaplanmıştır. Alt havzanın su bütçesi şematik olarak Şekil 5.56 üzerinde özetlenmiştir.



Şekil 5.56 Ağva Deresi Alt Havzası Su Bütçesi

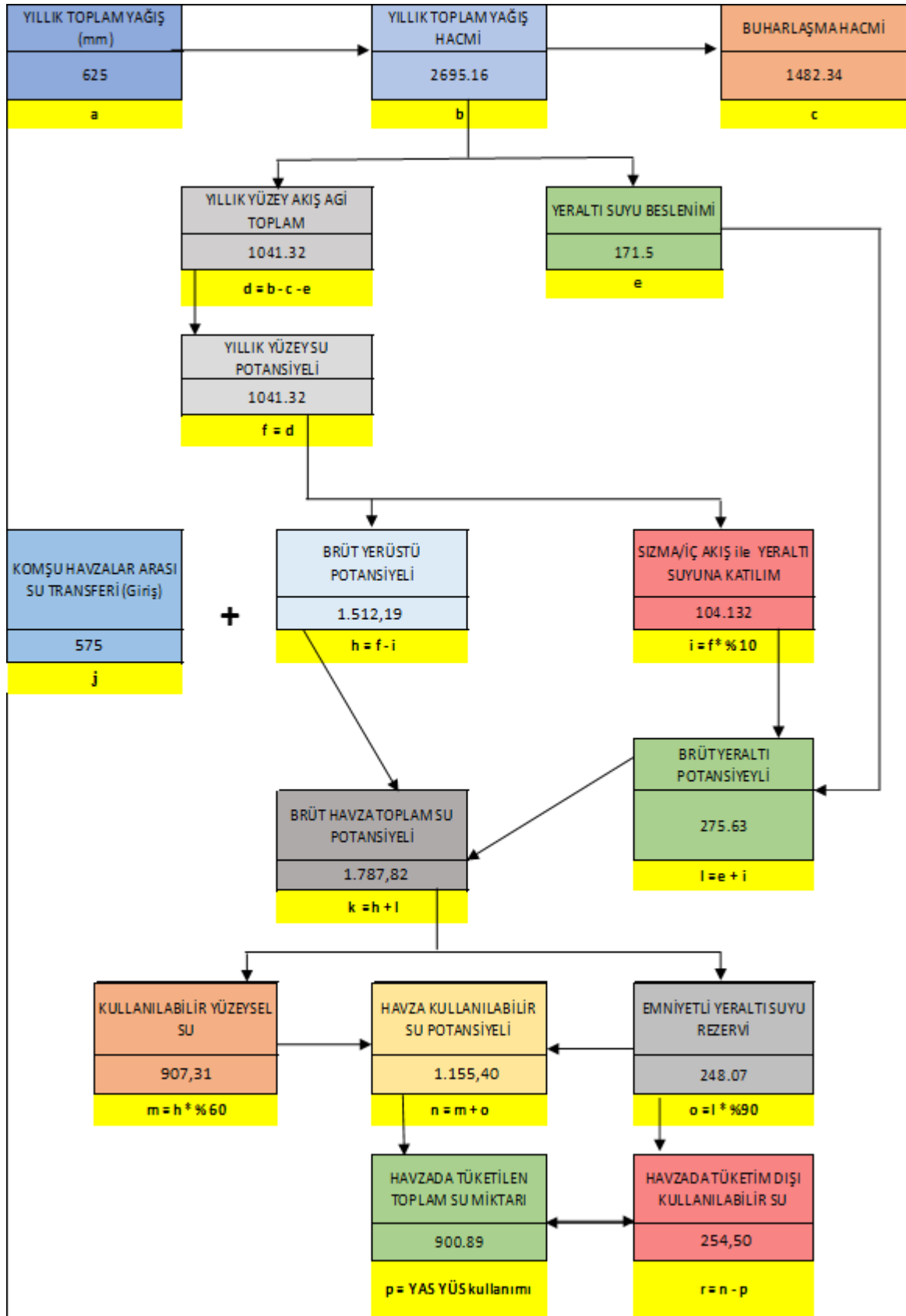
5.3.8. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)

Batı İstanbul Alt Havzası'ndaki günümüze ait su potansiyeli belirlenirken havzada bulunan meteoroloji istasyonlarının 1980–2020 yıllarına ait ölçümlerinin alansal ortalamaları kullanılmıştır. Alt havza toplam drenaj alanı 4.312,26 km²'dir. Yeraltı Suyu potansiyeli ise alt havzada bulunan hidrojeolojik yapının kapsamlı incelenmesi sonrası akiferlerin yağış – beslenme ilişkilerine bağımlı kalınarak litolojik süzülme miktarlarından hesaplanmıştır. Alt havzaya düşen yağışın toplam yıllık ortalama değeri 625 mm olarak hesaplanmış ve buna göre yıllık yağışların toplam su hacmi 2.695,16 hm³ olarak bulunmuştur. Bu yağışın toplamda 171,50 hm³'lük kısmının litolojik süzülmeyle yeraltı suyunu beslediği ve geriye kalan 1.041,32 hm³'lük kısmının ise yüzeysel akışa geçtiği hesaplanmıştır. 1.482,34 hm³'lük miktarın ise buharlaşma ve terleme yoluyla havzadan uzaklaştığı hesaplanmıştır.

Yüzeysel akışın 104,13 hm³'lük kısmı akış sırasında sızma yoluyla yeraltı suyuna tekrar katılmaktadır ve böylelikle havzada 275,63 hm³ yeraltı suyu potansiyeli oluşmaktadır. Yeraltı suyu yıllık emniyetli rezervi, net yeraltı suyunun %90'ı olarak kabul edilmiş ve 248,07 hm³ olarak hesaplanmıştır. Batı Karadeniz Havzası'ndan Batı İstanbul Alt Havzası'na yaklaşık olarak 575,00 hm³ su aktarılmaktadır.

Alt havza brüt yüzeysel su potansiyeli 1.512,19 hm³ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle alt havza yeraltı ve yerüstü suları brüt toplam hacmi 1.787,82 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan kabuller ile alt havza kullanılabilir su kaynakları yüzey suyu için 907,31 hm³, yeraltı suyu için ise 248,07 hm³ olarak belirlenmiş olup toplam kullanılabilir su potansiyeli ise 1.155,40 hm³ olarak hesaplanmıştır. Alt havzanın su bütçesi şematik olarak Şekil 5.57 üzerinde özetlenmiştir.



Şekil 5.57 Batı İstanbul Alt Havzası Su Bütçesi

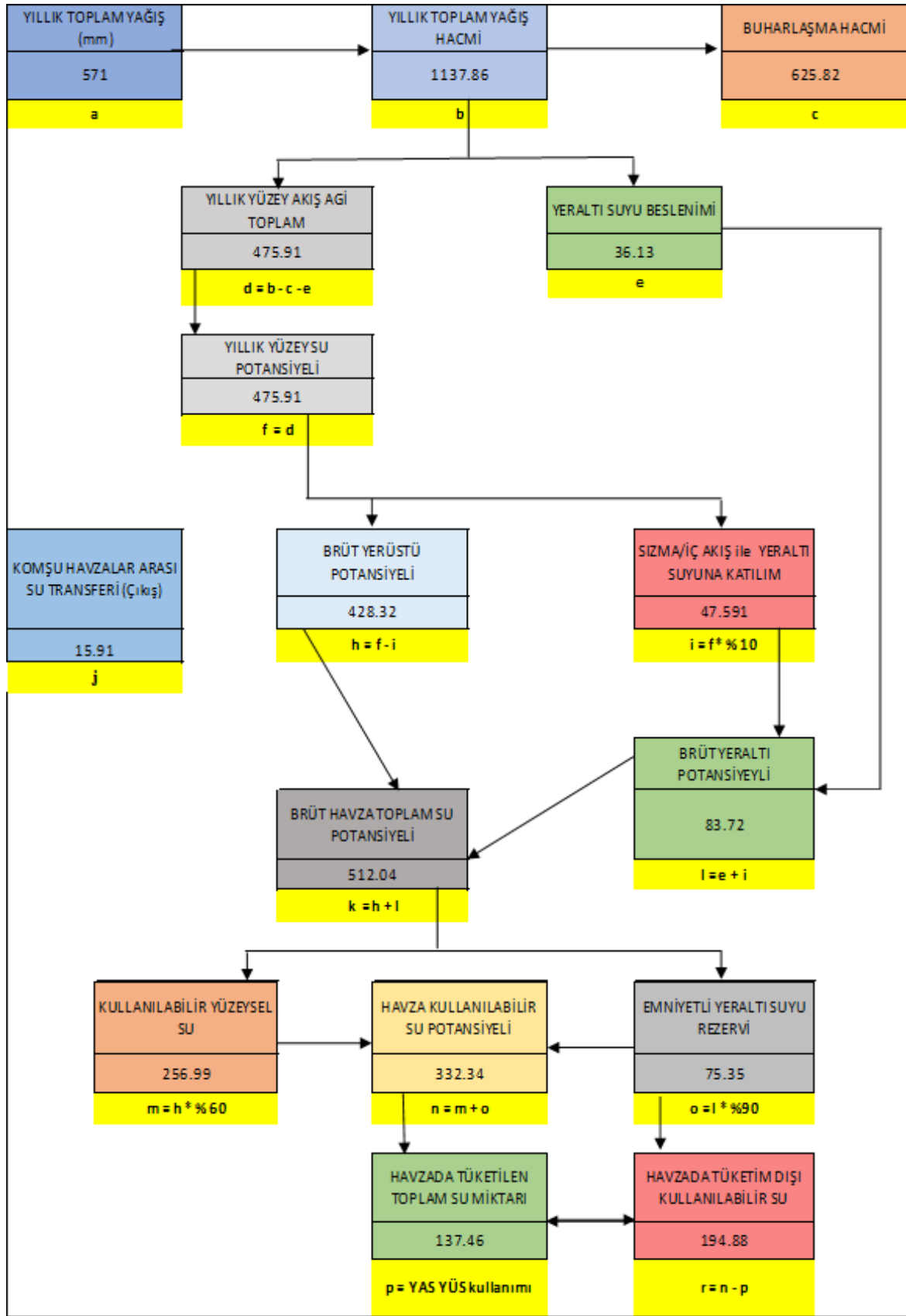
5.3.9. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8)

Kuzey Kırklareli Alt Havzası'ndaki günümüze ait su potansiyeli belirlenirken havzada bulunan meteoroloji istasyonlarının 1980 – 2020 yıllarına ait ölçümlerinin alansal ortalamaları kullanılmıştır. Alt havza toplam drenaj alanı 1.992,75 km²'dir. Yeraltı Suyu potansiyeli ise alt havzada bulunan hidrojeolojik yapının kapsamlı incelenmesi sonrası akiferlerin yağış – beslenme ilişkilerine bağımlı kalınarak litolojik süzülme miktarlarından hesaplanmıştır. Alt havzaya düşen yağışın toplam yıllık ortalama değeri 571 mm olarak hesaplanmış ve buna göre yıllık yağışların toplam su hacmi 1137,86 hm³ olarak bulunmuştur. Bu yağışın toplamda 36,13 hm³'lük kısmının litolojik süzülmeyle yeraltı suyunu beslediği ve geriye kalan 475,91 hm³'lük kısmının ise yüzeysel akışa geçtiği hesaplanmıştır. 625,82 hm³'lük miktarın ise buharlaşma ve terleme yoluyla havzadan uzaklaştığı hesaplanmıştır.

Yüzeysel akışın 47,59 hm³'lük kısmı akış sırasında sızma yoluyla yeraltı suyuna tekrar katılmaktadır ve böylelikle havzada 83,72 hm³ yeraltı suyu potansiyeli oluşmaktadır. Yeraltı suyu yıllık emniyetli rezervi, net yeraltı suyunun %90'ı olarak kabul edilmiş ve 75,35 hm³ olarak hesaplanmıştır. Kuzey Kırklareli alt havzasından Lüleburgaz ve Babaeski alt havzalarına sırasıyla yaklaşık olarak 0,98 ve 14,93 hm³ su aktarılmaktadır.

Alt havza brüt yüzeysel su potansiyeli 428,32 hm³ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle alt havza yeraltı ve yerüstü suları brüt toplam hacmi 512,04 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan kabuller ile havza kullanılabilir su kaynakları yüzey suyu için 256,99 hm³, yeraltı suyu için ise 75,35 hm³ olarak belirlenmiş olup toplam alt havza kullanılabilir su potansiyeli ise 332,34 hm³ olarak hesaplanmıştır. Alt havzanın su bütçesi şematik olarak Şekil 5.58 üzerinde özetlenmiştir.



Şekil 5.58 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Su Bütçesi

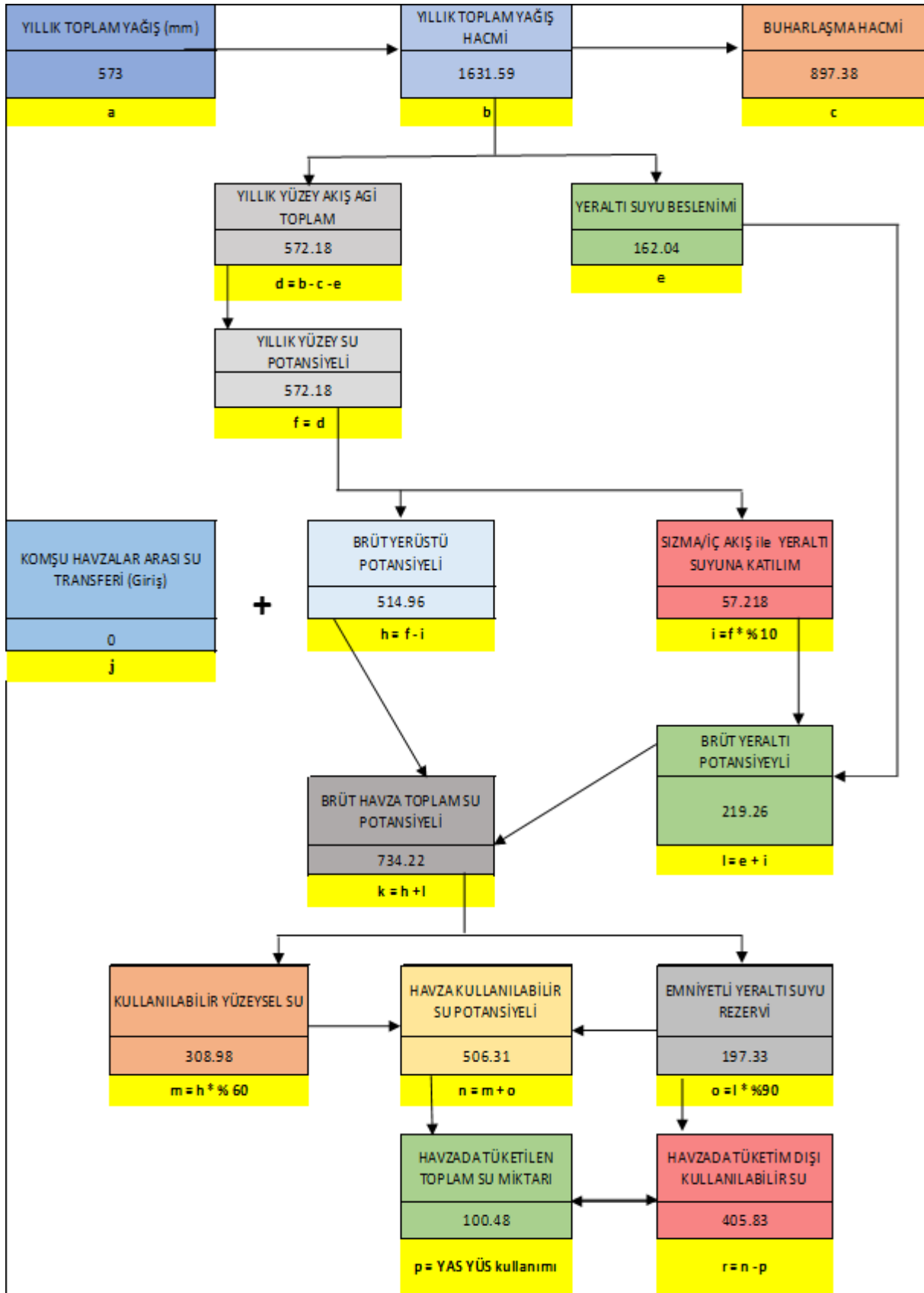
5.3.10. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8)

Kuzey Çanakkale Alt Havzası'ndaki günümüze ait su potansiyeli belirlenirken havzada bulunan meteoroloji istasyonlarının 1980 – 2020 yıllarına ait ölçümlerinin alansal ortalamaları kullanılmıştır. Alt havza toplam drenaj alanı 2.846,46 km²'dir. Yeraltı Suyu potansiyeli ise alt havzada bulunan hidrojeolojik yapının kapsamlı incelenmesi sonrası akiferlerin yağış – beslenme ilişkilerine bağımlı kalınarak litolojik süzülme miktarlarından hesaplanmıştır. Alt havzaya düşen yağışın toplam yıllık ortalama değeri 573 mm olarak hesaplanmış ve buna göre yıllık yağışların toplam su hacmi 1.631,59 hm³ olarak bulunmuştur. Bu yağışın toplamda 162.04 hm³'lük kısmının litolojik süzülmeyle yeraltı suyunu beslediği ve geriye kalan 572,18 hm³'lük kısmının ise yüzeysel akışa geçtiği hesaplanmıştır. 897,38 hm³'lük miktarın ise buharlaşma ve terleme yoluyla havzadan uzaklaştığı hesaplanmıştır.

Yüzeysel akışın 57,22 hm³'lük kısmı akış sırasında sızma yoluyla yeraltı suyuna tekrar katılmaktadır ve böylelikle havzada 219,26 hm³ yeraltı suyu potansiyeli oluşmaktadır. Yeraltı suyu yıllık emniyetli rezervi, net yeraltı suyunun %90'ı olarak kabul edilmiş ve 197,33 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Alt havza brüt yüzeysel su potansiyeli 514,96 hm³ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle alt havza yeraltı ve yerüstü suları brüt toplam hacmi 734,22 hm³ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan kabuller ile havza kullanılabilir su kaynakları yüzey suyu için 308,98 hm³, yeraltı suyu için ise 197,33 hm³ olarak belirlenmiş olup toplam alt havza kullanılabilir su potansiyeli ise 506,31 hm³ olarak hesaplanmıştır. Alt havzanın su bütçesi şematik olarak Şekil 5.59 üzerinde özetlenmiştir.



Şekil 5.59 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Su Bütçesi

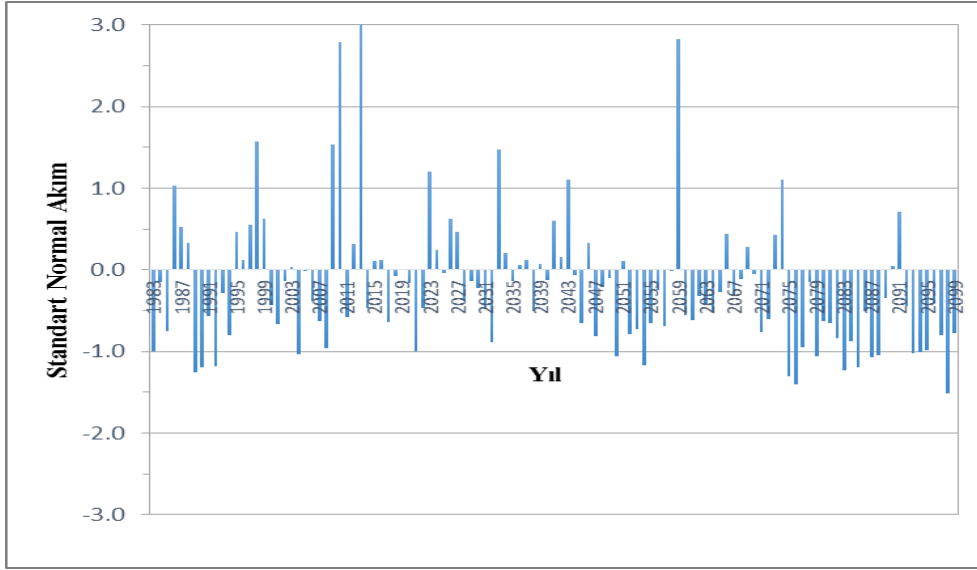
5.4. Hidrolojik Kuraklıkların Akımlar Üzerindeki Etkileri

Bu bölümde Marmara Havzası genelinde yaşanan ve gelecekte öngörülen önemli hidrolojik kuraklıkların akımlar üzerindeki etkisi alt havza bazında incelenmiştir. Bu amaçla, 1983-2020 yılları arasında gözlenen akım verileri ve HBV-Light hidrolojik modeli ile elde edilen 2021-2099 yıllarına ait akım projeksiyon verileri ayrı ayrı göz önüne alınmıştır.

Yapılan incelemede alt havzalarda gözlenen yıllık akımların normal olasılık dağılımına uyduğu tespit edilmiştir. Buna göre, gelecek yıllarda hidrolojik kuraklık dönemlerinde alt havzalarda yüzeysel su potansiyelindeki değişimi göreceli olarak belirlemek için yıllık akımların standart normal değerleri göz önüne alınmıştır (gözlenen akımların ortalama ve standart sapma değerleri referans alınmıştır). Burada, akım hacminin standart normal değerinin -1.0 ve daha küçük olduğu yıllarda hidrolojik kuraklık etkisinin nispeten fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlar alt havza bazında aşağıda ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

5.4.1. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)

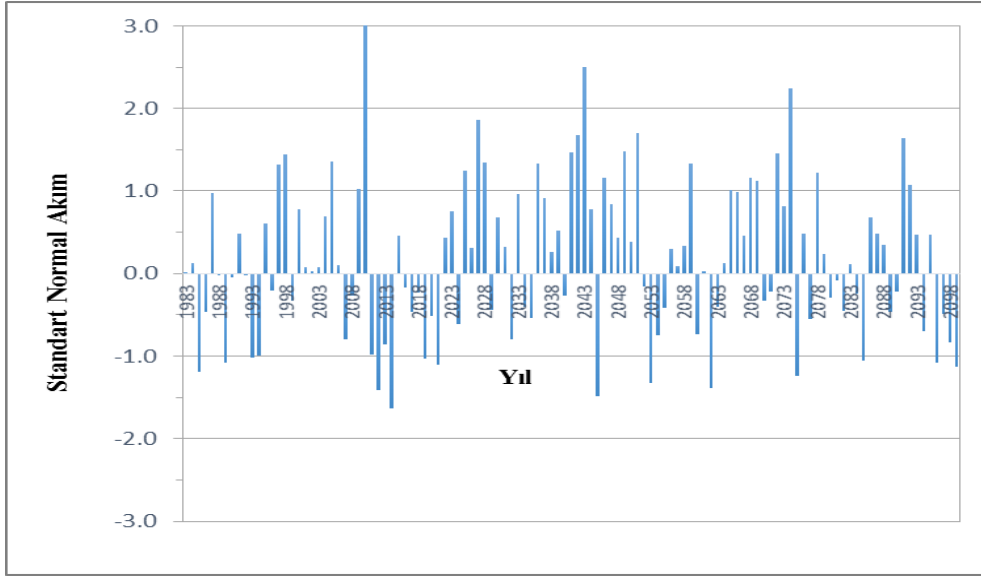
Biga Çayı Alt Havzası için elde edilen yıllık akımların standart normal değerlerine ait zaman serisi grafik ortamda Şekil 5.60 üzerinde gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi, 1983-2020 döneminde özellikle 1983, 1989-1990, 1992 ve 2004 yıllarında hidrolojik kuraklıklara bağlı olarak alt havzada gözlenen akımlarda önemli miktarda azalmalar meydana gelmiştir. Diğer taraftan, hidrolojik modelleme ile 2021-2099 dönemi için elde sonuçlara göre ise 2021, 2050, 2054, 2075-2076, 2079, 2085, 2088-2089, 2093-2094 ve 2098 yıllarında hidrolojik kuraklıklar neticesinde alt havzada akım potansiyelindeki azalmaların nispeten fazla olacağı anlaşılmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere, alt havzada özellikle 2050 yılı sonrası hidrolojik kuraklıkların sıklığında ve şiddetinde artış eğilimi olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 5.60 Biga Çayı Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi

5.4.2. Körfez Alt Havzası (2/8)

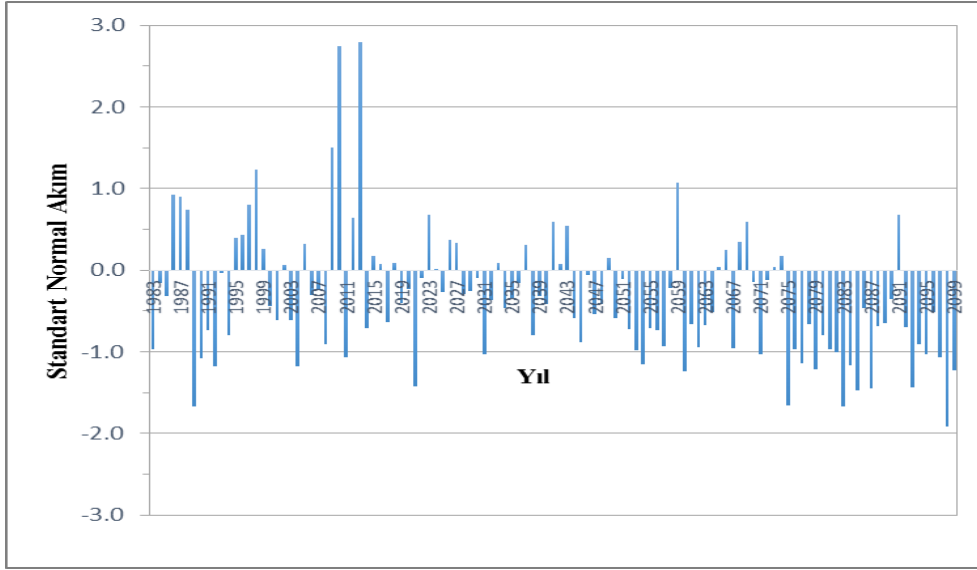
Körfez Alt Havzası için elde edilen yıllık akımların standart normal değerlerine ait zaman serisi grafik ortamda Şekil 5.61 üzerinde gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi, 1983-2020 döneminde özellikle 1985, 1989, 1993-1994, 2011-2012, 2014 ve 2019 yıllarında hidrolojik kuraklıklara bağlı olarak alt havzada gözlenen akımlarda önemli miktarda azalmalar meydana gelmiştir. Diğer taraftan, hidrolojik modelleme ile 2021-2099 dönemi için elde sonuçlara göre ise 2021, 2045, 2053, 2062, 2075, 2085, 2096 ve 2098 yıllarında hidrolojik kuraklıklar neticesinde alt havzada akım potansiyelindeki azalmaların nispeten fazla olacağı tahmin edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, alt havzada hidrolojik kuraklıkların sıklığında belirgin bir azalma olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 5.61 Körfez Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi

5.4.3. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)

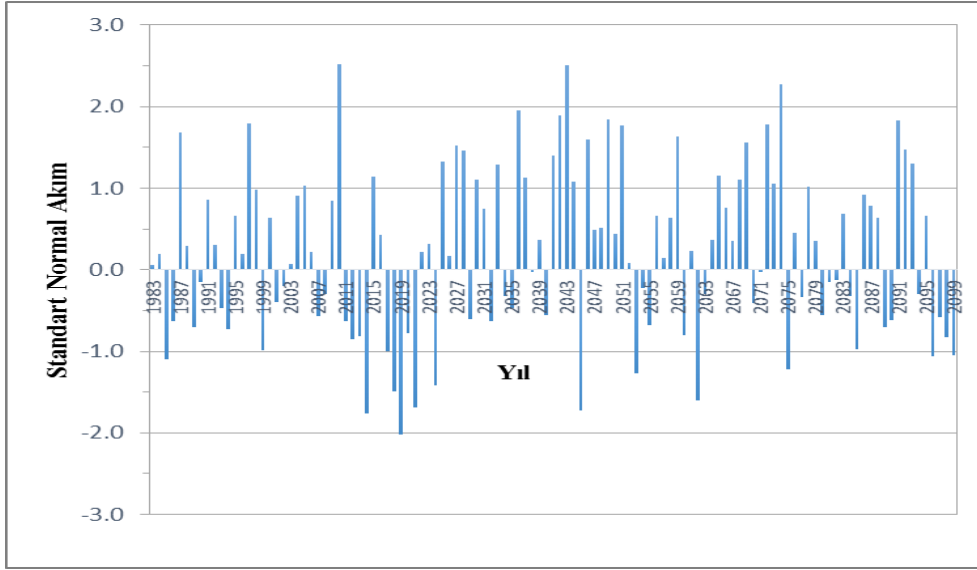
Gönen Çayı Alt Havzası için elde edilen yıllık akımların standart normal değerlerine ait zaman serisi grafik ortamda Şekil 5.62 üzerinde gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi, 1983-2020 döneminde özellikle 1989-1990, 1992, 2004 ve 2011 yıllarında hidrolojik kuraklıklara bağlı olarak alt havzada gözlenen akımlarda önemli miktarda azalmalar meydana gelmiştir. Diğer taraftan, hidrolojik modelleme ile 2021-2099 dönemi için elde sonuçlara göre ise 2021, 2031, 2054, 2060, 2071, 2075, 2077, 2079, 2082-2085, 2087, 2093, 2095, 2097-2099 yıllarında hidrolojik kuraklıklar neticesinde alt havzada akım potansiyelindeki azalmaların nispeten fazla olacağı tahmin edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, özellikle 2050 sonrası alt havzada tespit edilen önemli kuraklıkların sıklık ve şiddetinde belirgin bir artış dikkati çekmektedir.



Şekil 5.62 Gönen Çayı Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi

5.4.4. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)

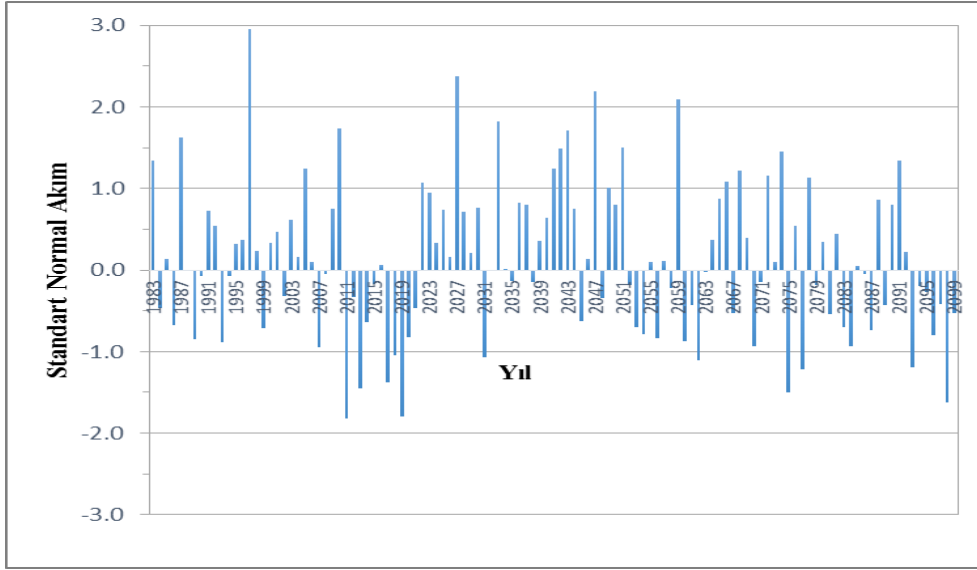
İznik Gölü Alt Havzası için elde edilen yıllık akımların standart normal değerlerine ait zaman serisi grafik ortamda Şekil 5.63 üzerinde gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi, 1983-2020 döneminde özellikle 1985, 2014, 2017-2019 yıllarında hidrolojik kuraklıklara bağlı olarak alt havzada gözlenen akımlarda önemli miktarda azalmalar meydana gelmiştir. Diğer taraftan, hidrolojik modelleme ile 2021-2099 dönemi için elde sonuçlara göre ise 2021, 2024, 2045, 2053, 2062, 2075, 2096 ve 2099 yıllarında hidrolojik kuraklıklar neticesinde alt havzada akım potansiyelindeki azalmaların nispeten fazla olacağı tahmin edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, alt havzada gelecekte kurak dönemlerin sıklığında belirgin bir azalma olduğu fark edilmektedir.



Şekil 5.63 İznik Gölü Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi

5.4.5. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)

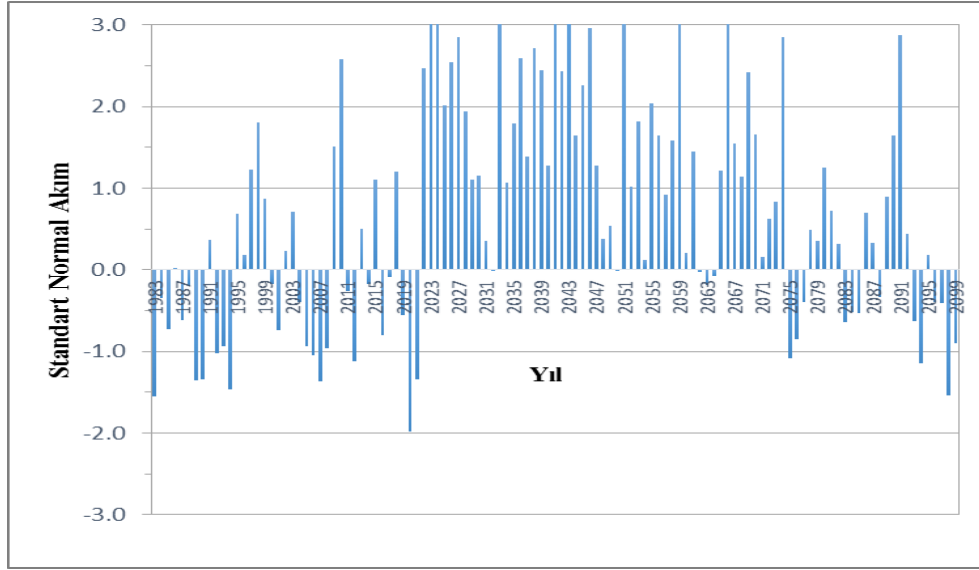
Ağva Deresi Alt Havzası için elde edilen yıllık akımların standart normal değerlerine ait zaman serisi grafik ortamda Şekil 5.64 üzerinde gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi, 1983-2020 döneminde özellikle 2011, 2013, 2017-2019 yıllarında hidrolojik kuraklıklara bağlı olarak alt havzada gözlenen akımlarda önemli miktarda azalmalar meydana gelmiştir. Diğer taraftan, hidrolojik modelleme ile 2021-2099 dönemi için elde sonuçlara göre ise 2031, 2062, 2075, 2077, 2093, ve 2098 yıllarında hidrolojik kuraklıklar neticesinde alt havzada akım potansiyelindeki azalmaların nispeten fazla olacağı tahmin edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, özellikle 2050 sonrası alt havzada kuraklıkların sıklığında belirgin bir artış göze çarpmaktadır.



Şekil 5.64 Ağa Deresi Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi

5.4.6. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)

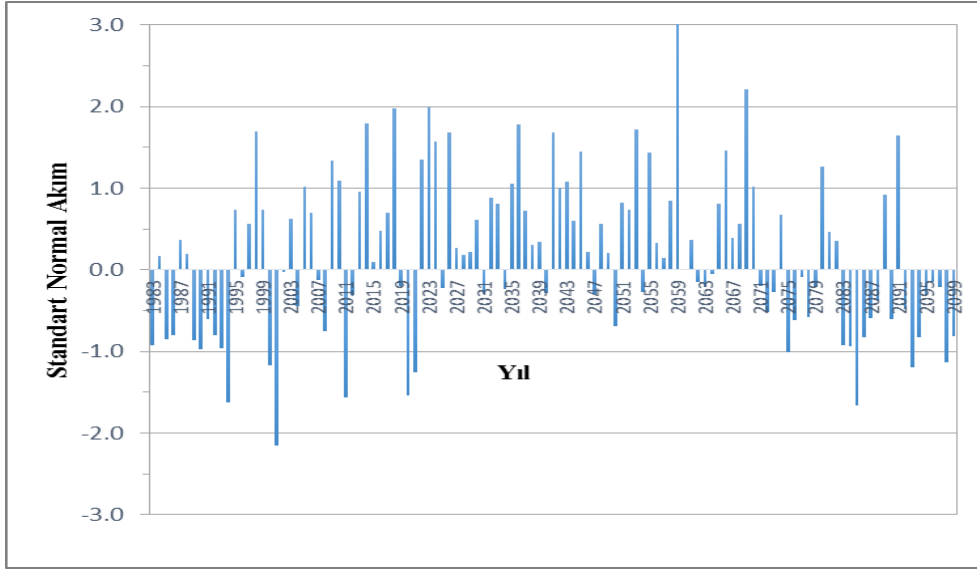
Batı İstanbul Alt Havzası için elde edilen yıllık akımların standart normal değerlerine ait zaman serisi grafik ortamda Şekil 5.65 üzerinde gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi, 1983-2020 döneminde özellikle 1983, 1989-1990, 1992, 1994, 2006-2007, 2012 ve 2020 yıllarında hidrolojik kuraklıklara bağlı olarak alt havzada gözlenen akımlarda önemli miktarda azalmalar meydana gelmiştir. Diğer taraftan, hidrolojik modelleme ile 2021-2099 dönemi için elde sonuçlara göre ise 2021, 2075, 2094 ve 2098 yıllarında hidrolojik kuraklıklar neticesinde alt havzada akım potansiyelindeki azalmaların nispeten fazla olacağı tahmin edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, 2075 yılına kadar alt havzada önemli bir kurak dönemin görülmeyeceği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.65 Batı İstanbul Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi

5.4.7. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8)

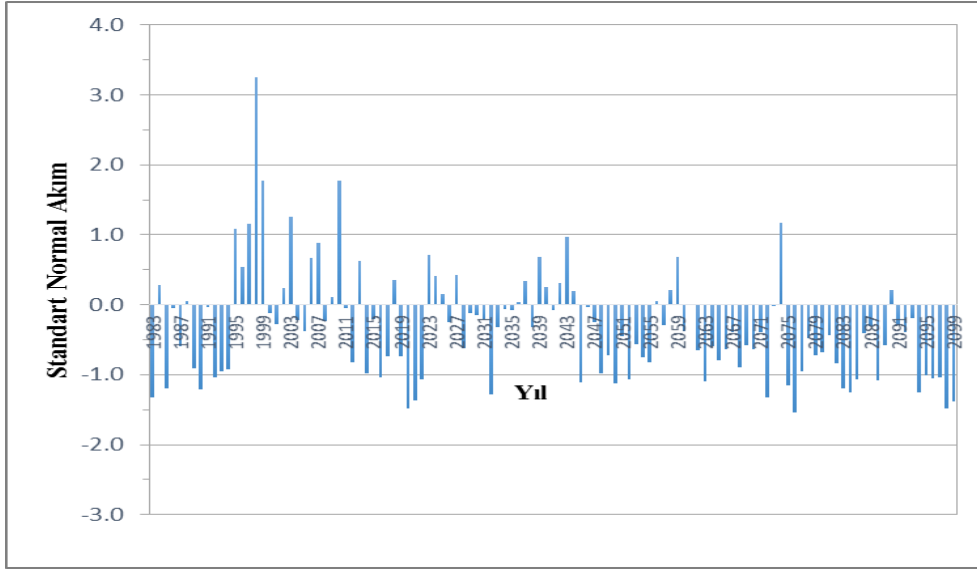
Kuzey Kırklareli Alt Havzası için elde edilen yıllık akımların standart normal değerlerine ait zaman serisi grafik ortamında Şekil 5.66 üzerinde gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi, 1983-2020 döneminde özellikle 1994, 2000-2001, 2011 ve 2020 yıllarında hidrolojik kuraklıklara bağlı olarak alt havzada gözlenen akımlarda önemli miktarda azalmalar meydana gelmiştir. Diğer taraftan, hidrolojik modelleme ile 2021-2099 dönemi için elde sonuçlara göre ise 2021, 2075, 2085, 2093 ve 2098 yıllarında hidrolojik kuraklıklar neticesinde alt havzada akım potansiyelindeki azalmaların nispeten fazla olacağı tahmin edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, 2075 yılına kadar alt havzada önemli bir kurak dönem olmadığı dikkati çekmektedir.



Şekil 5.66 Kuzey Kırklareli Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi

5.4.8. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8)

Kuzey Çanakkale Alt Havzası için elde edilen yıllık akımların standart normal değerlerine ait zaman serisi grafik ortamında Şekil 5.67 üzerinde gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi, 1983-2020 döneminde özellikle 1983, 1985, 1990, 1992, 2016, 2019-2020 yıllarında hidrolojik kuraklıklara bağlı olarak alt havzada gözlenen akımlarda önemli miktarda azalmalar meydana gelmiştir. Diğer taraftan, hidrolojik modelleme ile 2021-2099 dönemi için elde sonuçlara göre ise 2021-2022, 2032, 2050, 2052, 2072, 2075-2076, 2083-2085, 2088 ve 2094-2099 yıllarında hidrolojik kuraklıklar neticesinde alt havzada akım potansiyelindeki azalmaların nispeten fazla olacağı tahmin edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, 2040 sonrasında alt havzada kurak dönemlerin sıklığı ve şiddetinde belirgin bir artış hemen göze çarpmaktadır.



Şekil 5.67 Kuzey Çanakkale Alt Havzası'nda Yıllık Akımların Standart Normal Değerleri Zaman Serisi

Burada alt havza bazında elde edilen sonuçlara göre, alt havzalar için tespit edilen önemli kurak dönemlerin bu raporun Marmara Havzası geneli için “Kurak Dönemlerin Tespiti” başlıklı alt bölümünde SPI-12 ve scPDSI indisleri ile hesaplanan kuraklık etki değeri nispeten yüksek olan dönemlerle genel olarak benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Alt havzalar için elde edilen yıllık akımların standart normal değerleri zaman serileri incelendiğinde, havza içerisinde birbirine komşu alt havzalara ait zaman serilerinin genel olarak birbirine benzer özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, havza içerisindeki 8 adet alt havzanın aşağıdaki şekilde 3 ayrı grupta toplanması mümkün görünmektedir:

- Biga Çayı, Gönen Çayı ve Kuzey Çanakkale alt havzaları
- Körfez, İznik Gölü ve Ağva Deresi alt havzaları
- Batı İstanbul ve Kuzey Kırklareli alt havzaları

Burada, havzanın güneyinde yer alan ilk gruptaki alt havzalarda 2021 sonrası için tahmin edilen hidrolojik kuraklıkların sıklık ve şiddetinde belirgin düzeyde artışlar göze çarpmaktadır. Her 3 alt havzada özellikle 2075 sonrası için akımlarda önemli miktarda azalmalar olacağı hesap edilmiştir. Diğer taraftan, havzanın doğusunda yer alan ikinci gruptaki alt havzalarda gelecek dönem için tahmin edilen hidrolojik kuraklıkların sıklığında ve şiddetinde önemli derecede bir azalma olduğu görülmektedir. Buna göre, bu grupta yer alan alt havzalardaki akımlarda önemli düzeyde azalmaların meydana gelmeyeceği anlaşılmaktadır. Son olarak, havzanın batısında yer

alan üçüncü gruptaki alt havzalarda diğer gruptakilerin aksine 2075 yılına kadar önemli derecede hidrolojik kuraklıkların olmayacağı tahmin edilmiştir. Bundan sonraki dönem için belirlenen çok az sayıdaki kuraklık esnasında akımdaki azalmaların genel olarak fazla miktarda olmayacağı görülmektedir.

6. SU KULLANIMI

6.1. Anket Çalışması

Marmara Havzası sektörel su kullanımlarını ve ihtiyaçlarını hesaplayabilmek için havzada farklı sektörler için anket formları hazırlanıp kurumlara gönderilmiştir. Su kullanım hesaplamaları için bu anketler göz önüne bulundurulmuştur.

6.1.1. Tarımsal Su Kullanımı

Diğer havzalarda olduğu gibi Marmara Havzası'nda da suya talep hızla artmaktadır. Havzada bulunan tüm sulamalar ile ilgili bilgiler detaylı bir şekilde sunulmuştur.

6.1.1.1. Sulama Alanları

Marmara Havzası yaklaşık olarak 2.316.751,94 ha alana sahiptir. Havzada bulunan sulama alanları ve oranları alt havza bazında Tablo 6.1 üzerinde sunulmuştur. Burada İznik Gölü Alt Havzası'nın en büyük sulama alana sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 6.1 Marmara Havzası Alt Havzaları Sulama Alanları (DSİ, 2014; DSİ,2018)

Alt Havza	Alt Havza Alanı (ha)	Sulama Alanı (ha)	Sulama Alanı Oranı (%)
Biga Çayı	417.755,23	9.373,00	2,24
Körfez	124.143,13	6.284,00	5,06
Gönen Çayı	345.650,01	4.650,00	1,35
İznik Gölü	216.856,38	12.144,00	5,60
Ağva Deresi	297.100,93	4.027,00	1,36
Batı İstanbul	199.274,62	6.732,50	0,74
Kuzey Kırklareli	284.745,90		
Kuzey Çanakkale	431.225,74		
Toplam	2.316.752,94	43.210,50	1,87

Tablo 6.2 Biga Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Alt Havza	İl Adı	İlçe Adı	Alt Havza Etkili Tarım Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Sebze Alanı (da)	Alt Havza Etkili Sebze Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Tahıl Alanı (da)	Alt Havza Etkili Tahıl Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Diğer Bitki Alanı (da)	Alt Havza Etkili Diğer Bitkiler Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Nadas Alanı (da)	Alt Havza Etkili Nadas Ekiliş Oranı (%)
Biga Çayı	Çanakkale	Lapseki	222.645,06	65.021,76	29,20	10.326,66	4,64	11.5061,2	51,68	0,00	0,00	32.235,47	14,48
	Çanakkale	Biga	599.840,98	17.426,24	2,91	49.168,66	8,20	532.903,3	88,84	0,00	0,00	342,80	0,06
	Çanakkale	Yenice	50.018,49	2.601,26	5,20	9.983,34	19,96	37.234,39	74,44	0,00	0,00	199,50	0,40
	Çanakkale	Çanakkale Merkez	178.895,82	38.015,99	21,25	17.303,41	9,67	123.350,2	68,95	0,00	0,00	226,21	0,13
	Çanakkale	Bayramiç	22.473,90	8.064,18	35,88	1.418,69	6,31	12.937,17	57,57	0,00	0,00	53,85	0,24
	Çanakkale	Çan	22.4758,42	5.489,96	2,44	6.936,29	3,09	192.343,4	85,58	0,00	0,00	19.988,72	8,89
	Balıkesir	Gönen	14.848,78	628,73	4,23	696,24	4,69	13.520,11	91,05	3,71	0,02	0,00	0,00

Tablo 6.3 Biga Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Su İhtiyacı (mm)			Vejetasyon Dönemi Yağış Toplamı (mm)
Meyve	Sebze	Tahıl	
728	570	582	192

Tablo 6.4 Gönen Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Alt Havza	İl Adı	İlçe Adı	Alt Havza Etkili Tarım Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Sebze Alanı (da)	Alt Havza Etkili Sebze Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Tahıl Alanı (da)	Alt Havza Etkili Tahıl Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Diğer Bitki Alanı (da)	Alt Havza Etkili Diğer Bitkiler Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Nadas Alanı (da)	Alt Havza Etkili Nadas Ekiliş Oranı (%)
Gönen Çayı	Çanakkale	Biga	443,00	12,87	2,91	36,31	8,20	393,56	88,84	0,00	0,00	0,25	0,06
	Çanakkale	Yenice	214.067,63	11.132,79	5,20	42.726,40	19,96	15.9354,60	74,44	0,00	0,00	853,80	0,40
	Çanakkale	Çan	296,03	7,23	2,44	9,14	3,09	253,34	85,58	0,00	0,00	26,33	8,89
	Balıkesir	Edremit	10.131,17	9.564,20	94,40	133,43	1,32	432,54	4,27	0,99	0,01	0,00	0,00
	Balıkesir	Bandırma	31.555,09	2.303,90	7,30	1.759,79	5,58	2.7361,30	86,71	0,00	0,00	130,10	0,41
	Balıkesir	Havran	17.750,85	11.205,79	63,13	152,77	0,86	624,30	3,52	2,53	0,01	5.765,46	32,48
	Balıkesir	Balya	84,41	1,70	2,02	0,90	1,07	81,80	96,91	0,00	0,00	0,00	0,00
	Balıkesir	Gönen	338.253,82	14.322,30	4,23	15.860,24	4,69	307.986,8	91,05	84,51	0,02	0,00	0,00

Tablo 6.5 Gönen Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Su İhtiyacı (mm)			Vejetasyon Dönemi Yağış Toplamı (mm)
Meyve	Sebze	Tahıl	
588	552	496	171,3

Tablo 6.6 İznik Gölü Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Alt Havza	İl Adı	İlçe Adı	Alt Havza Etkili Tarım Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Sebze Alanı (da)	Alt Havza Etkili Sebze Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Tahıl Alanı (da)	Alt Havza Etkili Tahıl Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Diğer Bitki Alanı (da)	Alt Havza Etkili Diğer Bitkiler Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Nadas Alanı (da)	Alt Havza Etkili Nadas Ekiliş Oranı (%)
İznik Gölü	Kocaeli	Kocaeli	5.991,42	989,02	16,51	149,70	2,50	4.321,35	72,13	4,77	0,08	526,57	8,79
	Bursa	Gürsu	2.385,72	1.916,92	80,35	55,72	2,34	298,07	12,49	29,07	1,22	85,94	3,60
	Bursa	Orhangazi	104.562,94	82.234,00	78,65	9.700,78	9,28	7.378,11	7,06	143,37	0,14	5.106,69	4,88
	Bursa	Gemlik	6.753,94	6.540,46	96,84	23,41	0,35	56,95	0,84	1,34	0,02	131,78	1,95
	Bursa	İznik	144.338,83	125.970,64	87,27	12.441,78	8,62	4.218,85	2,92	3,02	0,00	1.704,54	1,18
	Bursa	Yenişehir	12.083,76	937,17	7,76	2.632,82	21,79	8.294,08	68,64	27,69	0,23	192,01	1,59
	Bursa	Kestel	1.504,01	701,61	46,65	44,319	2,95	572,31	38,05	0,40	0,03	185,37	12,33

Tablo 6.7 İznik Gölü Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Su İhtiyacı (mm)			Vejetasyon Dönemi Yağış Toplamı (mm)
Meyve	Sebze	Tahıl	
624	451	556	287,1

Tablo 6.8 Körfez Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Alt Havza	İl Adı	İlçe Adı	Alt Havza Etkili Tarım Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Sebze Alanı (da)	Alt Havza Etkili Sebze Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Tahıl Alanı (da)	Alt Havza Etkili Tahıl Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Diğer Bitki Alanı (da)	Alt Havza Etkili Diğer Bitkiler Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Nadas Alanı (da)	Alt Havza Etkili Nadas Ekiliş Oranı (%)
Körfez	İstanbul	İstanbul	23.749,95	582,61	2,45	1.156,92	4,87	21.958,18	92,46	5,59	0,02	46,66	0,20
	Kocaeli	Kocaeli	357.532,61	59.019,09	16,51	8.933,38	2,50	257.872,80	72,13	284,54	0,08	31.422,78	8,79
	Yalova	Yalova	117.438,80	52.154,00	44,41	5.920,00	5,04	45.705,00	38,92	3.678,80	3,13	9.981,00	8,50
	Bursa	Osmangazi	2187,71	1.720,53	78,65	202,96	9,28	154,37	7,06	3,00	0,14	106,84	4,88
	Bursa	Mudanya	44.422,01	3.0681,44	69,07	992,27	2,23	11.347,16	25,54	22,16	0,05	1.378,97	3,10
	Bursa	Gürsu	3.836,90	3082,95	80,35	89,61	2,34	479,381	12,49	46,75	1,22	138,21	3,60
	Bursa	Orhangazi	26.245,17	2.0640,64	78,65	2.434,89	9,28	1.851,89	7,06	35,98	0,14	1.281,77	4,88
	Bursa	Gemlik	81.083,44	78.520,54	96,84	281,03	0,35	683,68	0,84	16,12	0,02	1.582,06	1,95
	Bursa	İznik	5866,45	5119,90	87,27	505,68	8,62	171,47	2,92	0,12	0,00	69,28	1,18

Tablo 6.9 Körfez Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Su İhtiyacı (mm)			Vejetasyon Dönemi Yağış Toplamı (mm)
Meyve	Sebze	Tahıl	
505	355	478	318,8

Tablo 6.10 Ağva Deresi Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Alt Havza	İl Adı	İlçe Adı	Alt Havza Etkili Tarım Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Sebze Alanı (da)	Alt Havza Etkili Sebze Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Tahıl Alanı (da)	Alt Havza Etkili Tahıl Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Diğer Bitki Alanı (da)	Alt Havza Etkili Diğer Bitkiler Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Nadas Alanı (da)	Alt Havza Etkili Nadas Ekiliş Oranı (%)
Ağva Deresi	İstanbul	İstanbul	74.606,93	1.830,17	2,45	3.634,30	4,87	68.978,34	92,46	17,55	0,02	146,57	0,20
	Kocaeli	Kocaeli	358.213,95	59.131,56	16,51	8.950,40	2,50	258.364,20	72,13	285,08	0,08	31.482,66	8,79

Tablo 6.11 Ağva Deresi Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Su İhtiyacı (mm)			Vejetasyon Dönemi Yağış Toplamı (mm)
Meyve	Sebze	Tahıl	
528	403	498	386,1

Tablo 6.12 Batı İstanbul Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Alt Havza	İl Adı	İlçe Adı	Alt Havza Etkili Tarım Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Sebze Alanı (da)	Alt Havza Etkili Sebze Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Tahıl Alanı (da)	Alt Havza Etkili Tahıl Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Diğer Bitki Alanı (da)	Alt Havza Etkili Diğer Bitkiler Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Nadas Alanı (da)	Alt Havza Etkili Nadas Ekiliş Oranı (%)
Batı İstanbul	İstanbul	İstanbul	18.1847,42	4.460,86	2,45	8.858,27	4,87	16.8128,30	92,46	42,77	0,02	357,25	0,20
	Tekirdağ	Saray	32.891,83	137,55	0,42	78,68	0,24	32.675,60	99,34	0,00	0,00	0,00	0,00
	Tekirdağ	Marmara Ereğlisi	156.193,88	1.505,69	0,96	1.113,29	0,71	153.574,90	98,32	0,00	0,00	0,00	0,00
	Tekirdağ	Çorlu	133.878,44	1.913,10	1,43	427,35	0,32	131.533,70	98,25	4,25	0,00	0,00	0,00
	Tekirdağ	Muratlı	13.942,31	58,30	0,42	33,35	0,24	13.850,65	99,34	0,00	0,00	0,00	0,00
	Kırklareli	Vize	484,91	7,22	1,49	10,25	2,11	466,27	96,16	0,00	0,00	0,00	1,17

Tablo 6.13 Batı İstanbul Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Su İhtiyacı (mm)			Vejetasyon Dönemi Yağış Toplamı (mm)
Meyve	Sebze	Tahıl	
504	428	523	289,8

Tablo 6.14 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Alt Havza	İl Adı	İlçe Adı	Alt Havza Etkili Tarım Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Sebze Alanı (da)	Alt Havza Etkili Sebze Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Tahıl Alanı (da)	Alt Havza Etkili Tahıl Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Diğer Bitki Alanı (da)	Alt Havza Etkili Diğer Bitkiler Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Nadas Alanı (da)	Alt Havza Etkili Nadas Ekiliş Oranı (%)
Kuzey Kırklareli	Tekirdağ	Saray	18.908,10	79,07	0,42	45,23	0,24	18.783,80	99,34	0,00	0,00	0,00	0,00
	Kırklareli	Vize	114.005,14	1.696,51	1,49	2.409,90	2,11	10.9623,50	96,16	0,00	0,00	275,23	0,24
	Kırklareli	Demirköy	6.890,57	1.645,79	23,88	96,81	1,40	4.628,97	67,18	0,00	0,00	518,99	7,53
	Kırklareli	Pınarhisar	9492,38	183,56	1,93	66,37	0,70	9.242,45	97,37	0,00	0,00	7,99	0,08
	Kırklareli	Kırklareli Merkez	94.441,54	1.581,27	1,67	768,53	0,81	91.943,87	97,36	0,00	0,00	147,86	0,16
	Kırklareli	Koçaz	34.154,18	707,06	2,07	20,93	0,06	33.391,94	97,77	0,00	0,00	34,25	0,10

Tablo 6.15 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Su İhtiyacı (mm)			Vejetasyon Dönemi Yağış Toplamı (mm)
Meyve	Sebze	Tahıl	
530	504	547	267,2

Tablo 6.16 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Tarım Alanları Dağılımı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Alt Havza	İl Adı	İlçe Adı	Alt Havza Etkili Tarım Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Alanı (da)	Alt Havza Etkili Meyve Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Sebze Alanı (da)	Alt Havza Etkili Sebze Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Tahıl Alanı (da)	Alt Havza Etkili Tahıl Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Diğer Bitki Alanı (da)	Alt Havza Etkili Diğer Bitkiler Ekiliş Oranı (%)	Alt Havza Etkili Nadas Alanı (da)	Alt Havza Etkili Nadas Ekiliş Oranı (%)
Kuzey Çanakkale	Çanakkale	Eceabat	133.825,98	20.801,30	15,54	3.952,47	2,95	92.158,8	68,86	0,00	0,00	16.913,42	12,64
	Çanakkale	Gelibolu	386.118,38	16.065,04	4,16	13.156,02	3,41	354.320,2	91,76	0,00	0,00	2.577,12	0,67
	Tekirdağ	Şarköy	333.403,35	955,96	0,29	828,83	0,25	331.618,6	99,46	0,00	0,00	0,00	0,00
	Tekirdağ	Malkara	211.926,34	1.595,48	0,75	1.174,70	0,55	209.156,2	98,69	0,00	0,00	0,00	0,00
	Edirne	Keşan	127.425,71	1.591,43	1,25	4778,74	3,75	121.055,5	95,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Edirne	Enez	368.433,30	4.601,40	1,25	13.817,05	3,75	350.014,8	95,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo 6.17 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı (DSİ, TAGEM 2017 ve TÜİK 2021)

Su İhtiyacı (mm)			Vejetasyon Dönemi Yağış Toplamı (mm)
Meyve	Sebze	Tahıl	
643	450	514	192

Alt havzalarda sulama suyu ihtiyacı, bitkilerin vejetasyon dönemlerindeki su ihtiyaçları, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün ortak çalışması olan TÜRKİYE'DE SULANAN BİTKİLERİN BİTKİ SU TÜKETİMLERİ 2017 yayından oluşturulmuştur.

Tablo 6.18 Gönen Ovası Sulama Birliği Son Beş Yıllık Sulama Performansı (Gönen Sulama Birliği, 2021)

Gönen Ovası Sulama Birliği Başkanlığı	Sulamaya Açılan Alan (ha)	Sulanan Alan (ha)	Sulama Oranı (%)	Şebekeye Alınan Su (hm ³)	Hektar Başına Kullanılan Su (m ³ /ha)	Uygulama Raporuna Göre Brüt Su İhtiyacı	Uygulama Raporuna Göre Net Su İhtiyacı	Sulama Randımanı (%)	İhtiyacın Karşılama Oranı (%)	Genel Sulama Planlamasına Göre Brüt Su İhtiyacı	Genel Sulama Planlamasına Göre Net Su İhtiyacı	
Cazibe Sulama Tesisi**	2017	11.163	9.239	82,76	115,6	12.510,00	137,95	71,19	61,58	0,84	130,04	67,10
	2018	11.163	9.405	84,25	128,0	1.361,00	142,18	73,37	57,32	0,90	130,59	67,38
	2019	11.163	9.661	86,54	124,9	1.293,00	136,22	70,28	56,27	0,92	131,75	67,98
	2020	11.163	9.837	88,12	133,5	1.357,00	128,35	69,31	51,91	1,04	129,2	69,77
	2021	11.163	9.977	89,38	140,5	1.408,00	126,85	68,56	50,42	0,98	127,1	68,64
Pompaj Sulama Tesisleri**	2017	7.777	3.240	41,66	19,3	595,67	11,66	9,15	108,47	0,86	16,98	13,32
	2018	7.776	3.676	47,27	21,8	593,00	13,77	10,79	100,50	0,81	16,69	13,09
	2019	7.776	4.208	54,11	25,4	604,00	18,44	14,46	123,95	0,78	18,39	13,98
	2020	7.776	4.272	54,93	23,6	552,00	21,38	14,51	61,48	0,91	22,69	14,16
	2021	7.776	4.313	55,47	25,6	593,55	21,86	14,78	65,59	0,93	24,22	14,69

Tablo 6.19 Biga Çayı Alt Havzası Sulamalarında İşletme Durumu (DSİ, 2021)

Sulama Adı	Sulamaya Açılan Alan (ha)	1. Ürün Ekim Alanı (da)	2. Ürün Ekim Alanı (da)	Şebeke Dışı Alan (da)	Şebekeye Alınan Su (m ³)	Net Su İhtiyacı (m ³ /ha)	Brüt Su İhtiyacı (m ³ /ha)	Hektara Düşen Su (m ³ /ha)	Sulama Oranı (%)	Sulama Randımanı (%)	İhtiyacın Karşılama Oranı	Şebeke Tipi
Altıkulaç	492	3.556	0	303	1.855.000	4.717	5.842	4.807	78	98	0,82	Borulu
Arıklar	1.649	6.186	0	0	3.093.000	3.918	4.852	5.000	38	78	1,03	Borulu
Biga	8.460	49.480	0	2.873	55.751.328	5.448	6.746	10.649	62	51	1,58	Borulu
Boyalıca (P)	4.035	24.051	0	1.404	16.337.700	4.976	9.756	6.418	63	78	0,66	Kanaletli
Gölyaka (P)	4.293	20.500	0	0	4.688.159	4.822	5.972	2.287	48	211	0,38	Borulu
İznic (P)	1.886	7.775	0	213	4.902.300	4.967	6.152	6.137	42	81	1	Kanaletli
Kaynarca	1.930	13.903	0	432	8.050.000	5.407	6.696	5.616	74	96	0,84	Borulu
Keramet	2.518	15.046	0	0	7.693.272	5.012	9.828	5.113	60	98	0,52	Kanaletli
Kızderbent	648	1.220	0	6	735.261	4.646	5.754	5.997	19	77	1,04	Borulu
Koyunyeri	398	1.429	0	0	680.300	4.634	8.581	4.761	36	97	0,55	Klasik
Kozçesme	695	2.248	0	399	2.247.533	4.454	8.248	8.491	38	52	1,03	Kanaletli
Ortaburun	426	1.079	0	0	647.400	5.109	6.326	6.000	25	85	0,95	Borulu
Taşoluk	974	9.740	0	50.527	49.873.056	7.738	9.583	8.275	619	94	0,86	Borulu
Türkmenli	345	1.621	0	0	996.000	1.918	3.552	6.144	47	31	1,73	Klasik
Yazır	360	1.686	0	0	752.000	4.324	5.355	4.460	47	97	0,83	Borulu
Çanakale (C+P)	2.885	4.757	0	93	4.719.123	5.209	9.646	9.730	17	54	1,01	Kanaletli
Değerlendirilen	52.569	312.738	0	58.517	266.116.476	6.146	8.096	7.168	71	86	0,89	
Değerlendirilmeyenler	2.360	19.720	282	0	56.924.824	0	0	0	0	0	0	Klasik
Toplam	54.929	332.458	282	58.517					71			

6.1.1.2. Yeraltı ve Yerüstü Su Kaynakları

Marmara havzasında sulama için ağırlıklı olarak yerüstü su kaynakları kullanılmaktadır. Yerüstü kaynakları ile toplamda 43.210,50 ha alan sulanmaktadır. Yeraltı su kaynakları ile 1.231,5 ha alan sulanmaktadır (DSİ, 2014; DSİ, 2018). Marmara Havzası'nda yer alan YÜS sulama alanları ve mevcut su ihtiyaçları Tablo 6.20 üzerinde sunulmuştur. Tablo 6.21 havzada yer alan YAS sulama alanları ve mevcut su ihtiyaçlarını göstermektedir. Yerüstü kaynaklarından tarımsal su tüketimi toplamda 336,25 hm³ iken yeraltı kaynakları için 31,41 hm³ olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.20 Alt Havzalara Göre Toplam Tarımsal Su Kullanımları (YÜS) (DSİ, 2014; DSİ, 2018)

Alt Havza	Mevcut Sulama Alanı (ha)	Mevcut Su İhtiyacı (hm ³ /yıl)
Biga Çayı Alt Havzası	9.373,00	115,98
Körfez Alt Havzası	6.284,00	28,56
Gönen Çayı Alt Havzası	4.650,00	20,69
İznik Gölü Alt Havzası	12.144,00	66,53
Ağva Deresi Alt Havzası	4.027,00	30,19
Batı İstanbul Alt Havzası	Kuzey Marmara MP	74,30
Kuzey Kırklareli Alt Havzası		
Kuzey Çanakkale Alt Havzası		
Toplam	43.210,50	336,25

Tablo 6.21 Alt Havzalara Göre Toplam Tarımsal Su Kullanımları (YAS) (DSİ, 2014; DSİ, 2018)

Alt Havza	Mevcut Sulama Alanı (ha)	Mevcut Su İhtiyacı (hm ³ /yıl)
Biga Çayı Alt Havzası	-	-
Körfez Alt Havzası	360,00	1,66
Gönen Çayı Alt Havzası	-	-
İznik Gölü Alt Havzası	-	-
Ağva Deresi Alt Havzası	-	-
Batı İstanbul Alt Havzası	-	-
Kuzey Kırklareli Alt Havzası	-	-
Kuzey Çanakkale Alt Havzası	871,50	29,75
Toplam	1.231,5	31,41

6.1.2. Hayvancılık Su Tüketimi

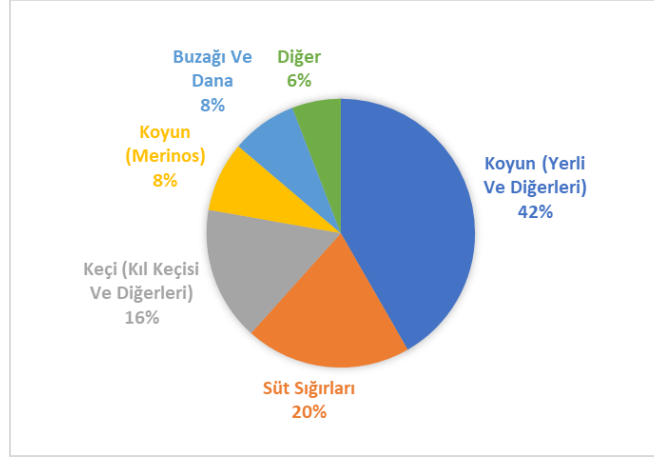
Marmara Havzası'nın hayvancılık sektöründeki durumunun anlaşılması ve su tüketiminin hesaplanması için TÜİK 2020 yılı verileri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken havzada yer alan ilçelerdeki toplam hayvan sayıları, alt havzalara girme yüzdeleri oranında toplama dahil edilmiştir ve havza içindeki hayvan sayıları belirlenmiştir. İller Bankası tarafından hazırlanan "İçme Suyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname" de verilen büyükbaş ve küçükbaş hayvanların ortalama su değerleri Tablo 6.22'te verilmiştir.

Tablo 6.22 Günlük Hayvansal Su Tüketimi

Hayvan Türü	Tüketim (lt/gün)
Büyükbaş	50
Küçükbaş	15

İlçe bazlı detaylı hayvan sayıları ve su ihtiyacı EK 6.2 ile sunulmuştur. Buna göre havzada en fazla bulunan hayvan koyundur. Bunu süt sığırları ve keçiler izlemektedir. Ardından ise dana ve sığır gibi büyükbaş hayvanlar bulunmaktadır. Hayvan sayılarının havza içindeki oranları incelendiğinde (Şekil 6.1) havzadaki hayvanların %42'sini koyun (yerli ve diğerleri) türünün

oluşturduğu görülmektedir. Bunu %20 ile süt sığırları ve %16 ile keçiler takip etmektedir. Diğer taraftan, %8 merinos koyunu ve %8 buzağı ve dana, %6 da diğer hayvanların oranıdır.



Şekil 6.1 Marmara Havzası'nda Küçükbaş ve Büyükbaş Hayvan Sayılarının Oransal Dağılımı (TÜİK, 2020)

TÜİK'ten elde edilen ilçelerdeki toplam hayvan sayıları ilçelerin alt havzalarda kalan alanlarının oranlarıyla çarpılarak alt havzalara dağıtılmıştır. Tablo 6.23 alt havza bazında toplam büyükbaş hayvan sayısı ve su tüketim miktarlarını göstermektedir. Küçükbaş hayvan sayısı su tükettim miktarlarını ise Tablo 6.24 üzerinde sunulmuştur.

Tablo 6.23 Alt Havza Bazında Büyükbaş Hayvan Sayısı ve Su Tüketim Miktarları (TÜİK, 2020)

Alt Havza	Alt Havza Alanı (ha)	Büyük Baş Hayvan Sayısı	Su Tüketimi (hm ³ /yıl)
Biga Çayı Alt Havzası	417.755,23	126.353	2,31
Gönen Çayı Alt Havzası	216.856,38	76.673	1,40
Körfez Alt Havzası	345.650,01	87.480	1,60
İznik Gölü Alt Havzası	124.143,13	16.928	0,31
Ağva Deresi Alt Havzası	297.100,93	86.709	1,58
Batı İstanbul Alt Havzası	431.225,74	78.422	1,43
Kuzey Kırklareli Alt Havzası	199.274,62	26.475	0,48
Kuzey Çanakkale Alt Havzası	284.745,90	48.465	0,88
Toplam	2.316.751,94	547.508	9,99

Tablo 6.24 Alt Havza Bazında Küçükbaş Hayvan Sayısı ve Su Tüketim Miktarları (TÜİK, 2020)

Alt Havza	Alt Havza Alanı (ha)	Küçük Baş Hayvan Sayısı	Su Tüketimi (hm ³ /yıl)
Biga Çayı Alt Havzası	417.755,23	274.356	1,50
Körfez Alt Havzası	345.650,01	118.920	0,65
Gönen Çayı Alt Havzası	216.856,38	161.472	0,88
İznik Gölü Alt Havzası	124.143,13	45.369	0,25
Ağva Deresi Alt Havzası	297.100,93	97.878	0,54
Batı İstanbul Alt Havzası	431.225,74	125.385	0,69
Kuzey Kırklareli Alt Havzası	199.274,62	78.960,93	0,43
Kuzey Çanakkale Alt Havzası	284.745,90	182.175	1,00
Toplam	2.316.751,94	1.084.519	5,94

6.1.3. İçme ve Kullanma Suyu Tüketimi

Marmara Havzası için mevcut durum içme ve kullanma suyu kullanımları hesaplanırken köy/mahalle bazlı nüfus verileri kullanılmıştır. Tablo 6.25 alt havza bazında nüfus sayıları ve içme-kullanma suyu miktarlarını göstermektedir. Hesaplanan verilere göre en fazla su Batı İstanbul Alt Havzası'nda tüketilirken (758,16 hm³) en az su (3,40 hm³) Kuzey Kırklareli Alt Havzası'nda tüketilmektedir. Alt havzalar ile ilgili detaylı nüfus değerleri köy/mahalle bazında EK 6.3 üzerinde sunulmuştur.

Tablo 6.25 Alt Havza Bazında İçme Kullanma Suyu Tüketim Miktarları (TÜİK, 2021)

Alt Havza	Alt Havza Nüfusu	Su Tüketimi (hm ³ /yıl)
Biga Çayı Alt Havzası	319.567	23,33
Körfez Alt Havzası	5.062.401	369,56
Gönen Çayı Alt Havzası	110.208	8,05
İznik Gölü Alt Havzası	154.657	11,29
Ağva Deresi Alt Havzası	2.810.223	205,15
Batı İstanbul Alt Havzası	10.385.708	758,16
Kuzey Kırklareli Alt Havzası	46.629	3,40
Kuzey Çanakkale Alt Havzası	158.966	11,60
Toplam	19.048.359	1.390,53

6.1.4. Sanayi Su Kullanımı

Marmara Havzası'nda çok sayıda Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) ve Küçük Sanayi Siteleri (KSS) bulunmaktadır. Mevcut durum sanayi su tüketim miktarları bölgede yer alan bütün OSB'ler için değerlendirilip hesaplanmıştır. Yıllık 12.000 m³ 'den daha az tüketimi olan tesisler ihmal edilmiştir. İkitelli OSB bölgede en yüksek su tüketen OSB olarak belirlenmiştir. Biga Çayı Alt Havzası'nda 2 adet, Gönen Çayı Alt Havzası'nda 1 adet, Körfez Alt Havzası'nda 18 adet, Batı İstanbul Alt Havzası'nda 2 adet ve Kuzey Kırklareli Alt Havzası'nda ise 1 adet OSB yer almaktadır. Tablo 6.26 Marmara Havzası'nda yer alan OSB'lerin listesini ve su tüketim miktarlarını göstermektedir.

Tablo 6.26 Alt Havza Bazında Sanayi Suyu Tüketim Miktarları (DSİ, 2014;DSİ,2018)

Alt Havza	OSB Adı	OSB Alanı (ha)	Tüketim Miktarı (hm ³ /yıl)	Alt Havza Bazında Tüketim Miktarı (hm ³ /yıl)
Biga Çayı Alt Havzası	Biga OSB	96,23	1,58	3,15
	Çanakkale OSB	108,03	1,58	
Körfez Alt Havzası	Dudullu OSB	283,00	2,37	60,13
	BOSB Birlik OSB	52,00	0,90	
	İstanbul Anadolu Yakası OSB	71,60	1,14	
	Kimya Sanayicileri OSB	74,00	0,34	
	İstanbul Deri OSB	741,60	0,15	
	Taşıt Araçları Yan Sanayi İhtisas OSB		2,44	
	Yalova Kompozit ve Kimya İhtisas Islah OSB	117,96	1,78	
	Gebze Güzeller OSB	129,30	1,89	
	Gebze Plastikçiler OSB	133,00	1,89	
	Gebze OSB	515,91	8,47	
	Dilovası OSB	847,96	12,96	
	GEBKİM OSB	245,76	3,86	
	Kocaeli-Gebze VI. (IMES) Makine İhtisas OSB	301,87	3,57	
	Makine İhtisas OSB	509,60	8,04	
	Arslanbey OSB	141,89	2,22	
	Asım Kibar OSB	201,98	3,15	
	Kocaeli Alikahya OSB	120,00	1,89	
	Kocaeli Alikahya OSB		3,07	
Gönen Çayı Alt Havzası	Gönen Deri İhtisas ve Karma OSB	153,70	3,47	3,47
Batı İstanbul Alt Havzası	Beylikdüzü OSB	160,00	2,52	13,56
	İkitelli OSB	700,00	11,04	
Kuzey Kırklareli Alt Havzası	Kırklareli/Vize OSB	65,00	0,90	0,90
	Toplam			81,21

6.1.5. Turizm Su Kullanımı

Marmara Havzası turizm su ihtiyaç tahminleri İller Bankası tarafından hazırlanan “İçme Suyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname” de yer alan maddeler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Havzada bulunan tüm tesislerin toplam yatak sayıları ve güncel doluluk oranları dikkate alınarak şartnamede belirtilen günlük yatak başı su ihtiyacı ile çarpılmış ve yıllık turizm su ihtiyacı hesaplanmıştır. Şartnamede belirtilen günlük yatak başı su ihtiyacı, turizm bölgesinin gelişmişliklerine göre 250-600 lt/gün arasında değişiklik göstermektedir.

Turizm bölgesi gelişmişliği değerlendirilirken, şehirlerdeki otellerin doluluk oranları ve yatak kapasiteleri göz önünde bulundurularak ortalama günlük su tüketim miktarı 400 lt/gün olarak kabul edilmiştir. Tablo 6.27 havzada bulunan konaklama tesislerinin güncel sayıları, doluluk oranları ve yıllık su ihtiyacını göstermektedir.

Tablo 6.27 Marmara Havzası Turizm Su Tüketimleri (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2021)

İl Adı	Toplam Tesis Sayısı	Toplam Oda Sayısı	Toplam Yatak Sayısı	Doluluk Oranı (%)	İl Alanının Havzaya Giren Kısmı (%)	Yıllık Su İhtiyacı (hm ³)
						(400 lt/gün*365)
İstanbul	2.420	124.995	245.713	41,90	97,70	14,684
Tekirdağ	93	3.537	7.143	38,58	30,80	0,124
Kırklareli	39	1.514	3.151	34,12	8,00	0,013
Balıkesir	649	19.207	44.809	32,55	8,00	0,170
Çanakkale	461	11.104	25.114	28,42	65,10	0,678
Bursa	327	15.268	32.299	37,78	16,60	0,296
Kocaeli	197	7.629	16.070	35,90	90,60	0,763
Yalova	122	4.680	10.575	30,31	100,00	0,468
Toplam						17,196

6.1.6. Ekosistem Su Kullanımı

Doğal hayatın devamı için gerekli ekosistem su miktarını belirlemek için mevcut projelerde ÇED Raporu, Proje Tanıtım Dosyası veya Ekosistem Değerlendirme Raporunda belirlenen

miktar kadardır. Yeni projelerde ise son on yılın ortalama akımının %10'u veya Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tarafından belirlenmiş olan "En Düşük Akım Yöntemi" ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada ise ekosistem su miktarı, havzada bulunan doğal akımın %10'u olarak değerlendirilip hesaplanmıştır.

Biga Çayı Alt Havzası'nda son on yılın ortalama doğal akımları 1.040,32 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ekosistem su ihtiyacı ise bu değer %10'luk kısmı olan 104,03 hm³/yıl olarak belirlenmiştir.

Gönen Çayı Alt Havzası'nda son on yılın ortalama doğal akımları 1.066,80 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ekosistem su ihtiyacı ise bu değer %10'luk kısmı olan 106,68 hm³/yıl olarak belirlenmiştir.

İzmit Gölü Alt Havzası'nda son on yılın ortalama doğal akımları 382,72 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ekosistem su ihtiyacı ise bu değer %10'luk kısmı olan 38,27 hm³/yıl olarak belirlenmiştir.

Körfez Alt Havzası'nda son on yılın ortalama doğal akımları 1.003,59 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ekosistem su ihtiyacı ise bu değer %10'luk kısmı olan 100,36 hm³/yıl olarak belirlenmiştir.

Ağva Deresi Alt Havzası'nda son on yılın ortalama doğal akımları 1.447,11 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ekosistem su ihtiyacı ise bu değer %10'luk kısmı olan 144,71 hm³/yıl olarak belirlenmiştir.

Batı İstanbul Alt Havzası'nda son on yılın ortalama doğal akımları 953,90 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ekosistem su ihtiyacı ise bu değer %10'luk kısmı olan 95,39 hm³/yıl olarak belirlenmiştir.

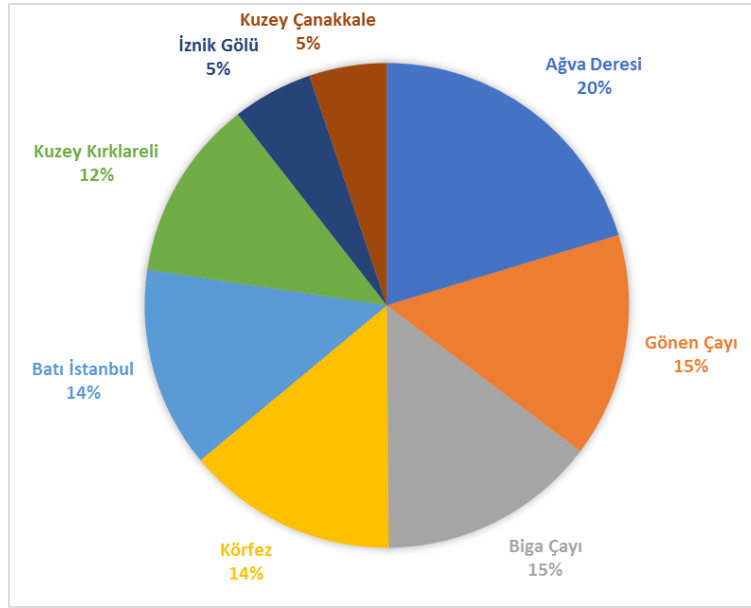
Kuzey Kırklareli Alt Havzası'nda son on yılın ortalama doğal akımları 861,63 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ekosistem su ihtiyacı ise bu değer %10'luk kısmı olan 86,16 hm³/yıl olarak belirlenmiştir.

Kuzey Çanakkale Alt Havzası'nda son on yılın ortalama doğal akımları 368,89 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ekosistem su ihtiyacı ise bu değer %10'luk kısmı olan 36,89 hm³/yıl olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.28 alt havza bazında ekosistem su miktarlarını Şekil 6.2 ise ekosistem su miktarlarının dağılımını göstermektedir.

Tablo 6.28 Alt Havzalar Bazında Ekosistem Su Miktarları

Alt Havza	Son 10 Yıllık Ort. Doğal Akım ($\text{hm}^3/\text{yıl}$)	Ekosistem Su İhtiyacı ($\text{hm}^3/\text{yıl}$)
Biga Çayı Alt Havzası	1.040,32	104,03
Körfez Alt Havzası	1.003,59	100,36
Gönen Çayı Alt Havzası	1.066,80	106,68
İznik Gölü Alt Havzası	382,72	38,27
Ağva Deresi Alt Havzası	1.447,11	144,71
Batı İstanbul Alt Havzası	953,90	95,39
Kuzey Kırklareli Alt Havzası	861,63	86,16
Kuzey Çanakkale Alt Havzası	368,89	36,89
Toplam	7.124,96	712,50



Şekil 6.2 Alt Havza Bazında Ekosistem Su Miktarlarının Dağılımı

6.2. Gelecek Durum Su Kullanımı

6.2.1. Tarımsal Sulama Suyu İhtiyaç Tahminleri

Marmara Havzası mevcut durum tarımsal suyu tüketimleri göz önünde bulundurularak gelecek durum tarımsal suyu ihtiyaç tahminleri yapılmıştır. Havza mutasavver tarımsal su ihtiyaçları Tablo 6.29 üzerinde sunulmuştur.

Tablo 6.29 Alt Havza Bazında Mutasavver Tarımsal Su Kullanımı

Alt Havza	Mutasavver Sulama Alanı (ha)	Mutasavver Su İhtiyacı (hm ³ /yıl)
Biga Çayı Alt Havzası	9.373,00	115,98
Körfez Alt Havzası	6.284,00	28,56
Gönen Çayı Alt Havzası	4.650,00	20,69
İznik Gölü Alt Havzası	12.144,00	66,53
Ağva Deresi Alt Havzası	4.027,00	30,19
Batı İstanbul Alt Havzası	Kuzey Marmara MP	8.591,40
Kuzey Kırklareli Alt Havzası		
Kuzey Çanakkale Alt Havzası		
Toplam	45.069,40	336,84

6.2.2. Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu

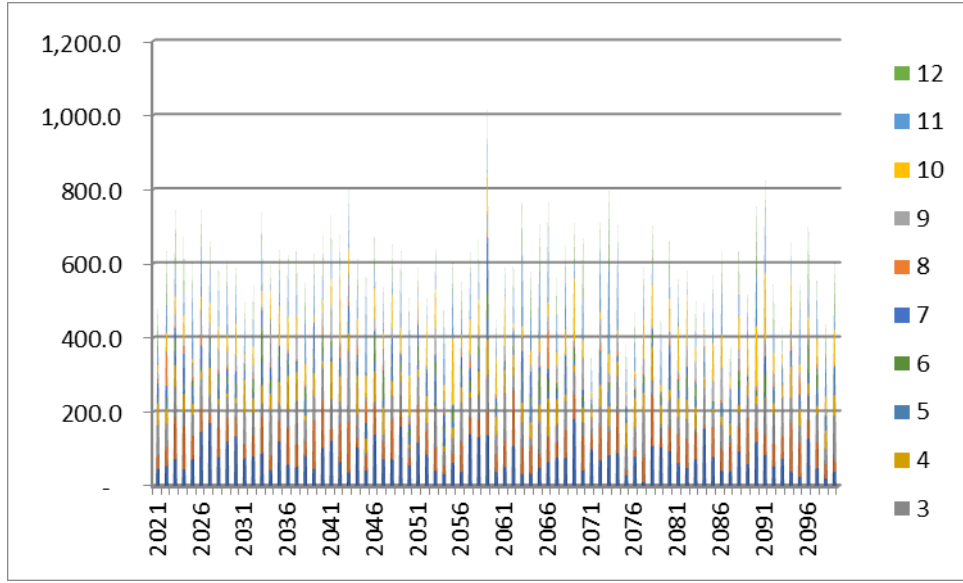
Yıllara göre sulama suyu projeksiyonu bitkilerin alt havzalarında sulama oranı üzerinden hesaplanmıştır. Aşağıdaki tablolarda sulama oran ve alanlar sabit üzerinden düşünülmüş, sadece yıllara bağlı vejetasyon dönemlerinde yağış toplamaları üzerinden oluşturulmuştur.

Projeksiyon 2075 ve 1975 yılları arası yapılmış, gerçekleşmiş 2005 ile 1975 yılları arası baz alınmıştır.

6.2.2.1. Biga Çayı Alt Havzası (1/8)

Tablo 6.30 Biga Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu

Vejetasyon Dönemi Yağış Toplam				Ortalama
Yıl Baş	Yıl Son	Ay Baş	Ay Son	P
2021	2049	4	10	234.0
2050	2074	4	10	233.1
2075	2100	4	10	210.2
1975	2005	4	10	207

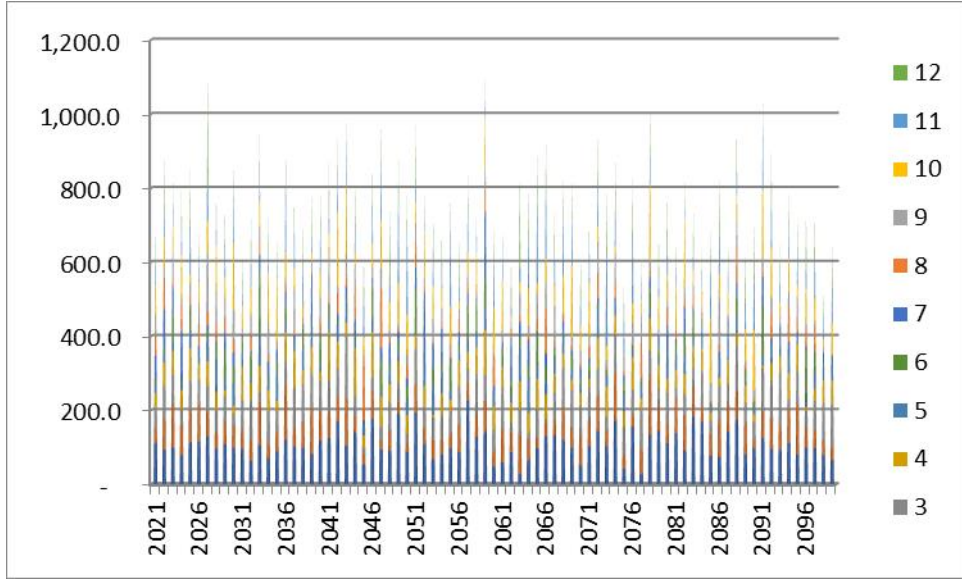


Şekil 6.3 Biga Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği

6.2.2.2. Körfez Alt Havzası (2/8)

Tablo 6.31 Körfez Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu

Vejetasyon Dönemi Yağış Toplam				Ortalama
Yıl Baş	Yıl Son	Ay Baş	Ay Son	p
2021	2049	4	10	358.5
2050	2074	4	10	333.7
2075	2100	4	10	291.3
1975	2005	4	10	318.8

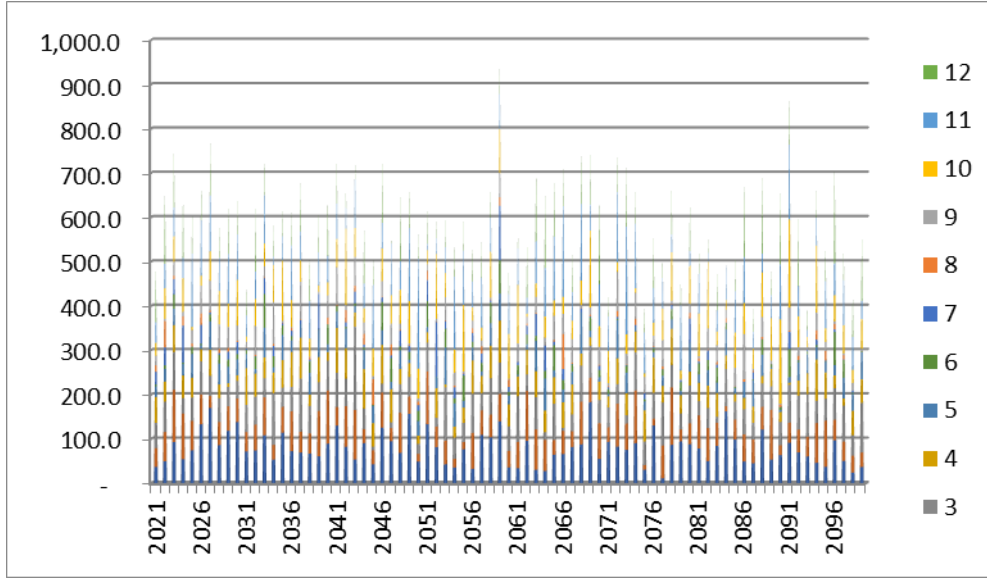


Şekil 6.4 Körfez Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği

6.2.2.3. Gönen Çayı Alt Havzası (3/8)

Tablo 6.32 Gönen Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu

Vejetasyon Dönemi Yağış Toplam				Ortalama
Yıl Baş	Yıl Son	Ay Baş	Ay Son	p
2021	2049	4	10	234.6
2050	2074	4	10	232.9
2075	2100	4	10	205.2
1975	2005	4	10	227.8

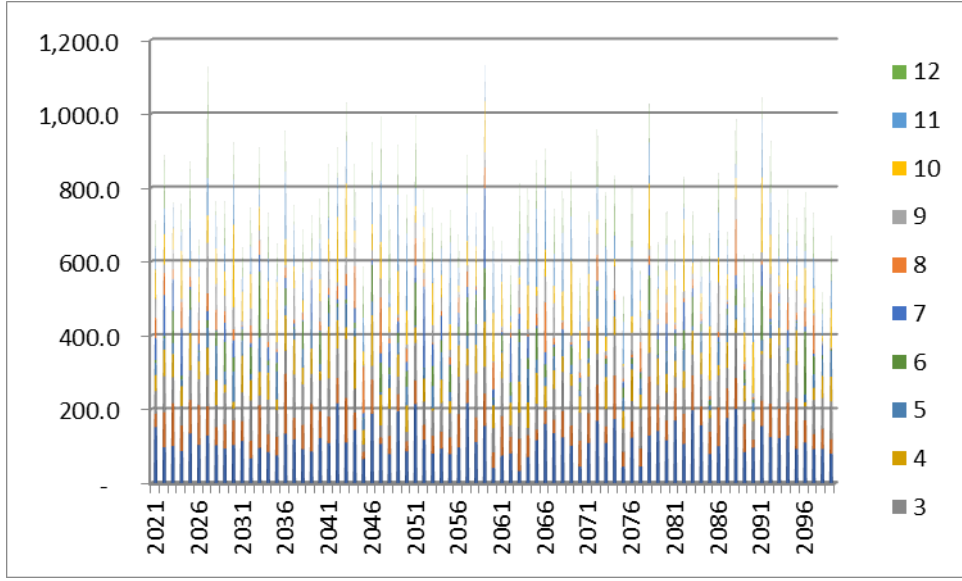


Şekil 6.5 Gönen Çayı Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği

6.2.2.4. İznik Gölü Alt Havzası (4/8)

Tablo 6.33 İznik Gölü Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu

Vejetasyon Dönemi Yağış Toplam				Ortalama
Yıl Baş	Yıl Son	Ay Baş	Ay Son	p
2021	2049	4	10	353.4
2050	2074	4	10	327.6
2075	2100	4	10	289.9
1975	2005	4	10	287.1

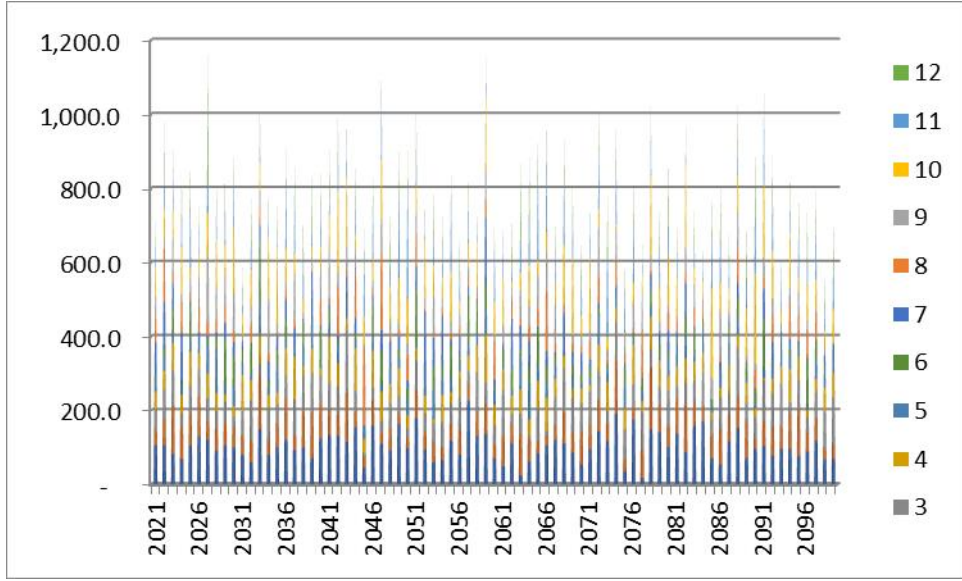


Şekil 6.6 İznik Gölü Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu
Grafiği

6.2.2.5. Ağva Deresi Alt Havzası (5/8)

Tablo 6.34 Ağva Deresi Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu

Vejetasyon Dönemi Yağış Toplam				Ortalama
Yıl Baş	Yıl Son	Ay Baş	Ay Son	p
2021	2049	4	10	407.3
2050	2074	4	10	379.4
2075	2100	4	10	338.1
1975	2005	4	10	386.1

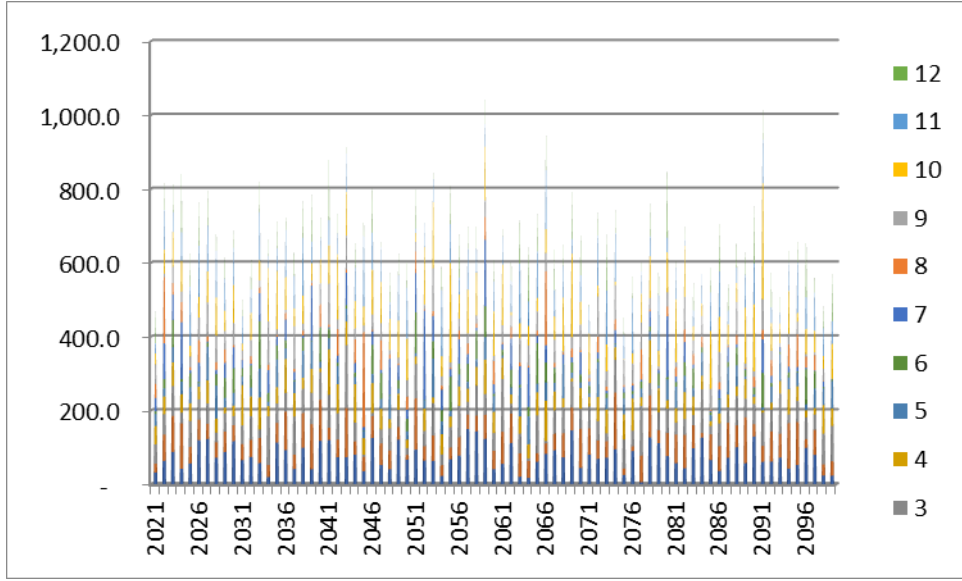


Şekil 6.7 Ağva Deresi Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu
Grafiği

6.2.2.6. Batı İstanbul Alt Havzası (6/8)

Tablo 6.35 Batı İstanbul Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu

Vejetasyon Dönemi Yağış Toplam				Ortalama
Yıl Baş	Yıl Son	Ay Baş	Ay Son	p
2021	2049	4	10	340.9
2050	2074	4	10	344.5
2075	2100	4	10	281.6
1975	2005	4	10	289.8

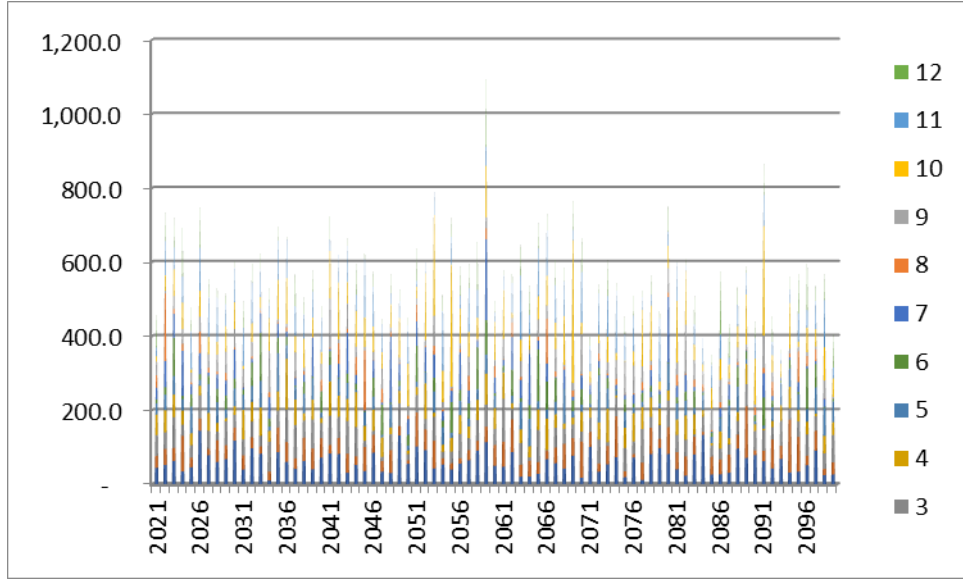


Şekil 6.8 Batı İstanbul Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği

6.2.2.7. Kuzey Kırklareli Alt Havzası (7/8)

Tablo 6.36 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu

Vejetasyon Dönemi Yağış Toplam				Ortalama
Yıl Baş	Yıl Son	Ay Baş	Ay Son	p
2021	2049	4	10	299.3
2050	2074	4	10	328.3
2075	2100	4	10	259.8
1975	2005	4	10	267.2

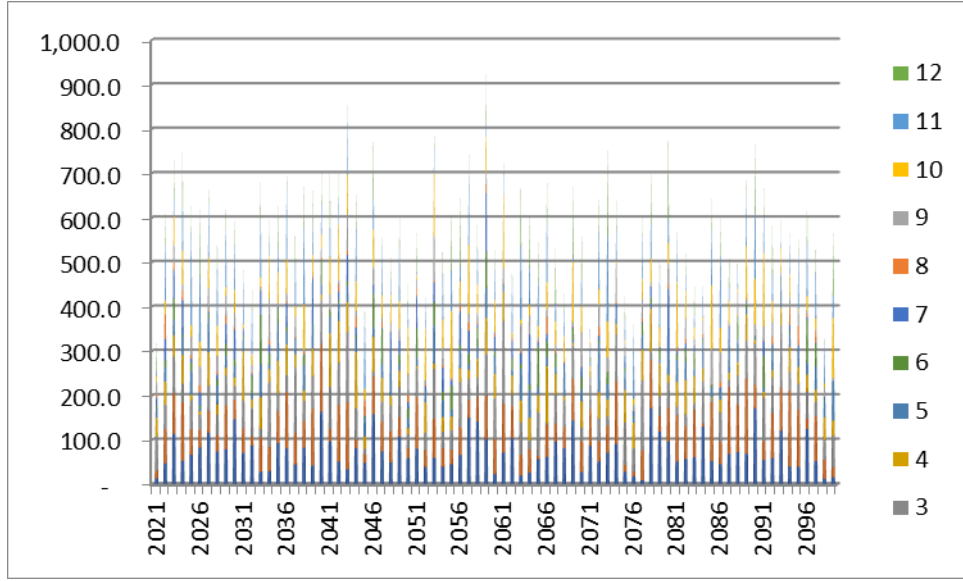


Şekil 6.9 Kuzey Kırklareli Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği

6.2.2.8. Kuzey Çanakkale Alt Havzası (8/8)

Tablo 6.37 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu

Vejetasyon Dönemi Yağış Toplam				Ortalama
Yıl Baş	Yıl Son	Ay Baş	Ay Son	p
2021	2049	4	10	235.4
2050	2074	4	10	243.5
2075	2100	4	10	204.1
1975	2005	4	10	192



Şekil 6.10 Kuzey Çanakkale Alt Havzası Tarım Alanları Sulama Suyu İhtiyacı Projeksiyonu Grafiği

6.2.3. Hayvancılık Su İhtiyaç Tahminleri

Marmara Havzası hayvancılık su ihtiyacı mevcut durum hesaplamaları İller Bankası tarafından hazırlanan “İçme suyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname İçme ve Kullanma Suyu İhtiyaçları Tahminleri” doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Marmara Havzası hayvancılık su ihtiyacı tahminlerinin yapılması için havzada yer alan illerin son 5 yıla ait büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları incelenmiştir. Her il için son 5 yıla ait verilerin artış oranları hesaplanmış ve ortalama artış oranı elde edilmiştir. Daha sonra bu oran kullanılarak gelecek yıl hayvancılık su ihtiyacı tahminleri yapılmıştır. 2050 yılından sonra bulunan değerler sabit tutulmuştur. Elde edilen verilere göre 2050 yılında Marmara Havzası’nda büyükbaş hayvan su ihtiyacı $1,17 \text{ hm}^3$, küçükbaş hayvan su ihtiyacı ise $6,38 \text{ hm}^3$ olarak tahmin edilmektedir.

Tablo 6.38 alt havza bazında büyükbaş hayvan su ihtiyacı tahminlerini göstermektedir. Küçükbaş hayvan su ihtiyacı tahminleri ise Tablo 6.39’da verilmiştir.

Tablo 6.38 Alt Havza Bazında Büyükbaş Hayvan Su İhtiyaç Tahminleri (Projeksiyon)

Alt Havza	Toplam Su Tüketimi (hm ³ /yıl)								
	Mevcut	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2075	2100
Biga Çayı Alt Havzası	2,31	2,35	2,39	2,44	2,48	2,53	2,58	2,58	2,58
Körfez Alt Havzası	1,60	1,63	1,66	1,69	1,72	1,75	1,79	1,79	1,79
Gönen Çayı Alt Havzası	1,40	1,43	1,45	1,48	1,51	1,54	1,56	1,56	1,56
İznik Gölü Alt Havzası	0,31	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,35	0,35	0,35
Ağva Deresi Alt Havzası	1,58	1,61	1,64	1,67	1,70	1,74	1,77	1,77	1,77
Batı İstanbul Alt Havzası	1,43	1,46	1,49	1,51	1,54	1,57	1,60	1,60	1,60
Kuzey Kırklareli Alt Havzası	0,48	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,54	0,54
Kuzey Çanakkale Alt Havzası	0,88	0,90	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	0,99	0,99
Toplam	9,99	10,18	10,37	10,57	10,76	10,97	11,17	11,17	11,17

Tablo 6.39 Alt Havza Bazında Küçükbaş Hayvan Su İhtiyaç Tahminleri (Projeksiyon)

Alt Havza	Toplam Su Tüketimi (hm ³ /yıl)								
	Mevcut	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2075	2100
Biga Çayı Alt Havzası	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,60	1,61	1,61	1,61
Körfez Alt Havzası	0,65	0,66	0,67	0,68	0,68	0,69	0,70	0,70	0,70
Gönen Çayı Alt Havzası	0,88	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95
İznik Gölü Alt Havzası	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27
Ağva Deresi Alt Havzası	0,54	0,54	0,55	0,56	0,56	0,57	0,58	0,58	0,58
Batı İstanbul Alt Havzası	0,69	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	0,74
Kuzey Kırklareli Alt Havzası	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46
Kuzey Çanakkale Alt Havzası	1,00	1,01	1,02	1,03	1,05	1,06	1,07	1,07	1,07
Toplam	5,94	6,01	6,08	6,16	6,23	6,31	6,38	6,38	6,38

6.2.4. İçme ve Kullanma Suyu İhtiyaç Tahminleri

Marmara Havzası için içme-kullanma suyu ihtiyaç tahminleri hesaplanırken havzada bulunan il/ilçe/mahalle veya köyler için elde edilen nüfus verileri kullanılmıştır. İçme-kullanma suyu hesaplamaları için İller Bankası tarafından önerilen Aritmetik Artış ve Lojistik Eğri gibi farklı

yöntemler mevcuttur. Su ihtiyaç tahminleri 2022 ile 2025 yılları arasında yıllık ve 2025 ile 2050 yılları arasında 5 yıllık periyotlar ile yapılmıştır.

Bu çalışmada İller Bankası iki nokta yöntemi ve Aritmetik Artış yöntemi kullanılmıştır.

İller Bankası iki nokta yöntemi;

Bu yöntemin formülasyonu Denklem 6.1 ve 6.2’de verilmiştir.

$$\zeta = 100 \left(\sqrt[a]{\frac{N_y}{N_e}} - 1 \right) \quad (6.1)$$

$$N_g = N_y \cdot (1 + 0,01 \cdot \zeta)^{\Delta t} \quad (6.2)$$

Burada;

ζ =Çoğalma katsayısı

N_y = Yeni nüfus sayısı

N_e =Eski nüfus sayısı

N_g =Gelecekteki nüfus sayısı

a =Yeni ve eski nüfus sayımı arasındaki fark (yıl)

Δt = Gelecekteki nüfus ve yeni nüfus sayımı arasındaki farkı (yıl) göstermektedir.

“İçme, Kullanma ve Endüstri Suyu Temini ve Dağıtım Şebekesi Proje Yapım Şartnamesi”ne göre ζ değerinin sınırlandırılması aşağıda verilmiştir:

$\zeta < 1$ ise $\zeta = 1$

$1 < \zeta < 3$ ise $\zeta =$ Hesaplanan değer

$\zeta > 3$ ise $\zeta = 3$

ζ değerlerini hesaplamak için 2013 ile 2021 yıllarına ait nüfus verilerinden faydalanmıştır. Tablo 6.40 havzada bulunan ilçeler için hesaplanan ζ katsayılarını göstermektedir. Güncel nüfus verilerine göre 2021 yılında Marmara Havzasında toplam 19.048.359 kişi olduğu görülmektedir.

Tablo 6.40 Marmara Havzası'nda İlçelere Göre "Ç" Değerleri

İl Adı	İlçe Adı	Nüfus		Hesaplanan Ç Değeri	Ç Değeri
		2013	2021		
Balıkesir	Balya	14.153	12.658	-1,39	1,00
	Bandırma	131.147	161.894	2,67	2,67
	Edremit	172.162	164.696	-0,55	1,00
	Gönen	73.370	74.792	0,24	1,00
	Havran	27.952	27.914	-0,02	1,00
Bursa	Gemlik	101.389	118.037	1,92	1,92
	Gürsu	73.115	99.278	3,90	3,00
	İznik	43.287	44.050	0,22	1,00
	Kestel	51.872	72.435	4,26	3,00
	Mudanya	77.461	105.308	3,91	3,00
	Orhangazi	75.672	80.216	0,73	1,00
	Osmangazi	802.661	884.451	1,22	1,22
	Yenişehir	52.132	54.485	0,55	1,00
Çanakkale	Bayramiç	30.117	29.136	-0,41	1,00
	Biga	88.042	91.537	0,49	1,00
	Çan	50.126	48.023	-0,53	1,00
	Çanakkale Merkez	149.881	195.439	3,37	3,00
	Eceabat	9.123	8.769	-0,49	1,00
	Gelibolu	43.345	44.598	0,36	1,00
	Lapseki	25.661	28.742	1,43	1,43
	Yenice	35.473	31.080	-1,64	1,00
Edirne	Enez	10.497	10.549	0,06	1,00
	Keşan	79.889	83.860	0,61	1,00
İstanbul	Arnavutköy	215.531	312.023	4,73	3,00
	Ataşehir	405.974	427.217	0,64	1,00
	Avclar	407.240	457.981	1,48	1,48
	Bağcılar	752.250	744.351	-0,13	1,00
	Bahçelievler	602.931	605.300	0,05	1,00
	Bakırköy	220.974	228.759	0,43	1,00
	Başakşehir	333.047	503.243	5,30	3,00
	Bayrampaşa	269.677	274.884	0,24	1,00
	Beşiktaş	186.570	178.938	-0,52	1,00
	Beykoz	248.056	248.595	0,03	1,00
	Beylikdüzü	244.817	398.122	6,27	3,00
	Beyoğlu	245.219	233.322	-0,62	1,00
	Büyükdere	211.000	269.160	3,09	3,00
	Çatalca	65.811	76.131	1,84	1,84
	Çekmeköy	207.476	288.585	4,21	3,00
	Esenler	464.394	447.116	-0,47	1,00
	Esenyurt	983.255	977.489	-0,07	1,00
	Eyüp	361.531	417.360	1,81	1,81
	Fatih	425.865	382.980	-1,32	1,00
	Gaziosmanpaşa	495.006	493.096	-0,05	1,00
	Güngören	306.854	283.083	-1,00	1,00
	Kadıköy	506.293	485.233	-0,53	1,00
	Kağıthane	428.755	454.550	0,73	1,00
	Kartal	447.110	480.738	0,91	1,00
	Küçükçekmece	740.090	805.929	1,07	1,07
	Maltepe	471.059	525.566	1,38	1,38
	Pendik	646.375	741.895	1,74	1,74
	Sancaktepe	270.199	426.600	5,87	3,00
	Sarıyer	335.598	349.968	0,53	1,00
	Şile	31.718	41.627	3,46	3,00
Silivri	155.923	209.014	3,73	3,00	

	Şişli	274.420	284.294	0,44	1,00
	Sultanbeyli	309.347	349.485	1,54	1,54
	Sultangazi	505.190	543.380	0,92	1,00
	Tuzla	208.807	284.440	3,94	3,00
	Ümraniye	667.070	726.758	1,08	1,08
	Üsküdar	534.636	525.395	-0,22	1,00
	Zeytinburnu	292.313	293.839	0,07	1,00
Kırklareli	Demirköy	8.455	8.871	0,60	1,00
	Kırklareli Merkez	89.509	10.5525	2,08	2,08
	Koçaz	2.702	2.251	-2,26	1,00
	Pınarhisar	19.035	17.806	-0,83	1,00
	Vize	27.899	28.814	0,40	1,00
Kocaeli	Başiskele	76.605	111.635	4,82	3,00
	Çayırova	103.536	144.824	4,28	3,00
	Darıca	130.657	144.287	1,25	1,25
	Derince	130.657	144.287	1,25	1,25
	Dilovası	45.572	51.865	1,63	1,63
	Gebze	329.195	399.558	2,45	2,45
	Gölcük	145.805	172.802	2,15	2,15
	İzmit	332.754	371.002	1,37	1,37
	Kandıra	50.046	52.930	0,70	1,00
	Karamürsel	53.033	58.936	1,33	1,33
	Kartepe	101.692	131.414	3,26	3,00
	Körfez	142.884	174.632	2,54	2,54
Sakarya	Kaynarca	23.390	24.385	0,52	1,00
	Pamukova	27.841	30.028	0,95	1,00
	Serdivan	105.775	157.698	5,12	3,00
Tekirdağ	Çerkezköy	94.535	196.734	9,59	3,00
	Çorlu	225.537	284.902	2,96	2,96
	Malkara	53.293	51.616	-0,40	1,00
	Marmara Ereğlisi	22.816	28.336	2,75	2,75
	Muratlı	26.764	29.715	1,32	1,32
	Saray	55.431	50.394	-1,18	1,00
	Şarköy	29.994	33.062	1,22	1,22
	Tekirdağ Merkez	179.239	210.547	2,03	2,03
Yalova	Altınova	23.567	31.279	3,60	3,00
	Armutlu	8.562	10.349	2,40	2,40
	Çiftlikköy	30.784	48.368	5,81	3,00
	Çınarcık	27.384	37.490	4,00	3,00
	Termal	5.807	6.677	1,76	1,76
	Yalova Merkez	124.018	156.838	2,98	2,98
Bilecik	Osmaneli	21.195	21497	0,18	1,00

“Ç” katsayıları hesaplandıktan sonra havza içerisinde yer alan tüm ilçeler için gelecek nüfus projeksiyonları hesaplanmıştır.

Aritmetik Artış Yöntemi;

Aritmetik artış yöntemi toplum nüfusunun birim zamandaki artışının zamanla sabit kaldığı kabul edilmiştir.

Bu yöntemin formülasyonu Denklem 6.3 ve 6.4’te verilmiştir

$$K_a = \left(\frac{N_y - N_e}{t_y - t_e} \right) \quad (6.3)$$

$$N_g = N_s + k_a \times (t_g - t_s) \quad (6.4)$$

Burada;

N_g : Tahmin edilecek gelecek nüfus

t_g : Gelecek (nüfus tahmininin yapılacağı gelecek) yıla tekabül eden sene

N_s : Son nüfus sayımı (en güncel nüfus verisi)

t_s : Son nüfus sayımına tekabül eden sene

N_y : Yeni nüfus sayımı

N_e : Eski nüfus sayımı

t_e : Eski nüfus sayımına tekabül eden eski sene

t_y : Yeni nüfus sayımına tekabül eden yeni sene

k_a : Aritmetik artıl hızı katsayısı

k_a değerlerini hesaplamak için 2013 ile 2021 yıllarına ait nüfus verilerinden faydalanmıştır.

Tablo 6.41 havzada bulunan ilçeler için hesaplanan k_a katsayılarını göstermektedir.

Tablo 6.41 Marmara Havzası İlçelere Göre “ k_a ” Değerleri

İl Adı	İlçe Adı	Nüfus		Hesaplanan k_a Değeri
		2013	2021	
Balıkesir	Balya	14.153	12.658	-187
	Bandırma	131.147	161.894	3843
	Edremit	172.162	164.696	-933
	Gönen	73.370	74.792	178
	Havran	27.952	27.914	-5
Bursa	Gemlik	101.389	118.037	2081
	Gürsu	73.115	99.278	3270
	İznik	43.287	44.050	95
	Kestel	51.872	72.435	2570
	Mudanya	77.461	105.308	3481
	Orhangazi	75.672	80.216	568
	Osmangazi	802.661	884.451	10224
	Yenişehir	52.132	54.485	294
Çanakkale	Bayramiç	30.117	29.136	-123
	Biga	88.042	91.537	437
	Çan	50.126	48.023	-263
	Çanakkale Merkez	149.881	195.439	5695
	Eceabat	9.123	8.769	-44
	Gelibolu	43.345	44.598	157

	Lapseki	25.661	28.742	385
	Yenice	35.473	31.080	-549
Edirne	Enez	10.497	10.549	7
	Keşan	79.889	83.860	496
İstanbul	Arnavutköy	215.531	312.023	12062
	Ataşehir	405.974	427.217	2655
	Avcılar	407.240	457.981	6343
	Bağcılar	752.250	744.351	-987
	Bahçelievler	602.931	605.300	296
	Bakırköy	220.974	228.759	973
	Başakşehir	333.047	503.243	21275
	Bayrampaşa	269.677	274.884	651
	Beşiktaş	186.570	178.938	-954
	Beykoz	248.056	248.595	67
	Beylikdüzü	244.817	398.122	19163
	Beyoğlu	245.219	233.322	-1487
	Büyükkçekmece	211.000	269.160	7270
	Çatalca	65.811	76.131	1290
	Çekmeköy	207.476	288.585	10139
	Esenler	464.394	447.116	-2160
	Esenyurt	983.255	977.489	-721
	Eyüp	361.531	417.360	6979
	Fatih	425.865	382.980	-5361
	Gaziosmanpaşa	495.006	493.096	-239
	Güngören	306.854	283.083	-2971
	Kadıköy	506.293	485.233	-2633
	Kağıthane	428.755	454.550	3224
	Kartal	447.110	480.738	4204
	Küçükçekmece	740.090	805.929	8230
	Maltepe	471.059	525.566	6813
	Pendik	646.375	741.895	11940
	Sancaktepe	270.199	426.600	21283
	Sarıyer	335.598	349.968	1796
	Şile	31.718	41.627	1239
	Silivri	155.923	209.014	6636
	Şişli	274.420	284.294	1234
	Sultanbeyli	309.347	349.485	5017
	Sultangazi	505.190	543.380	4774
Tuzla	208.807	284.440	9454	
Ümraniye	667.070	726.758	7461	
Üsküdar	534.636	525.395	-1155	
Zeytinburnu	292.313	293.839	191	
Kırklareli	Demirköy	8.455	8.871	52
	Kırklareli Merkez	89.509	10.5525	2002
	Koçaz	2.702	2.251	-56
	Pınarhisar	19.035	17.806	-154
	Vize	27.899	28.814	114
Kocaeli	Başiskele	76.605	111.635	4379
	Çayırova	103.536	144.824	5161
	Darica	130.657	144.287	1704
	Derince	130.657	144.287	1704
	Dilovası	45.572	51.865	787
	Gebze	329.195	399.558	8795
	Gölcük	145.805	172.802	3375
	İzmit	332.754	371.002	4781
	Kandıra	50.046	52.930	361
	Karamürsel	53.033	58.936	738
Kartepe	101.692	131.414	3715	

	Körfez	142.884	174.632	3969
Sakarya	Kaynarca	23.390	24.385	124
	Pamukova	27.841	30.028	273
	Serdivan	105.775	157.698	6490
Tekirdağ	Çerkezköy	94.535	196.734	12775
	Çorlu	225.537	284.902	7421
	Malkara	53.293	51.616	-210
	Marmara Ereğlisi	22.816	28.336	690
	Muratlı	26.764	29.715	369
	Saray	55.431	50.394	-630
	Şarköy	29.994	33.062	384
	Tekirdağ Merkez	179.239	210.547	3914
Yalova	Altınova	23.567	31.279	964
	Armutlu	8.562	10.349	223
	Çiftlikköy	30.784	48.368	2198
	Çınarcık	27.384	37.490	1263
	Termal	5.807	6.677	109
	Yalova Merkez	124.018	156.838	4103
Bilecik	Osmaneli	21.195	21497	38

İller Bankası ve Aritmetik Artış yöntemlerini kullanarak Marmara Havzası için nüfus projeksiyon hesaplamaları yapılmıştır ve sonuçları Tablo 6.42 üzerinde verilmiştir. Köy/Mahalle bazında hesaplanan nüfus projeksiyonları ise EK 6.4'te verilmiştir.

Tablo 6.42 Marmara Havzası'nda Yer Alan İlçelerin Nüfus Projeksiyonları

İl Adı	İlçe Adı	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2075	2100
Balıkesir	Balya	12.628	12.598	12.569	12.541	12.410	12.296	12.200	12.123	12.065	12.115	12.838
	Bandırma	165.975	170.114	174.312	178.570	200.833	224.875	250.949	279.339	310.371	520.177	880.634
	Edremit	165.053	165.418	165.791	166.173	168.211	170.472	172.967	175.709	178.710	198.081	226.219
	Gönen	75.255	75.721	76.192	76.666	79.095	81.626	84.263	87.012	89.878	106.195	126.493
	Havran	28.051	28.190	28.330	28.471	29.200	29.967	30.773	31.622	32.514	37.715	44.402
Bursa	Gemlik	120.210	122.404	124.621	126.860	138.411	150.594	163.472	177.116	191.602	279.898	406.073
	Gürsu	102.402	105.571	108.786	112.049	129.123	147.615	167.750	189.789	214.037	382.864	691.637
	İznik	44.318	44.588	44.860	45.135	46.543	48.010	49.540	51.135	52.800	62.294	74.132
	Kestel	74.807	77.211	79.649	82.121	95.040	108.992	124.144	140.685	158.837	284.319	511.909
	Mudanya	108.628	111.996	115.412	118.878	137.019	156.664	178.051	201.459	227.209	406.439	734.115
	Orhangazi	80.901	81.590	82.283	82.981	86.530	90.187	93.959	97.851	101.868	124.085	150.572
	Osmangazi	894.959	905.534	916.175	926.883	981.466	1.037.865	1.096.191	1.156.566	1.219.117	1.569.600	1.998.965
	Yenişehir	54.904	55.327	55.752	56.179	58.361	60.616	62.949	65.363	67.863	81.807	98.651
Çanakkale	Bayramiç	29.220	29.306	29.393	29.482	29.949	30.455	31.003	31.594	32.231	36.189	41.698
	Biga	92.213	92.894	93.579	94.269	97.791	101.436	105.212	109.125	113.181	135.893	163.476
	Çan	48.132	48.243	48.356	48.472	49.090	49.772	50.523	51.345	52.243	58.007	66.328
	Ç. Merkez	201.218	207.085	213.042	219.093	250.848	285.392	323.171	364.700	410.576	733.638	1.332.199
	Eceabat	8.791	8.813	8.835	8.859	8.981	9.115	9.261	9.421	9.594	10.693	12.260

*Meriç Ergene ve Marmara Havzaları
Kuraklık Yönetim Planının Hazırlanması Projesi*

	Gelibolu	44.899	45.203	45.509	45.817	47.392	49.028	50.727	52.492	54.328	64.691	77.427
	Lapseki	29.140	29.540	29.944	30.351	32.430	34.592	36.842	39.186	41.632	55.664	73.615
	Yenice	30.961	30.843	30.727	30.613	30.065	29.559	29.097	28.682	28.316	27.309	27.956
Edirne	Enez	10.605	10.662	10.719	10.776	11.072	11.383	11.708	12.050	12.408	14.477	17.108
	Keşan	84.527	85.199	85.875	86.555	90.022	93.602	97.302	101.126	105.083	127.092	153.563
İstanbul	Arnavutköy	322.734	333.586	344.582	355.727	413.848	476.423	544.163	617.889	698.555	1.251.452	2.244.190
	Ataşehir	430.681	434.166	437.673	441.201	459.178	477.734	496.897	516.699	537.173	650.875	787.317
	Avcılar	464.538	471.146	477.804	484.513	518.862	554.619	591.892	630.795	671.453	906.121	1.209.676
	Bağcılar	747.579	750.844	754.147	757.488	774.775	793.070	812.424	832.891	854.528	982.461	1.150.013
	Bahçelievler	608.475	611.679	614.915	618.181	634.986	652.611	671.097	690.489	710.831	828.604	978.593
	Bakırköy	230.389	232.031	233.685	235.350	243.854	252.668	261.807	271.289	281.130	336.404	403.854
	Başakşehir	521.429	539.841	558.487	577.373	675.666	781.143	894.949	1.018.410	1.153.064	2.067.565	3.691.456
	Bayrampaşa	276.584	278.297	280.025	281.766	290.689	299.984	309.670	319.767	330.297	390.235	464.805
	Beşiktaş	179.356	179.782	180.218	180.663	183.027	185.633	188.494	191.623	195.033	216.829	248.150
	Beykoz	249.872	251.161	252.462	253.777	260.543	267.646	275.102	282.931	291.150	338.841	399.763
	Beylikdüzü	413.675	429.408	445.325	461.432	545.025	634.300	730.165	833.669	946.027	1.698.657	3.012.496
	Beyoğlu	233.745	234.180	234.626	235.085	237.559	240.350	243.473	246.944	250.782	276.163	313.963
	Büyükdere	276.832	284.626	292.544	300.591	342.891	389.034	439.632	495.393	557.142	994.905	1.812.086
	Çatalca	77.475	78.833	80.203	81.587	88.714	96.214	104.120	112.473	121.315	174.651	249.439
	Çekmeköy	297.983	307.511	317.173	326.972	378.185	433.518	493.627	559.273	631.337	1.129.993	2.035.448
	Esenler	448.272	449.450	450.650	451.874	458.341	465.414	473.123	481.500	490.581	547.844	628.906
	Esenyurt	982.016	986.592	991.217	995.892	1.020.034	1.045.498	1.072.354	1.100.671	1.130.525	1.305.727	1.532.955
	Eyüp	424.629	431.966	439.374	446.852	485.352	525.830	568.470	613.476	661.070	947.209	1.346.000
	Fatih	382.215	381.468	380.741	380.034	376.797	374.078	371.905	370.304	369.305	374.471	400.021
	Gaziosmanpaşa	495.442	497.813	500.209	502.629	515.120	528.277	542.137	556.734	572.105	662.047	778.233
	Güngören	283.013	282.957	282.915	282.887	282.972	283.440	284.311	285.605	287.344	303.550	334.823
	Kadıköy	486.343	487.477	488.636	489.819	496.116	503.070	510.715	519.085	528.218	586.755	671.120
	Kağıthane	458.435	462.343	466.273	470.227	490.352	511.092	532.480	554.546	577.328	703.294	853.454
	Kartal	485.243	489.773	494.327	498.905	522.173	546.091	570.694	596.016	622.093	765.234	933.961
	Küçükçekmece	814.360	822.837	831.360	839.931	883.511	928.350	974.516	1.022.083	1.071.126	1.341.479	1.662.939
	Maltepe	532.594	539.672	546.800	553.980	590.674	628.759	668.336	709.510	752.394	997.010	1.306.681
	Pendik	754.311	766.839	779.482	792.240	857.842	926.660	998.984	1.075.128	1.155.438	1.633.815	2.289.380
	Sancaktepe	492.429	510.404	528.599	547.021	642.773	745.302	855.687	975.178	1.105.227	1.983.004	3.529.891
	Sarıyer	352.616	355.281	357.965	360.666	374.445	388.697	403.448	418.722	434.546	522.952	629.985
	Şile	42.871	44.133	45.415	46.717	53.544	60.966	69.077	77.987	87.822	156.953	284.763
	Silivri	215.467	222.015	228.659	235.403	270.729	309.038	350.806	396.585	447.012	799.340	1.446.302
	Şişli	286.333	288.385	290.453	292.534	303.165	314.181	325.601	337.447	349.739	418.744	502.879
Sultanbeyli	354.679	359.914	365.191	370.510	397.769	426.194	455.877	486.918	519.425	708.344	955.835	
Sultangazi	548.484	553.615	558.773	563.959	590.315	617.407	645.272	673.949	703.481	865.554	1.056.550	
Tuzla	293.434	302.555	311.809	321.198	370.328	423.519	481.418	544.773	614.456	1.099.213	1.984.927	
Ümraniye	734.402	742.088	749.817	757.589	797.111	837.781	879.662	922.821	967.329	1.212.840	1.505.105	
Üsküdar	527.444	529.520	531.622	533.751	544.808	556.576	569.091	582.392	596.519	681.092	793.630	

*Meriç Ergene ve Marmara Havzaları
Kuraklık Yönetim Planının Hazırlanması Projesi*

	Zeytinburnu	295.404	296.983	298.577	300.186	308.462	317.135	326.226	335.757	345.750	403.509	476.908
Kırklareli	Demirköy	8.941	9.012	9.083	9.155	9.521	9.898	10.288	10.691	11.109	13.430	16.224
	K. Merkez	107.623	109.744	111.888	114.055	125.268	137.153	149.784	163.242	177.615	267.094	399.929
	Koçfaz	2.234	2.217	2.201	2.184	2.103	2.025	1.950	1.878	1.810	1.530	1.369
	Pınarhisar	17.818	17.831	17.845	17.860	17.949	18.061	18.199	18.364	18.557	19.992	22.375
	Vize	29.015	29.218	29.422	29.628	30.678	31.768	32.899	34.073	35.292	42.151	50.545
Kocaeli	Başiskele	115.499	119.413	123.379	127.398	148.351	170.898	195.292	221.828	250.847	449.454	805.427
	Çayırova	149.577	154.395	159.280	164.234	190.118	218.069	248.416	281.543	317.890	569.049	1.024.357
	Darica	146.039	147.803	149.578	151.364	160.474	169.895	179.645	189.747	200.223	259.101	331.643
	Derince	146.039	147.803	149.578	151.364	160.474	169.895	179.645	189.747	200.223	259.101	331.643
	Dilovası	52.681	53.504	54.334	55.171	59.467	63.959	68.664	73.599	78.785	109.263	150.026
	Gebze	408.852	418.266	427.803	437.466	487.781	541.742	599.818	662.538	730.501	1.175.846	1.900.203
	Gölcük	176.344	179.925	183.547	187.211	206.183	226.336	247.801	270.726	295.273	449.478	682.144
	İzmit	375.933	380.898	385.899	390.935	416.671	443.376	471.120	499.975	530.019	701.225	917.562
	Kandıra	53.375	53.822	54.273	54.726	57.032	59.409	61.862	64.395	67.010	81.491	98.789
	Karamürsel	59.696	60.462	61.232	62.009	65.971	70.079	74.340	78.766	83.369	109.471	142.168
	Kartepe	135.243	139.131	143.080	147.091	168.158	191.101	216.219	243.859	274.421	490.225	891.276
	Körfez	178.834	183.092	187.408	191.783	214.602	239.143	265.638	294.348	325.567	532.756	877.363
Sakarya	Kaynarca	24.569	24.754	24.941	25.129	26.087	27.078	28.104	29.166	30.267	36.417	43.865
	Pamukova	30.315	30.603	30.893	31.184	32.665	34.186	35.750	37.358	39.014	48.090	58.765
	Serdivan	163.309	168.990	174.745	180.575	210.936	243.548	278.770	317.017	358.772	643.140	1.149.805
Tekirdağ	Çerkezköy	206.072	215.499	225.018	234.630	284.201	336.580	392.215	451.625	515.411	928.644	1.619.200
	Çorlu	292.834	300.892	309.078	317.397	361.124	408.809	461.075	518.642	582.344	1.032.476	1.866.955
	Malkara	51.769	51.925	52.084	52.245	53.091	54.006	54.995	56.062	57.209	64.316	74.170
	Marmaraeğlisi	29.070	29.815	30.570	31.337	35.352	39.699	44.425	49.588	55.248	93.959	161.798
	Muratlı	30.095	30.478	30.863	31.250	33.230	35.281	37.409	39.618	41.914	54.917	71.164
	Saray	50.331	50.271	50.213	50.158	49.921	49.753	49.656	49.635	49.693	51.320	55.628
	Şarköy	33.456	33.853	34.252	34.654	36.702	38.818	41.007	43.273	45.622	58.785	74.927
	T. Merkez	214.644	218.784	222.968	227.198	249.060	272.200	296.754	322.871	350.717	523.011	775.970
Yalova	Altınova	32.230	33.195	34.175	35.170	40.384	46.044	52.221	58.999	66.473	118.835	215.289
	Armutlu	10.585	10.823	11.065	11.310	12.584	13.948	15.413	16.993	18.700	29.807	47.634
	Çiftlikköy	50.193	52.039	53.908	55.799	65.630	76.150	87.472	99.721	113.046	202.857	360.849
	Çınarcık	38.684	39.895	41.123	42.369	48.888	55.941	63.615	72.009	81.236	145.343	262.297
	Termal	6.790	6.904	7.020	7.136	7.734	8.362	9.023	9.719	10.453	14.841	20.886
	Y. Merkez	161.225	165.681	170.209	174.811	199.006	225.403	254.352	286.256	321.580	571.743	1.037.253
Bilecik	Osmaneli	21.623	21.751	21.879	22.009	22.674	23.368	24.092	24.849	25.640	30.163	35.830

Alt havza bazında nüfus projeksiyonları Tablo 6.43 üzerinde gösterilmiştir. Kullanılan yöntemlere göre 2050 yılında havza içerisindeki nüfusun 27.963.326 kişiye ulaşacağı tahmin

edilmektedir. Tablo 6.44 ise alt havza bazında içme-kullanma suyu ihtiyaç tahminlerini (hm³) göstermektedir.

Tablo 6.43 Alt Havza Bazında Nüfus Projeksiyonları

Alt Havza	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2075	2100
Biga Çayı	324.959	330.425	335.967	341.588	370.952	402.633	436.974	474.366	515.265	793.844	1.285.246
Gönen Çayı	110.920	111.640	112.370	113.111	116.983	121.157	125.662	130.534	135.811	170.017	223.900
İznik Gölü	156.601	158.565	160.550	162.557	172.935	183.934	195.631	208.114	221.482	306.207	439.268
Körfez	5.056.885	5.126.624	5.197.106	5.268.350	5.636.605	6.026.686	6.441.255	6.883.343	7.356.400	10.345.060	15.007.918
Ağva Deresi	2.871.197	2.932.864	2.995.241	3.058.346	3.385.463	3.733.813	4.106.305	4.506.270	4.937.520	7.740.515	12.340.707
Batı İstanbul	10.504.880	10.625.403	10.747.294	10.870.585	11.509.201	12.188.037	12.912.086	13.687.051	14.519.452	19.846.100	28.343.524
Kuzey Kırklareli	47.145	47.667	48.194	48.726	51.472	54.369	57.429	60.669	64.105	84.958	114.493
Kuzey Çanakkale	160.604	162.256	163.924	165.606	174.249	183.304	192.804	202.786	213.291	275.353	359.162
Toplam	19.233.191	19.495.443	19.760.646	20.028.870	21.417.860	22.893.932	24.468.146	26.153.132	27.963.326	39.562.054	58.114.217

**Tablo 6.44 Alt Havza Bazında İçme ve Kullanma Suyu İhtiyaç Tahminleri
(Projeksiyon Değerleri)**

Alt Havza	Tüketim Miktarı (hm ³ /yıl)										
	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2075	2100
Biga Çayı	23,72	24,12	24,53	24,94	27,08	29,39	31,90	34,63	41,38	63,75	103,21
Gönen Çayı	8,10	8,15	8,20	8,26	8,54	8,84	9,17	9,53	10,91	13,65	17,98
İznik Gölü	11,43	11,58	11,72	11,87	12,62	13,43	14,28	15,19	17,79	24,59	35,27
Körfez	369,15	374,24	379,39	384,59	411,47	439,95	470,21	502,48	590,72	830,71	1.205,14
Ağva Deresi	209,60	214,10	218,65	223,26	247,14	272,57	299,76	328,96	396,48	621,56	990,96
Batı İstanbul	766,86	775,65	784,55	793,55	840,17	889,73	942,58	999,15	1.165,91	1.593,64	2.275,98
Kuzey Kırklareli	3,44	3,48	3,52	3,56	3,76	3,97	4,19	4,43	5,15	6,82	9,19
Kuzey Çanakkale	11,72	11,84	11,97	12,09	12,72	13,38	14,07	14,80	17,13	22,11	28,84
Toplam	1.404,02	1.423,17	1.442,53	1.462,11	1.563,50	1.671,26	1.786,17	1.909,18	2.245,46	3.176,83	4.666,57

6.2.5. Sanayi Suyu İhtiyaç Tahminleri

Marmara Havzası'nda mevcut ve geçmiş sanayi su tüketimi "T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı" OSB Bilgi sisteminden ve önceki çalışmalardan sağlanmıştır. Havzada yer alan tüm OSB'ler için sanayi su ihtiyaç tahminleri yapılmıştır.

Bakanlar Kurulu'nun 10/06/2013 tarihli ve 2013/4908 sayılı kararıyla kabul edilmiş olan “Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018)” nın 451. Maddesinde sanayi sektörünün % 6,4 oranında büyümesi öngörülmüştür.

Bu bilgilerden faydalanarak büyüme oranı ve su tüketim miktarı artışının paralel olacağı kabul edilmiştir. Her 5 yıl için büyüme oranı %6,4 olarak ve 2050 yılına kadar sabit kalacağı öngörülmüştür. Teknolojideki ilerlemeler göz önünde bulundurularak sanayide kullanılan suyun 2050 yılından itibaren %30 oranında geri kazanımı öngörülmüş ve hesaplamalar buna göre yapılmıştır (DSİ, 2018). Tablo 6.45 alt havza bazında gelecek sanayi su ihtiyacı tahminlerini göstermektedir.

Tablo 6.45 Sanayi Suyu İhtiyacı Tahminleri (Projeksiyon)

Alt Havza Adı	OSB Adı	Tüketim Miktarı (hm ³ /yıl)									
		Mevcut	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2075	2100	2050-2100 (%30 Geri Kazanım)
Biga Çayı	Biga OSB	1,58	1,68	1,79	1,90	2,02	2,15	2,29	2,29	2,29	1,60
	Çanakale OSB	1,58	1,68	1,79	1,90	2,02	2,15	2,29	2,29	2,29	1,60
Gönen Çayı	Gönen Deri İhtisas ve Karma OSB	3,47	3,69	3,93	4,18	4,45	4,73	5,03	5,03	5,03	3,52
Batı İstanbul	Beylikdüzü OSB	2,52	2,68	2,85	3,04	3,23	3,44	3,66	3,66	3,66	2,56
	İkitelli OSB	11,04	11,75	12,50	13,30	14,15	15,05	16,02	16,02	16,02	11,21
Körfez	Dudullu OSB	2,37	2,52	2,68	2,85	3,04	3,23	3,44	3,44	3,44	2,41
	BOSB Birlik OSB	0,9	0,96	1,02	1,08	1,15	1,23	1,31	1,31	1,31	0,91
	İstanbul Anadolu Yakası OSB	1,14	1,21	1,29	1,37	1,46	1,55	1,65	1,65	1,65	1,16
	Kimya Sanayiciler OSB	0,34	0,36	0,38	0,41	0,44	0,46	0,49	0,49	0,49	0,35
	İstanbul Deri OSB	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,22	0,22	0,15
	Taşıt Araçları Yan Sanayi İhtisas OSB	2,44	2,60	2,76	2,94	3,13	3,33	3,54	3,54	3,54	2,48
	Yalova Kompozit ve Kimya İhtisas Islah OSB	1,78	1,89	2,02	2,14	2,28	2,43	2,58	2,58	2,58	1,81
	Gebze Güzeller OSB	1,89	2,01	2,14	2,28	2,42	2,58	2,74	2,74	2,74	1,92
	Gebze Plastikçiler OSB	1,89	2,01	2,14	2,28	2,42	2,58	2,74	2,74	2,74	1,92
	Gebze OSB	8,47	9,01	9,59	10,20	10,86	11,55	12,29	12,29	12,29	8,60
	Dilovası OSB	12,96	13,79	14,67	15,61	16,61	17,67	18,80	18,80	18,80	13,16
	GEBKİM OSB	3,86	4,11	4,37	4,65	4,95	5,26	5,60	5,60	5,60	3,92
	Kocaeli-Gebze VI. (IMES) Makine İhtisas OSB	3,57	3,80	4,04	4,30	4,58	4,87	5,18	5,18	5,18	3,63
	Makine İhtisas OSB	8,04	8,55	9,10	9,68	10,30	10,96	11,67	11,67	11,67	8,17
Arslanbey OSB	2,22	2,36	2,51	2,67	2,85	3,03	3,22	3,22	3,22	2,25	

	Asım Kibar OSB	3,15	3,35	3,57	3,79	4,04	4,30	4,57	4,57	4,57	3,20
	Kocaeli Alikahya OSB	1,89	2,01	2,14	2,28	2,42	2,58	2,74	2,74	2,74	1,92
	Kocaeli Alikahya OSB	3,07	3,27	3,48	3,70	3,93	4,19	4,45	4,45	4,45	3,12
Kuzey Kırklareli	Kırklareli/Vize OSB	0,9	0,96	1,02	1,08	1,15	1,23	1,31	1,31	1,31	0,91
	Toplam	81,22	86,41	91,95	97,81	104,09	110,75	117,83	117,83	117,83	82,48

6.2.6. Turizm Su İhtiyacı Tahminleri

Marmara Havzası turizm su ihtiyacı tahminleri İller Bankası tarafından hazırlanan “İçme Suyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname” de yer alan maddeler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Havzada bulunan tüm tesislerin toplam yatak sayıları ve güncel doluluk oranları dikkate alınarak şartnamede belirtilen günlük yatak başı su ihtiyacı ile çarpılmış ve yıllık turizm su ihtiyacı hesaplanmıştır. Şartnamede belirtilen günlük yatak başı su ihtiyacı, turizm bölgesinin gelişmişliğine göre 250-600 lt/gün arasında değişiklik göstermektedir.

Gelecek yıl tahminlerini hesaplamak için mevcut yatak sayılarındaki artış, geçmiş gelişimleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Marmara Havzası’nda yer alan tüm illere ait T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı’nın verileri kullanılarak 2010-2021 yılları arasındaki oda sayıları ve yatak sayılarındaki artış oranı belirlenmiş ve bu artışın ortalaması gelecek yıl tahminlerini hesaplamak için kullanılmıştır. Buna göre belirlenen gelecek yıllar için turizm su ihtiyacı tahminleri Tablo 6.46 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 6.46 Turizm Su İhtiyacı Tahminleri (Projeksiyon)

İl	Su Tüketimi (hm ³ /yıl)								
	2021	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2075	2100
İstanbul	14,68	15,18	15,70	16,23	16,79	17,36	17,95	18,56	19,19
Tekirdağ	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16
Kırklareli	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Balıkesir	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22
Çanakkale	0,68	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80	0,83	0,86	0,89
Bursa	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,39
Kocaeli	0,76	0,79	0,82	0,84	0,87	0,90	0,93	0,96	1,00
Yalova	0,47	0,48	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61
Toplam	17,20	17,78	18,39	19,01	19,66	20,33	21,02	21,73	22,47

6.2.7. Ekosistem Su İhtiyacı Tahminleri

Doğal hayatın devamı için gerekli ekolojik su miktarını belirlemek için mevcut projelerde, projeye ait ÇED raporu, proje tanıtım dosyası veya ekosistem değerlendirme raporunda belirlenen miktarlar göz önüne alınmaktadır. Yeni projelerde ise son on yılın ortalama akımının %10'u veya Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tarafından belirlenmiş olan “En Düşük Akım Yöntemi” ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada ise gelecek ekosistem su miktarı, MPI modeli RCP 8.5 senaryosu kullanılarak alt havza için hesaplanan su miktarlarının %10'u olarak değerlendirilip hesaplanmıştır. Tablo 6.47 alt havza bazında gelecek ekosistem su miktarlarını göstermektedir.

Tablo 6.47 Alt Havza Bazında Ekosistem Su İhtiyaç Tahminleri (Projeksiyon)

Alt Havza	Model	Senaryo	Ekosistem Su İhtiyacı (hm ³ /yıl)			
			2021 - 2099	2021 - 2049	2050 - 2074	2075 - 2099
Biga Çayı	MPI	RCP 8.5	78,56	90,84	82,65	59,52
Gönen Çayı	MPI	RCP 8.5	87,48	97,30	98,26	93,90
İznik Gölü	MPI	RCP 8.5	41,68	43,86	40,77	36,66
Körfez	MPI	RCP 8.5	104,51	113,37	102,52	89,25
Ağva Deresi	MPI	RCP 8.5	156,90	180,90	172,48	176,64
Batı İstanbul	MPI	RCP 8.5	106,31	136,80	137,74	125,12
Kuzey Kırklareli	MPI	RCP 8.5	73,38	70,71	80,40	73,44
Kuzey Çanakkale	MPI	RCP 8.5	36,09	45,39	35,98	24,82
Toplam			684,90	779,16	750,80	679,35