T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜÇÜK AKARSU HAVZALARINDA HİDROENERJİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ İÇİN EN UYGUN MODELİN ARAŞTIRILMASI

İbrahim Halil DEMİREL

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Programı

Danışman

Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL

Ağustos, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜÇÜK AKARSU HAVZALARINDA HİDROENERJİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ İÇİN EN UYGUN MODELİN ARAŞTIRILMASI

İbrahim Halil DEMİREL tarafından hazırlanan tez çalışması 06.08.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ömer YÜKSEK, Üye
Karadeniz Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan GAZİOĞLU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇOŞAR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Uğur SERENCAM, Üye
Marmara Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL sorumluluğunda, tarafımca hazırlanan Küçük Akarsu Havzalarında Hidroenerji Potansiyelinin Belirlenmesi İçin En Uygun Modelin Araştırılması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

İbrahim Halil DEMİREL

Aileme

ve

fedakar eşime

TEŞEKKÜR

Kendisinin rehberliğinde çalışma fırsatı bulduğum, değerli görüş ve önerileri ile bana daima yol gösteren ve bu araştırmanın amacına ulaşması için gerekli kaynakları sağladığı için danışmanım Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL'e içten teşekkürlerimi sunuyorum. Tez İzleme Komitesi üyeleri olarak; tezime sağladıkları katkıdan dolayı Sayın Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCİOĞLU'na, Sayın Prof. Dr. Abdusselam ALTUNKAYNAK'a ve Sayın Dr. Öğr. Üye. Uğur SERENCAM'a sonsuz şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Araştırmam boyunca verdikleri destek ve cesaretlendirmelerinden dolayı, Erdal KESGİN, Mohsen Mahmoody VANNOLYA ve Mustafa Nuri BALOV'a çok müteşekkirim. Bu tezin oluşmasında saha çalışmalarında benden yardımlarını esirgemeyen değerli öğrencilerim Adem ÇETİN, Ahmet ÖZÜ, Ali AKIN, Özlem ÖZLEYEN ve Müteren DURAK'a çok teşekkür ederim. Doktora tez çalışmamın tüm aşamalarında sağladığı destek ve yardımı için başta Dr. Öğr. Üye. Serhat DEMİRHAN'a ve Kozluk MYO mesai arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Ayrıca tez yazımı süresi boyunca bana çalışma ortamı sağlayan Dr. Öğr. Üye. İlhan ÇİÇEK'e teşekkür ve sevgilerimi sunarım. Dr. Öğr. Üye. Ramazan TEKİN'e YSA modellesinde verdiği katkılardan dolayı teşekkür ediyorum.

Tanıştığım ilk günden beri hayatımda sevgi ve sabırla beni desteklemiş, maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen değerli dostum Dr. Öğr. Üye. Halim GÜNER'e sevgilerimi ve minnettarlığımı ifade etmek istiyorum.

Hayatımın her döneminde koşulsuz sevgi ve sonsuz sabırları ile, doktora sürecinde de desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme, onları bu süreç içinde aksattığımdan dolayı özürümü beyan edip sonsuz minnettarlığımı sunuyorum. Son dönemde hayatımda yer eden eşim Ceylan DEMİREL'e bu akademik yolculukta bana gösterdiği değerli moral ve sevgi için teşekkür ederim.

İbrahim Halil DEMİREL

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ ix
KISALTMA LİSTESİ x
ŞEKİL LİSTESİ xi
TABLO LİSTESİ xiv
ÖZET xvii
ABSTRACT xix
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 6
1.3 Hipotez 7
2 TÜRKİYE'NİN HİDROENERJİ PROFİLİ 8
2.1 Küçük Hidroelektrik Santraller 8
2.2 Küçük Hidroelektrik Santrallerin Avantajları ve Dezavantajları 9
2.3 Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Profili 10
2.4 Türkiye'nin Enerji Tüketimi ve Talebi 14
2.5 Türkiye'de Hidroenerjinin Kullanımı 16
2.6 Türkiye'de Küçük Hidroelektrik Potansiyel 18
3 ÇALIŞMA ALANI 21
3.1 Seçilen Havza ve Veriler 21
3.2 Seçilen Havzanın Özellikleri 22
3.2.1 Coğrafya Durumu 22
3.2.2 İklim 22
3.2.3 Bitki Örtüsü ve Arazi Durumu 24
3.2.4 Su Kaynakları 25
3.3 Veri Envanteri 30
3.3.1 Topografik Veriler 30
3.3.2 Hidrometeorolojik Veriler 30
3.3.3 Hidrometrik Veriler 31
4 EKSİK VERİLERİN TAMAMLANMASI 32
4.1 Yapay Sinir Ağları 32
4.2 YSA'nın Genel Tanımı 33

4.3 YSA'nın Oluşumu 36
4.4 YSA'nın Eğitimi ve Teste Tabi Tutulması 36
4.5 YSA'nın Çalışma Alanına Uygulanması 37
5 HİDROLOJİK MODEL 40
5.1 Giriş 40
5.2 Kavramsal Yağış Akış Modelleri 47
5.3 Hidrolojik Modellerin Kalibrasyonu 49
5.4 Hidrolojik Model Adımları 50
5.5 Hidrolojik Model Seçimi 50
5.5.1 Havza Tanımlanması 52
5.5.2 Arazi Kullanımı 53
5.5.3 Toprak Dağılımı 54
5.5.4 SCS-Eğri Numarası-Kayıp Modeli 55
5.5.5 Clark Birim Hidrograf Metodu 57
5.5.6 Baz Akım 59
5.5.7 Model Kalibrasyonu ve Doğrulanması 59
5.5.8 Akım ve Hidrometeorolojik Verileri 60
5.5.9 Referans Havza (Proxy Basin) Modeli 61
5.5.10 AGİ'si Olmayan Alt Havzalar İçin Yağış-Akış İlişkisi 62
6 HİDROMETRİK ÖLÇÜMLER 63
6.1 Giriş 63
6.2 Hız Ölçme Esasına Dayanan Yöntemler 63
6.3 Yöntemlerin Uygulanması 67
6.3.1 Yüzgeçler Yönteminin Uygulanması 67
6.3.2 Pitot Tüpü Yönteminin Uygulanması 69
7 HİDROENERJİ POTANSİYEL BELİRLEME YÖNTEMLERİ 71
7.1 Giriş 71
7.2 Hidroenerji Potansiyel Belirlenme Yöntemlerinin Sınıflandırılması 73
7.2.1 Brüt Hidroenerji Potansiyel 73
7.2.2 Teknik Hidroenerji Potansiyel 74
7.2.3 Ekonomik Hidroenerji Potansiyel 74
7.2.4 İşletilebilir Hidroenerji Potansiyel 75
7.3 Brüt Hidroenerji Potansiyel Tahmin Yöntemleri 76
7.3.1 Hipsografik Eğri Yöntemi 76

7.3.2 Düşü-Akım Diyagramı Yöntemi 79
7.3.3 Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi 80
7.4 Brüt Hidroenerji Potansiyel Tahmin Yöntemlerinin Uygulanması 84
8 KHES TASARIMI VE MALİYET ANALİZİ 85
8.1 Giriş 85
8.2 Hidrolik Türbinler 87
8.3 Jeneratör ve Transformatör 89
8.4 Küçük Hidroelektrik Santral Projelerinin Ekonomik Analizi 89
8.4.1 Yatırım Maliyetleri 89
8.4.2 Yıllık Maliyetler 90
8.5 KHES Projelerinin Geliştirilmesi için Değerlendirme Aracı 91
8.5.1 SMART Mini Idro Tool, Teknik-Ekonomik Fizibilite Analiz Aracı. 91
8.6 Smart Mini Idro Tool ile Çalışma Alanın Maliyet Analizi 92
9 BULGULAR VE DEĞERLENDİRME 95
9.1 Genel 95
9.2 Eksik Veri Tamamlanmasının Sonuç ve Değerlendirilmesi 95
9.3 Hidrolojik Modelin Sonuç ve Değerlendirilmesi 98
9.3.1 Sayısal Yükseklik Modeli 98
9.3.2 Arazi Kullanımı 110
9.3.3 Toprak Dağılımı 121
9.3.4 Yağış Enterpolasyonu 123
9.3.5 HMM-HMS Havza Parametreleri ve Alt Havza ile Karşılaştırma 124
9.3.6 Hidrolojik Model Kalibrasyonu ve Doğrulanması 125
9.3.7 Ölçümü Olmayan Alt Havzalar için Simülasyon Sonuçları 128
9.4 Hidrometrik Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi 129
9.4.1 Derelere ait Yüzey Hızı Tahminleri ve Debi Değerleri 129
9.5 Brüt Hidroenerji Potansiyel Sonuçları ve Değerlendirilmesi 138
9.5.1 HE ve DA Yöntemleri ile BHP Değerlerinin Hesabı 139
9.5.2 Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi ile BHP Değerlerinin Hesabı 144
9.5.3 BHP Yöntemleri ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi 145
9.6 KHES Projeleri için Maliyet Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi 148
10 SONUÇ VE ÖNERİLER 162
KAYNAKÇA 165
A HİDROMEKTRİK ÖLÇÜM TABLOLARI 176

B YÜKSEKLİK-ALAN GRAFİKLERİ **232**
C ALT HAVZALARA AİT MALİYET ANALİZ TABLO VE GRAFİKLERİ **237**
D RESMİ İZİNLER **253**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **255**

SİMGE LİSTESİ

Q	Debi (m^3/s
H	Düşü (m)
P	Güç (kW)
η_J	Jeneratör Verimi (boyutsuz)
A_i	Kesit Alanı (m^2)
kW	Kilovat (watt saat)
R^2	Korelasyon Katsayısı
MWh	Megavat Saat
l	Uzunluk (m)
V_i	Ortalama Hız (m/s)
h	Su Sutünü Yüksekliği (m)
γ	Suyun Özgül Ağırlığı (kN/m^3)
TWh	Teravat Saat
η	Toplam Verim (boyutsuz)
η_{TR}	Transformatör Verimi (boyutsuz)
η_T	Türbin Verimi (boyutsuz)
g	Yer Çekim İvmesi (m/s^2)
V_s	Yüzey Hızı (m/s)
t	Zaman (s)

KISALTMA LİSTESİ

AGİ	Akış Gözlem İstasyonu
BHP	Brüt Hidroelektrik Potansiyel
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CN	Eğri Numarası
CORINE	Coordination of Information on the Enviroment
DA	Düşü-Akım
DSE	Akış Süreklilik Eğrisi
DSİ	Devlet Su İşleri
EIA	Energy Information Administration
HE	Hipsografik Eğri
HEC-HMS	The Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System
HES	Hidroelektrik Santral
HM	Hidrolojik Model
HMM-HMS	Hidrolojik Mühendislik Merkezi Hidrolojik Modelleme Sistemi
HMS	Havza Modelleme Sistemi
IAEA	International Atomic Energy Agency
IEA	International Energy Agency
KHES	Küçük Hidroelektrik Santral
NSE	Nash–Sutcliffe Verimliliği
SCS	Soil Conservation Service
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
WMS	Watershed Modeling System
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Türkiye'nin toplam birincil enerji arzı, 1990-2018 (EIA) 12
Şekil 2.2 Türkiye'nin kaynağına göre elektrik üretimi, 1990-2018 (EIA) 13
Şekil 2.3 Türkiye'nin toplam elektrik tüketimi, 1990-2018 (EIA) 134
Şekil 2.4 Türkiye'nin sektörlere göre elektrik tüketimi, 1990-2018 (EIA) 15
Şekil 3.1 Batman ili arazi kullanım sınıfları ve oranları 24
Şekil 3.2 Batman ili arazi kullanım oranları 25
Şekil 3.3 Çalışma alanı 258
Şekil 3.4 Batman iline ait yağış verisinin mevcut durumu 31
Şekil 4.1 Bir yapay sinir hücresinin şematik gösterimi 34
Şekil 5.1 Hidrolojik sistem ve model bilşenleri 43
Şekil 5.2 Hidrolojik model örneği 43
Şekil 5.3 Kayıpların görsel olarak ifade edilişi 46
Şekil 5.4 Kavramsal yağış-akış modellerinin sınıflandırılması 48
Şekil 5.5 Hidrolojik modelin kalibrasyonu 49
Şekil 5.6 Türkiye'ye ait CORINE-2012 arazi kullanımın haritası 54
Şekil 5.7 Çalışma alanına ait büyük toprak grubu haritası ve hidrolik toprak grubu 55
Şekil 5.8 Thiessen Poligonu dağılımı 61
Şekil 6.1 Bir akarsu kesitinde debinin hesaplanması 64
Şekil 6.3 Dere enkesit alanın hesaplanmasının şekilsel gösterimi 68
Şekil 6.4 Yüzgeçler Yöntemi ile yüzey hızı ve enkesit belirleme çalışmaları 69
Şekil 6.5 Pitot Tüpü ile ölçüm alınan noktalar 69
Şekil 6.6 Pitot Tüpü ölçümü, su seviyesi belirleme ve enkesit belirleme çalışmaları 70
Şekil 7.1 Hidroenerji potansiyel geliştirme metodolojisi 72
Şekil 7.2 Dünyanın hidroenerji potansiyeli (Eurelectric-1997) 76
Şekil 7.3 Hipsografik eğri grafiği ve onunla ilgili değişkenler 77
Şekil 7.4 Farklı standart hipsografik eğriler 78
Şekil 7.5 Düşü-Akım diyagramı 79
Şekil 7.6 Debi süreklilik eğrisi 82
Şekil 7.7 Güç süreklilik eğrisi 83
Şekil 8.1 Tipik bir KHES temel bileşenleri 86

Şekil 8.2 Kaplan türbin şeması 88

Şekil 9.1 Batman-Beşiri istasyonuna ait gözlenen değerler (1985-1989 ve 2014-2017) ile tahmin değerlerine ait (1990-2013) saçılma diyagramları.....97

Şekil 9.2 Batman-Kozluk istasyonuna ait gözlenen değerler (1985-1989 ve 2014-2017) ile tahmin değerlerine ait (1990-2013) saçılma diyagramları.....97

Şekil 9.3 Batman-Sason istasyonuna ait gözlenen değerler (1985-1989 ve 2014-2017) ile tahmin değerlerine ait (1990-2013) saçılma diyagramları.....98

Şekil 9.4 HD alt havzasının sayısal yükseklik haritası 100

Şekil 9.5 SD alt havzasının sayısal yükseklik haritası.....101

Şekil 9.6 ŞD alt havzasının sayısal yükseklik haritası.....102

Şekil 9.7 MD alt havzasının sayısal yükseklik haritası.....103

Şekil 9.8 ZD alt havzasının sayısal yükseklik haritası.....104

Şekil 9.9 KD alt havzasının sayısal yükseklik haritası 105

Şekil 9.10 AD alt havzasının sayısal yükseklik haritası 106

Şekil 9.11 RD alt havzasının sayısal yükseklik haritası 107

Şekil 9.12 BD alt havzasının sayısal yükseklik haritası 108

Şekil 9.13 ÇD alt havzasının sayısal yükseklik haritası 109

Şekil 9.14 Seçilen havzalara ait arazi kullanım raster haritası (CORINE-2012) .111

Şekil 9.15 Arazi kullanımın yüzdelik olarak dağılımı 111

Şekil 9.16 Çalışma alanında yer alan büyük toprak gruplarının dağılımı.....122

Şekil 9.17 Toprakların yapısı ve büyük toprak gruplarına karşılık gelen hidrolojik toprak grubu.....123

Şekil 9.18 Başköy Deresine ait kalibrasyon sonuçları (2005-2008) 126

Şekil 9.19 Başköy Deresine ait doğrulama sonuçları (2009-2011) 126

Şekil 9.20 Çelebiyan Deresine ait kalibrasyon sonuçları (2005-2008) 127

Şekil 9.21 Çelebiyan Deresine ait doğrulama sonuçları (2009-2011) 128

Şekil 9.22 Çelebiyan Deresine ait AGİ (D26A012) 136

Şekil 9.23 Anlık debi ölçümleri ile model sonuçlarının karşılaştırılması 138

Şekil 9.24 Alt havzalara ait Hipsografik Eğriler (a. Aşağıyankılı Havzası, b. Başköy Havzası, c. Çelebi Havzası, d. Han Havzası, e. Kulluk Havzası, f. Merga Havzası, g. Rapka Havzası, h. Sevay Havzası, i. Sevek Basin, j. Zugut Basin) 140

Şekil 9.25 Alt havzalara ait DSE'ler (a. Aşağıyankılı Deresi, b. Başköy Deresi, c. Çelebi Deresi, d. Han Deresi, e. Kulluk Deresi, f. Merga Deresi, g. Rapka Deresi, h. Sevay Deresi, i. Sevek Deresi, j. Zugut Deresi) 145

Şekil 9.26 Başköy Deresi KHES'ine ait fayda ve maliyet döküm grafiği 152

Şekil 9.27 Başköy Deresi KHES'ine ait kümülatif nakit akış grafiği.....153

Şekil 9.28 Çelebiyan Deresi KHES'ine ait fayda ve maliyet döküm grafiği 156
Şekil 9.29 Çelebiyan Deresi KHES'ine ait kümülatif nakit akış grafiği 157

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Türkiye'nin hesaplanmış brüt hidroelektrik potansiyel tahmini 3
Tablo 2.1 Küçük hidroelektrik santrallerin avantajlar ve dezavantajları 10
Tablo 2.2 Türkiye'nin kaynağına göre elektrik üretimi (KTEP), 1990-2018 (EIA) 13
Tablo 2.3 Türkiye'nin nüfus, enerji ve ekonomi tahmini.....16
Tablo 2.4 Türkiye'deki ekonomik açıdan uygulanabilir hidroelektrik potansiyelinin durumu 17
Tablo 2.5 DSİ ve Bakır'a göre türkiye'nin yıllık hidroelektrik potansiyeli.....18
Tablo 2.6 Türkiye'de hidroelektrik enerjinin tasarım kapasitesine göre dağılımı .19
Tablo 2.7 Hidroelektrik santrallerin kapasite sınıflandırılmasına göre dağılımı ...19
Tablo 3.1 Fırat-Dicle havzası su potansiyeli (2013-2018).....21
Tablo 3.2 1959-2018 ölçüm periyoduna göre Batman iline ait meteorolojik veriler 23
Tablo 3.3 Batman iline ait yeraltı su potansiyeli.....26
Tablo 3.4 Batman iline ait göletler 26
Tablo 3.5 Batman ilinde bulunan baraj ve regülatörler 27
Tablo 3.6 Batman ilindeki çayların teknik özellikleri.....27
Tablo 3.7 Batman ilindeki küçük akarsular 28
Tablo 3.8 Batman ilindeki meteoroloji istasyonlarının teknik özellikleri 31
Tablo 4.1 İstasyonlar arasındaki kolerasyon katsayıları (R^2) 38
Tablo 5.1 Literatürde yer alan bazı hidrolojik modeller ve özellkleri.....42
Tablo 5.2 Arazi kullanım haritasının teknik özellikleri (CORINE-2012) 53
Tablo 5.3 Çeşitli arazi kullanımı türleri için önerilen CN değerleri.....57
Tablo 5.4 HEC-HMS giriş değerleri ve alt havza parametreleri.....62
Tablo 6.1 Dere yatağı ve akış şekline göre düzeltme katsayısı.....65
Tablo 6.2 Ortalama kesit hızı ile yüzey hızı arasındaki ilişki 66
Tablo 7.1 Hipsometrik değerler ve bunlara karşılık gelen jeolojik aşama ve eğri şekilleri.....77
Tablo 9.1 İstasyonlar arasında tahmin edilen tüm değerlerin korelasyon katsayıları (R^2).....96
Tablo 9.2 Çalışma alanı ait sayısal yükseklik modelinin (SYM) özellikleri.....99
Tablo 9.3 HD alt havzasının morfolojik özellikleri.....100
Tablo 9.4 SD alt havzasının morfolojik özellikleri 101

Tablo 9.5 ŞD alt havzasının morfolojik özellikleri 102
Tablo 9.6 MD alt havzasının morfolojik özellikleri 103
Tablo 9.7 ZD alt havzasının morfolojik özellikleri 104
Tablo 9.8 KD alt havzasının morfolojik özellikleri 105
Tablo 9.9 AD alt havzasının morfolojik özellikleri 106
Tablo 9.10 RD alt havzasının morfolojik özellikleri 107
Tablo 9.11 BD alt havzasının morfolojik özellikleri 108
Tablo 9.12 ÇD alt havzasının morfolojik özellikleri 109
Tablo 9.13 Çalışma alanında kullanılan CORINE arazi kullanım kodları 112
Tablo 9.14 HD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri 113
Tablo 9.15 SD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri 114
Tablo 9.16 ŞD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri 114
Tablo 9.17 MD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri 115
Tablo 9.18 ZD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri 116
Tablo 9.19 KD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri 117
Tablo 9.20 AD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri 118
Tablo 9.21 RD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri 118
Tablo 9.22 BD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri 119
Tablo 9.23 ÇD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri 120
Tablo 9.24 Havzaya ait büyük toprak grupları ve miktarı 121
Tablo 9.25 Tüm alt havzlar için Thiessen Poligon ağırlıklarının etki değerleri ..124
Tablo 9.26 Ölçümü olmayan alt havzalara ait similasyon pik sonuçları 129
Tablo 9.27 Yüzgeçler Yöntemiyle ölçülmüş anlık yüzeysel hızlar 130
Tablo 9.28 Pitot Tüpü yöntemiyle ölçülmüş anlık hızlar 131
Tablo 9.29 Derelere ait ortalama kesit alanları 131
Tablo 9.30 Yüzgeçler Yöntemiyle ölçülmüş anlık debi değerleri.....132
Tablo 9.31 Pitot Tüpü Yöntemiyle ölçülmüş anlık debi değerleri 132

Tablo 9.32 Başköy ve Çelebiyan Deresine ait anlık ölçülmüş hız, alan ve debi değerleri 134

Tablo 9.33 Başköy ile Çelebiyan Deresine ait anlık ölçülmüş debi değerleri ile AGİ değerlerinin karşılaştırılması.....135

Tablo 9.34 Yüzgeçler ve Pitot Tüpü Yöntemleri yardımıyla elde edilen anlık debi değerlerinin ortalaması.....137

Tablo 9.35 Çelebiyan Deresi ile Başköy Deresine ait akım verileri.....137

Tablo 9.36 Tüm alt havzalara ait Hipsometrik İntegral (HI) değerleri 141

Tablo 9.37 HE ve DA Yöntemleri için, Yüzgeçler debi sonuçlarına göre BHP değerleri 142

Tablo 9.38 HE ve DA Yöntemleri için, Pitot Tüpü debi sonuçlarına göre BHP değerleri 143

Tablo 9.39 HE ve DA Yöntemleri için, HM debi sonuçlarına göre BHP değerleri 143

Tablo 9.40 Başköy ve Celebiyan Dereleri için, dört farklı debi değerine göre BHP değerleri 144

Tablo 9.41 DSE Yöntemi için, HM ve AGİ debi sonuçlarına göre BHP değerleri144

Tablo 9.42 Tüm dereler için cebri boru tasarım parametreleri 149

Tablo 9.44 Çelebiyan Deresi'ne ait KHES için maliyet tablosu.....155

Tablo 9.45 Tüm dereler için maliyet analiz tablosu 158

ÖZET

Küçük Akarsu Havzalarında Hidroenerji Potansiyelinin Belirlenmesi İçin En Uygun Modelin Araştırılması

İbrahim Halil DEMİREL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL

Endüstrileşmeyle birlikte, insan gücüyle yapılan işler büyük miktarlarda fosil yakıt enerjisi kullanarak makinelerle yapılmaya başlanmış olup bu da büyük bir miktarda enerji ihtiyacı oluşturmuştur. Bu küresel enerji tüketimi, nehir tipi hidroelektrik projeleri başta olmak üzere alternatif enerji kaynaklarını keşfetme ihtiyacını doğurmuştur. Türkiye'de küçük akarsulardan yararlanarak hidroelektrik enerji üretimi henüz istenilen seviyeye ulaşmamıştır. Hidroenerji, suyun potansiyel enerjisinin başta kinetik, daha sonra mekanik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen bir enerji tipidir. Herhangi bir akarsu kaynağı üzerinde bir hidroelektrik santral projesi tasarlandığında, projelendirmede kullanılacak en önemli iki parametre; akarsuyun debisi ve düşüsüdür. Hidroenerji potansiyeli topografya ve hidrolojinin bir fonksiyonudur. Topografyadan yükseklik, hidrolojiden de debi elde edilerek hidroenerji potansiyeli belirlenebilir. Bu tez çalışmasının temel amacı, Fırat-Dicle havzasında yer alan Batman alt havzasında hidroelektrik enerji üretiminin istenilen düzeyde artırılabilmesini sağlamak ve yerel olarak uygulanabilecek potansiyel elektrik üretimini tahmin etmek için basitleştirilmiş bir yöntem sunmaktır. Bu çalışmada, Hidrolojik

Modelde (HM) kullanılmak üzere üç adet yağış istasyonun eksik günlük yağış verileri Yapay Sinir Ağı (YSA) Yöntemiyle tahmin edilmektedir. Daha sonra Batman ili alt havzası üzerinde Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) bulunmayan sekiz adet küçük akarsu üzerinde, havza sınırı ve drenaj ağı Havza Modelleme Sistemi (HMS) (Watershed Modeling System (WMS)) tarafından hazırlanıp Hidrolojik Mühendislik Merkezi Hidrolojik Modelleme Sistemi'ne (HMM-HMS) (The Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modelling System (HEC-HMS)) aktarılmıştır. Simülasyon çalışmalarından elde edilen, modelin kalibrasyon (Basköy NSE = 87.0%, Celebiyan NSE = 87.40%) ve doğrulama (Basköy NSE = 83.70%, Celebiyan NSE = 81.90%) periyotları için ölçülmüş havza akım ve pik akım değerlerinin iyi bir şekilde tahmin edilebildiğini göstermektedir. HMM-HMS modeli yardımıyla, ölçülen Başköy ve Çelebiyan Derelerine ait parametrelerin kalibrasyon sonuçları, çalışma alanındaki ölçümü olmayan sekiz adet akarsuya aktarılmış olup bu akarsuların akımları simüle edilerek NSE ve BHH kriterleri ile değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca modelden elde edilen debi değerleri, Yüzgeçler ve Pitot Tüpü Yöntemleri ile ölçülen hız değerlerine dayanarak hesaplanan debi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra çalışma alanındaki sekiz adet alt havza için Brüt Hidroelektrik Potansiyel (BHP), Hipsografik Eğri (HE) ve Düşü-Akım (DA) Diyagramları Yöntemleriyle hesaplanmakta olup hidroelektrik fizibilite analizi için Debi Süreklilik Eğrisi (DSE) kullanılmıştır. Sonuç olarak bu çalışma sonucunda göz önüne alınan havzalardaki akarsular için 15 ila 35 m'den daha yüksek düşülere sahip KHES'lerin yapılması durumunda maliyetlerini 2 ila 19 yıl aralığında finanse edeceği belirlenmiştir. Ayrıca bir akarsu havzasının hidroelektrik potansiyelinin, bir CBS çerçevesi içinde bir dijital yükseklik modeli, akarsu ağı verileri ve HEC modeli gibi bir hidrolojik model kullanılarak doğru bir şekilde değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hidroenerji, hidrolojik model, hipsografik eğri, düşü-akım, debi süreklilik eğrisi

ABSTRACT

Investigation of the Optimal Method for Determining Hydropower Potential of Small Stream Basins

İbrahim Halil DEMİREL

Department of Civil Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL

With industrialization, people have mechanized their work by using large amounts of fossil fuel energy, and this situation has created a large amount of energy need. Global energy consumption has triggered the need to explore alternative energy sources, especially river-type hydropower projects. Hydroelectric power generation in Turkey benefiting from small streams have not yet reached the desired level. Hydroelectric energy is the type of energy provided by converting the potential energy of water into kinetic energy first and then into mechanical energy. When a hydroelectric power plant project is designed on any river source, the two most important parameters to be used in project design are; it is the flow and head of the stream. Hydropower potential is a function of topography and hydrology. The head of the water from the topography and the flow from the hydrology are calculated and the power is calculated. The aim of this study is to provide that hydroelectric energy production can be increased at the desired level in the Batman sub-basin and will offer a simplified method to estimate the potential power generation that can be applied locally. In this study, missing daily precipitation data of three precipitation stations to be used in Hydrological Model

(HM) are estimated by Artificial Neural Network (ANN) Method. Then, the basin boundary and drainage network were prepared by the Watershed Modeling System (WMS) and transferred to the Hydrological Engineering Center Hydrological Modeling System (HEC-HMS) on eight small rivers that do not have a Flow Observation Station (FOS) on the sub-basin of Batman province. The simulated values of the HM flows are evaluated using the Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) and Relative Volume Error (RVE) criteria. Calibration (Baskoy NSE= 84%, RVE= - 24%; Celebiyan NSE= 72%, RVE= 9.7%) and verification (Baskoy NSE= 83%, RVE= - 14%; Celebiyan NSE= 71%, RVE=0.65%) shows that the measured basin flow and peak flows for periods can be estimated well possible. Calibration results of the measured parameters of Baskoy and Celebiyan Streams with the HEC-HMS model were transferred to eight unmeasured streams in the study area and the flows of these streams were simulated and evaluated with NSE and BHH criteria. In addition, the flow values obtained from the model were compared with the flow values calculated based on the velocity values measured by Floats and Pitot Tube Methods. Then, Gross Hydroelectric Potential (GHP), Hypsographic Curve (HC), and Head-Flow (HF) Diyagram Methods for sub-basins were calculated. Flow Duration Curve (FDC) was used for the hydroelectric feasibility analysis. As a result of this study, it has been determined that in the case of the construction of SHP with a head of 15 to 35 m for the rivers in the considered basins, their costs will be financed in the range of 2 to 19 years. It also the study revealed that the hydropower potential of a river basin can be correctly assessed by employing a digital elevation model, stream network data, and a hydrological model, such as the HEC model, within a GIS framework.

Keywords: Hydropower, hydrological model hypsographic curve, head-flow, flow duration curve

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinin başta kinetik, daha sonra mekanik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen bir enerji türüdür. Hidroelektrik yenilenebilir bir enerji olup hava kirliliğinin azaltılmasına ve küresel ısınmanın yavaşlamasına katkıda bulunmaktadır. Hidroelektrik; uzun ömürlü, düşük işletme ve bakım maliyeti olan bir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik enerjisinin yatırım maliyeti yüksek olmasına karşın, oldukça düşük üretim maliyetlerine sahip olduklarından uzun vadede değerlendirme yapıldığında ekonomik olmaktadır.

Türkiye, Küçük Hidroelektrik Santral (KHES) geliştirme konusunda büyük bir potansiyele sahip olmasına karşın, KHES'lerin yeterince gelişmemiş olmasının en önemli sebebi, teşvik eksikliği ve mevcut potansiyelin belirlenmemiş olmasıdır. Su kaynaklarının planlanması için debi en önemli parametrelerden biridir. Fakat Türkiye'de küçük akarsular üzerinde Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) bulunmadığından bu akarsuların akım değerleri bilinememektedir.

Ölçüm yapılmayan ve/veya yapılamayan akarsularda debi belirlemek için yerinde gözlem yapılması, benzer özellikli yakın havza verilerinin kullanılması, hidrolojik model simülasyonu, uzaktan algılama uygulamaları, entegre edilmiş meteorolojik ve hidrolojik model simülasyonu gibi yöntemler kullanılmaktadır [1].

Bu tez çalışmasında, çalışma alanında bulunan üç adet yağış istasyonun eksik olan günlük yağış verileri Hidrolojik Modelde kullanılmak üzere Yapay Sinir Ağı (YSA) Yöntemiyle tahmin elde edilmiştir. Daha sonra Batman alt havzasının üzerinde akım gözlem istasyonu bulunmayan sekiz adet küçük akarsu üzerinde, havza sınırı ve drenaj ağı Havza Modelleme Sistemi (HMS) tarafından hazırlanıp Hidrolojik Mühendislik Merkezi Hidrolojik Modelleme Sistemi'ne (HMM-HMS) aktarılmıştır.

HMM-HMS modeli ile, ölçüm değerleri bulunan Başköy ve Çelebiyan Derelerine ait kalibrasyon sonuçları, ölçümü olmayan sekiz adet akarsuya aktarılmış olup bu akarsulardaki akımlar simüle edilmiş ve Nash Sutcliffe Verimliliği (NSE) ve Bağıl Hacim Hatası (BHH) kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

Bu çalışma da modelden elde edilen akım değerlerinin, Yüzgeçler ve Pitot Tüpü Yöntemleri kullanılarak ölçülen hız değerlerine göre hesaplanan debi değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışma alanındaki sekiz adet alt havza için Hipsografik Eğri (HE) ve Düşü-Akım (DA) Yöntemleriyle hesaplanan Brüt Hidroelektrik Potansiyeli (BHP) değerleri elde edilmiş ve hidroelektrik fizibilite analizi içinde Debi Süreklilik Eğrisi (DSE) kullanılmıştır. Elde edilen tüm bu verilerden hareket edilerek çalışma alanı için KHES proje önerilerinde bulunulmuştur.

Herhangi bir akarsu kaynağı üzerinde bir hidroelektrik santral projesi tasarlandığında, projelendirmede kullanılacak en önemli iki parametre; akarsuyun debisi ve düşüsüdür. Bu parametrelere bağlı olarak hidroenerji belirlenmektedir. Hidroenerji potansiyeli topografya ve hidrolojinin bir fonksiyonudur. Topografyadan yükseklik, hidrolojiden de debi tespit edilerek hidroenerji belirlenmektedir.

Brüt hidroenerji potansiyel, ülke sınırları içerisindeki tüm lokasyonlarda meydana gelen bütün doğal akışlar, herhangi bir enerji kaybı olmadan (deniz seviyesine kadar) mevcut kullanılabilecek yıllık enerji olarak tanımlanır [2].

Brüt hidroelektrik potansiyel küresel olarak aşağıdaki denklem (1.1) kullanılarak hesaplanır.

$$E_g = m * g * H \tag{1.1}$$

Burada E_g Brüt hidroelektrik potansiyel (watt/saat), m Suyun kütlesi (kg), g Yerçekim ivmesi (m/s^2), H Su seviyeleri arasındaki fark (m).

Akarsuların teorik hidroelektrik enerjisinin belirlenmesine yönelik güncel literatürde önerilen farklı yöntemler bulmaktadır. Bunların bazıları: Hipsometrik

Eğriler (HE) Yöntemi, Düşüm-Akım (DA) Diyagramları Yöntemi, Debi-Süreklilik Yöntemi (DSE), ardışık akım öteleme yöntemi ve enerji ağacı gibi yöntemlerdir.

Türkiye'nin hidroenerji potansiyeliyle ilgili pek çok yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları yapılmıştır. Bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin kuramsal üst sınırını gösteren brüt su gücü potansiyeli, mevcut düşü ve ortalama akışlılıktaki bir senede gelen akımın oluşturduğu su gücü potansiyelini ifade etmektedir. Bundan dolayı brüt su gücü potansiyeli, bölge topografyası ve hidrolojisinin fonksiyonu olmaktadır [3].

Türkiye'de brüt hidroelektrik enerji potansiyelinin tahmini için yapılan bazı çalışmalar aşağıda Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 Türkiye'nin hesaplanmış brüt hidroelektrik potansiyel tahmini

Araştırmacı	Yıl	Kullandığı istasyon sayısı	Brüt hidroelektrik potansiyel (TWh)	
			Hipsografik Eğri	Düşü Akım
BM, AEK [4]	1955	83	537	-
DSİ [5]	1959	105	185	-
DSİ [5]	1960	102	177	-
Öziş [6]	1961	98	498	-
DSİ-Öziş [7]	1965	229	447	433
Öziş [8]	1966	518	449	436
Contürk ve Bayar [9]	1969	560	519	-
Öziş [10]	1971	660	-	435
Erke [11]	1978	-	-	455
Öziş ve vd. [12]	1985	-	-	433
Baran ve vd. [13]	1987	1467	-	442
DSİ [14]	2004	-	-	433
Balat [15], [16]	2005	-	-	433
DSİ [3]	2008	-	-	433

Alashan ve vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada Murat, Çoruh, Kızılırmak ve ABD'nin Hudson nehirlerinin hidroenerji miktarını belirlemek üzere HE, DA ve Enerji Ağacı (EA) Yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar tartışılmış ve DA

Yönteminin HE Yönteminden daha gerçekçi sonuçlar verdiğini söylemişlerdir [17]–[19].

Debi Süreklilik Eğrisi (DSE), nehir tipi hidroelektrik planlaması ve tasarımı için temel araçtır. DSE, belirli bir konumda belirtilen akış debilerinin aşıldığı zamanın yüzdesini temsil eder. Bu genellikle akış hızının o akışa eşit veya daha büyük olduğu zaman yüzdesine karşı bir grafik olarak sunulur.

Heitz (1981), su gücü uygulamalarının hidrolojik analiz kısımlarının ana esaslarını araştırmış, özellikle debisi olmayan düzensiz akarsulardaki debi süreklilik eğrilerinin tahmini üzerinde durmuştur. Düzenlemeye tabi tutulmuş akarsuların bulunduğu bölgelerde, verisi bulunmayan yerlerdeki DSE'nin tahmini üzerinde de durmuştur. Ayrıca DSE kullanılarak, güç ve enerji hesaplamalarının nasıl yapıldığını da araştırmıştır [20].

Quimpo vd. (1983), Filipinler'de, akış verisi bulunmayan, küçük ölçekli hidroelektrik potansiyelli bölgelerde, mevcut olan su miktarının tahmini için bir bölgeselleştirme tekniği kullanmışlardır. Eksponansiyel ilişkiler ile regresyon vasıtasıyla bölgeselleştirilmiş harita ve regresyon denklemi tahminleri ile debi süreklilik eğrisini sentezleyerek verisi bulunmayan bir alana ait değerlerin bulunmasında kullanmışlardır [21].

Cığızoğlu (1997), DSE'nin kullanım alanları ve önemi üzerinde durmuş, DSE'i etkileyen bileşenleri araştırmıştır. Ayrıca DSE'nin akım modelleri ile ilgisini araştırmış ve bir model sunulduğunda süreklilik çizgisinin elde edilebilmesi için yeni algoritmalar geliştirmiş ve daha sonra DSE'nin analitik yoldan elde edilmesi ile ilgili yöntemler geliştirmiştir [22].

Yu ve Yang (2000), Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) olmayan bölgelerde, yağış-akış modelinin kalibrasyonu için bir öneride bulunmuşlardır. Bu öneri iki ana bileşenden oluşmaktadır. Birincisi, AGİ'si olmayan bölgelerde DSE'nin sentezlenebilmesi için bölgesel analiz metodunun geliştirilmesi, ikincisi ise model kalibrasyonu için sentezlenmiş DSE'lerden faydalanılmasıdır. Sonuç olarak, ölçülememiş alanlarda model kalibrasyonu için bölgesel DSE ve stratejisinin çalışma alanında iyi performanslı olduğunu göstermişlerdir [23].

Yanık (2004), doğal akışlı hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi için küme analiz yöntemini kullanarak bölgesel DSE'nin kullanabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan küme analiz yöntemleri ile bölgesel ölçekte geliştirilen DSE modeli esas alınarak yine bölgesel akışlı hidroelektrik potansiyelinin hesaplanmasına yönelik bir algoritma geliştirilmiştir [24].

Perry vd. (2004), akarsu verilerinin ölçüldüğü ve ölçülmediği akarsuların ortalama debilerinin ve debi sürekliliklerinin analizinde iklim ve havza karakteristikleri kullanmıştır. Tobit analizleri ile birlikte çoklu regresyon teknikleri ile ölçüm verileri bulunmayan ve kontrolsüz akarsu kesimlerinde, akış sürelerini, ortalama akışı ve DSE'i hesaplamak için denklemler geliştirmiş ve en iyi doğrusal ilişkiyi elde etmek için iklim ve havza verilerinin logaritmik dönüşümlerini de yapmıştır [25].

Karaaslan (2010), Doğu Karadeniz Bölgesi'nde seçilen çalışma alanları için küçük hidroelektrik potansiyelli konumlarının belirli akış süresi eğrilerini tahmin etmek için CBS ve hidro-meteorolojik değişkenlerden türetilen topografik ve morfolojik parametreleri kullanarak doğrusal ve çok değişkenli formda istatistiksel bir model sunmayı amaçlamıştır. Hidro-meteorolojik parametrelerin yıllık değerlerini kullanarak yıllık regresyon modeli geliştirmenin yanı sıra, havza parametrelerine ek olarak karla kaplı alan yerine ortalama mevsimsel (ilkbahar) hava sıcaklığı değişkenini dahil ederek mevsimsel regresyon modelini (bahar mevsimi) de geliştirilmiştir. İlkbahar modeli çalışılarak, yıllık modelden farklı değişkenlerin etkisi test edilmiş ve ilerideki çalışmalar için bazı önerilerle birlikte tartışılmıştır [26].

Castellarin (2014) tarafından İtalya'nın kuzeyinde yer alan, değişken iklimsel ve jeomorfolojik tanımlayıcılara sahip birkaç ölçümü olmayan havzada, ampirik DSE'lerin üç boyutlu (3D) kriging interpolasyonu yoluyla analizini yapmıştır. Sonuç olarak üç boyutlu Kriging'in, ölçümü olmayan havzalardaki DSE'leri tahmin etmek için iyi ve doğru bir metodoloji olduğunu söylemiştir [27].

Hidroelektrik potansiyelin günümüz yayılımı, Avrupa'da % 50'den, Afrika'da %90'a kadar değişen, gelişmemiş kapasite ile büyük bir mekansal heterojenite

göstermektedir. Hidroelektrik potansiyeline ilişkin iyileştirilmiş bilgiler, karar vericilerin mevcut kaynak ve onun mekansal dağılımı hakkında fikir edinmesine yardımcı olabilir ve bu da yol göstermeye yardımcı olacaktır. Hidroelektrik potansiyeline ilişkin bilgiler, entegre değerlendirme ve enerji-ekonomik modeller kullanılarak on yıldan yüzyıla kadar olan zaman dilimlerinde hem iklim değişikliği hem de emisyon azaltımı ile karşı karşıya kalan gelecekteki enerji sistemlerini keşfetmeye yardımcı olmak için de kullanılabilir. Daha da önemlisi, bu çalışmaların çoğu, hidroelektrik enerjisinin teknik potansiyelini de tahmin etmeden, brüt hidroelektrik potansiyelini araştırmıştır. Literatürdeki önemli bir boşluk, ekonomik ve çevresel hususlar dikkate alınarak geliştirilebilecek gerçek küresel hidroelektrik potansiyelinin bir tahminidir.

1.2 Tezin Amacı

Endüstrileşmeyle birlikte, insanlar elleri ile yaptığı işleri büyük miktarlarda fosil yakıt enerjisi kullanarak mekanize etmişlerdir ve bu durum teknolojik gelişmelerin katkısıyla büyük bir miktarda enerji ihtiyacı doğurmuştur. Enerji, ülkelerin kalkınmasında önemli bir güç olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle ülkelerin gelişmişlik düzeyleri belirtilirken ürettikleri ve tükettikleri enerji miktarları göz önünde bulundurulmaktadır. Akarsu bakımından dünyanın zengin bölgelerinden biri olan Türkiye'nin akarsu kaynaklarının hidroelektrik enerji üretiminde verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasının temel amacı, Fırat-Dicle havzasının Batman alt havzasında yer alan sekiz adet küçük akarsuyun hidroelektrik enerji üretimi için potansiyellerinin tespit edilmesini ve yeterli bulunan akarsularda uygun projeler geliştirme önerilerin sunulmasıdır. Bu temel amaca bağlı olarak aşağıdaki yan hedeflerde bulunmaktadır:

- Ülkemizin sahip olduğu mevcut hidroelektrik potansiyel değerlendirilerek ekonomimize (üretim, istihdam, v.b) katkı sağlanmış olacaktır.
- Enerji sektörü bakımından büyük ölçüde dışa bağımlı olan ülkemiz ekonomisine de fayda sağlayacaktır.

- Bölgedeki elektrik enerjisi açığının en aza indirilmesi mümkün olacak ve bunun sonucunda da bölgedeki sanayi ve endüstri alanındaki gelişmişlik düzeyi artacaktır.
- Bu konuda yatırım yapmayı düşünen özel sektörün bilgilendirilmesini sağlayacaktır.

Yukarıdaki nedenlerden dolayı, bu çalışma ileriye doğru bir adım atmakla birlikte Türkiye'deki seçilmiş bazı küçük akarsuların hidroenerji potansiyeli değerlendirmektedir. Bu çalışmanın prosedürlerini farklı doğal ve sosyal koşullara sahip çeşitli bölgelere uygulayarak, birçok aday bölgede Küçük Hidroelektrik Santral (KHES) tesisleri için umut verici yerler tespit edilebilir.

1.3 Hipotez

Herhangi bir ülke doğal kaynakları hakkında güncel ve doğru bilgiye sahip olmalıdır. Bu tür bilgiler kaynakların yönetimi ve daha iyi kullanılması için gereklidir. Türkiye'de bulunan çeşitli doğal kaynaklardan en önemlilerinden biri su kaynağıdır. Türkiye'deki mevcut su kaynakları, ülkenin kalkınması için kullanılabilecek bol miktarda hidroenerji potansiyeline sahiptir ancak Türkiye'deki hidroenerji potansiyel hakkında güvenilir ve doğru bilgi eksikliği bulunmakatadır. Ayrıca hidrometrik ve yağış istasyonlarının yetersizliği hâlâ devam etmektedir. Ülkedeki potansiyelin büyüklüğü ve dağılımı ile ilgili temel bilgiler, hidroelektrik enerjinin geliştirilmesi için politika ve stratejilerin planlanmasına, formüle edilmesine yardımcı olmaktadır. Günümüzde hidrolojik veri ve hesaplama teknolojisi konusunda birçok değişiklik oldu. Ülkenin uzaktan algılama gibi hesaplama araçları ve verileri daha doğru bir şekilde işleyebilen ve analiz edebilen ve daha iyi sonuçlar verebilen çeşitli hidrolojik modelleme araçları gibi bilgi teknolojilerinde ilerlemeler olmuştur. Bu en son teknolojileri kullanarak hidroenerji potansiyel, öncekinden hem daha doğru hem de sisteme dahil edilmemiş pek çok küçük akarsu için tahminler yapılabilir. Bu nedenle, doğru ve daha iyi sonuçlar elde etmek için en son hesaplama ve analiz araçları kullanarak Türkiye'deki brüt potansiyele dahil edilmemiş küçük akarsuların teorik hidroenerji potansiyelinin değerlendirilmesini gerektirmiştir.

2
TÜRKİYE'NİN HİDROENERJİ PROFİLİ

2.1 Küçük Hidroelektrik Santraller

Küçük hidroelektrik santraller, suyun mevcut potansiyel enerjisinden mekanik enerji ve/veya elektrik enerji (genellikle daha küçük kapasitede) üreten enerji sistemleridir. Bu hidroelektrik santraller, jeneratörün kurulu gücünün "büyüklüğüne" göre kategorilere ayrılabilir. KHES'in sınırı konusunda uluslararası bir fikir birliği bulunmamaktadır. Tüm dünya ülkeleri ve Dünya Barajlar Komusyonu gibi bazı kuruluşlar, KHES için 10 MW'ı üst sınır olarak kabul etmesine karşın [28], [29] KHES'lerin sınıflandırılmasında ülkeler, kuruluşlar ve bireysel uzmanlar arasında bir fikir birliği bulunmamaktadır. KHES kategorisinde, bu güç sistemleri ayrıca küçük, mini, mikro ve piko-hidroelektrik olarak sistemlere ayrılmıştır. Pratikte [30] küçük bir hidroelektrik sistemi için 15 MW'lık bir sınır koyulurken, 100 kW ile 1 MW arasında mini hidroelektrik, 5 kW ile 100 kW arasında mikro-hidroelektrik ve birkaç yüz watt ile 5 kW arasında piko-hidroelektrik sistem olarak tanımlama yapılmıştır. [31]. Türkiye'de ise KHES üst sınırı 50 MW olarak kabul edilmiş olup, küçük, mini ve mikro-hidroelektrik santraller genellikle sırasıyla 10 MW, 2 MW ve 100 kW'dan düşük santraller olarak tanımlanmaktadır [30].

KHES sisteminin düşüye göre sınıflandırılması da (örn. yüksek düşü, orta düşü ve alçak düşü) mevcuttur. Hatta bazı sistemler türbin türlerine göre de sınıflandırılabilir (örn. Francis turbin mikro-hidroelektrik santrali) [32].

Çoğu küçük ölçekli hidro-sistemler, özellikle mikro ve piko-hidroelektrik sistemler nehir tipi santrallerdir. Nehir tipi santrallerde, akımdan güç üretmek için ana nehirden su santrale yönlendirilir. Su genellikle ırmaktaki uygun bir noktada bir bent yardımıyla saptırılarak kullanılır. Genellikle büyük miktarlarda rezervuar yoktur. Bu nedenle bu enerji sistemleri, barajlı (rezervuarlı) büyük ölçekli

hidroelektrik sistemlerde olduğu gibi, çevre üzerindeki olumsuz etkilerle ilişkili değildir. Daha büyük üretim kapasitesine sahip bazı KHES sistemleri (küçük ve mini-hidroelektrik sistemler) biriktirme hazneli olarak düzenlenebilir.

2.2 Küçük Hidroelektrik Santrallerin Avantajları ve Dezavantajları

Genel olarak hidroelektrik enerji sistemi verimli bir enerji sistemidir. Boyut etkileri nedeniyle, KHES sistemlerinin performans seviyeleri büyük ölçekli hidroelektrik sistemlere göre daha az olmasına karşın KHES sistemleri fosil yakıt, elektrik jeneratörü, rüzgâr ve güneş gibi diğer yenilenebilir enerji teknolojilerinden daha verimlidir. Genellikle en önemli avantaj olarak kabul edilen güvenilir ve esnek çalışma ile KHES kullanımının birçok avantaj vardır. KHES'lere ait bazı avantaj ve dezavantajları Tablo 2.1'de verilmiştir [33], [34].

Tablo 2.1 Küçük hidroelektrik santrallerin avantajlar ve dezavantajları

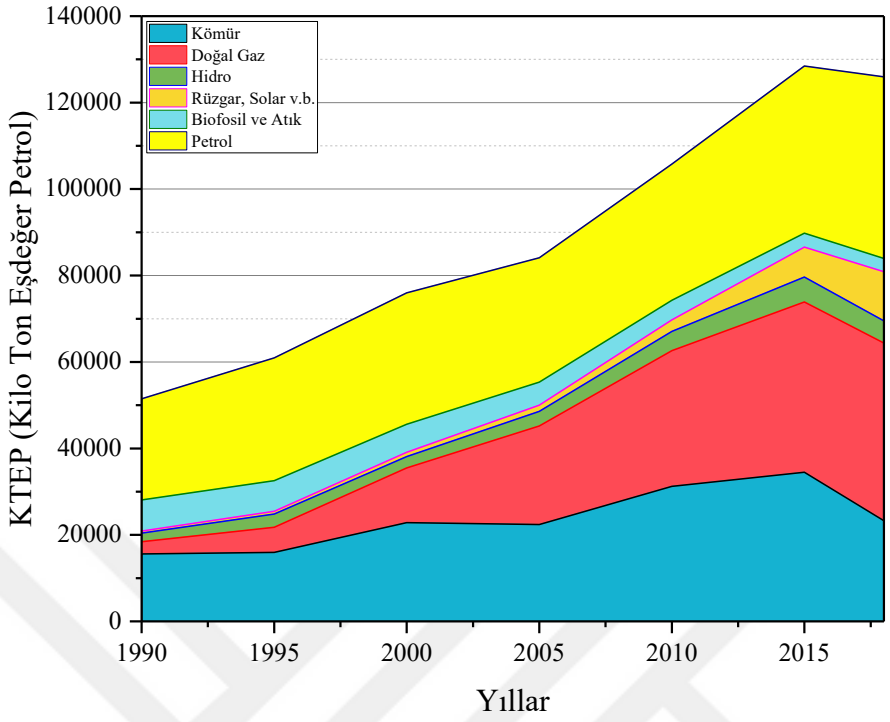
Avantajlar	Dezavantajlar
Ekonomik özellikler	
Genellikle düşük işletme ve bakım maliyeti sağlar	Yüksek ön yatırım
Uzun ömürlüdür (50 ila 100 yıl ve daha fazla)	Yağış
Güvenilir hizmet sağlar	Uzun vadeli planlama gerektirir
Kanıtlanmış teknoloji içerir	Uzun vadeli sözleşmeler gerektirir
Bölgesel gelişmeyi teşvik eder	Multidisipliner bir katılım gerektirir
En yüksek enerji verimliliği oranı sağlar	Genellikle yabancı müteahhitler ve finansman gerektirebilir
Diğer suları sürdürmek için gelirler üretir	
İstihdam fırsatları yaratır ve yakıt tasarrufu sağlar	
Sosyal özellikler	
Diğer kullanımlar için mevcut su bırakır	Yeniden yerleşimi içerebilir
Genellikle taşkın koruması sağlar	Navigasyonu kısıtlayabilir
Navigasyon koşullarını geliştirebilir	Yerel arazi kullanım şekilleri değiştirebilir
Çoğu zaman rekreasyonu artırır	Su kaynaklı hastalıkların kontrol edilmesini gerektirebilir.
Bölgenin ve kaynaklarının erişilebilirliğini artırır	Rakip su kullanımının yönetimini gerektirir
Yaşam koşullarını iyileştirir	Geniş alanların zarar görmesi ve bazı alanlara halkın erişimini azaltır. Buda açık hava eğlence aktivitelerini etkiler
Geçim kaynaklarını sürdürür (tatlı su, besin kaynağı)	
Çevresel etkiler	
Atmosferik kirletici ve sera gazı emisyonu üretmez	Karasal habitatın su altında kalması
Hava kalitesini artırır	Hidrolojik rejimlerin değiştirilmesi
Atık üretmez	Sucul habitatların modifikasyonu
Yenilenebilir olmayan yakıt kaynaklarını tüketmekten kaçınır	Su kalitesinin yönetilmesi gerektirir
Genellikle artan verimlilik ile yeni tatlı su ekosistemleri yaratır	Metil civanın besin zincirine girişi ve yakın izleme/yönetim gerektirir
Beceri gelişimini artırır	Balık göçü engelleri, balıkların sürüklenmesi
İklim değişikliğini yavaşlatmaya yardımcı olur	Tortu bileşimi ve taşınması izlenmeli/yönetilmelidir
Elektrik üretimi için kullandığı suyu tüketmez ve kirletmez	

2.3 Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Profili

Bir ülkenin kalkınma düzeyi, ekonomik ve sosyal seviyesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu gelişme seviyesine ulaşmada aktif rol alan en önemli faktörlerden biri yenilenebilir enerjidir. Sürdürülebilir kalkınmanın temel şartı olan enerji, ancak

zamanında yeterli miktarda ve güvenilir ekonomik koşullar altında düşük çevresel etkilerle sağlanırsa toplumların sanayileşme ve genel gelişiminde teşvik edici bir güç olabilir. Türkiye ve dünyadaki gelişmekte olan diğer ülkelerde nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişmelere paralel olarak enerji talebi hızla artmaktadır [35].

Türkiye'de yenilenebilir enerji arzına hidroelektrik ve biyokütle hakimdir [36]–[43]. Ancak çevresel etkilerin değişimi ve arz kıtlığı endişeleri özellikle konut ısıtmasında düşüşe neden olarak biyokütle kullanımını azaltmaktadır. Toplam yenilenebilir birincil enerji arzı (Şekil 2.1), biyokütle arzındaki azalmaya bağlı olarak 1990 yılından 2018'e kadar olan süreçte gerilemiştir [44], [45]. Sonuç olarak, yenilenebilir enerji arzının yapısı değişmiş ve rüzgâr enerjisinin pazar payı artmıştır. Hava kirliliği ve ormansızlaşmanın bir katkısı olarak biyokütlenin payının, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının genişlemesine bağlı olarak azalması beklenmektedir [37], [41], [44], [46].

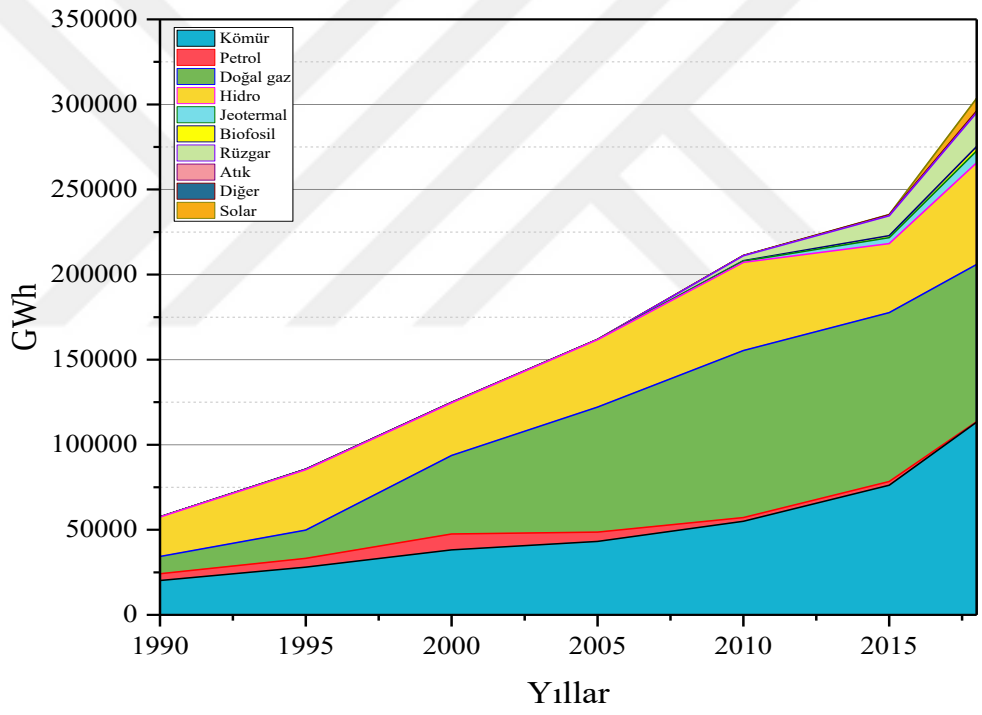


Şekil 2.1 Türkiye'nin toplam birincil enerji arzı, 1990-2018 (EIA)

Türkiye'deki sosyal ve ekonomik gelişme bağlı olarak enerji ve elektrik talebi hızla artmaktadır. Ana yerel enerji kaynakları, esas olarak ülkenin doğu kesimindeki hidroelektrik, kömür ve doğalgazdır (Şekil 2.2) [47]. Türkiye'nin büyük petrol ve gaz rezervleri yeterli değildir. Hemen hemen tüm petrol, doğal gaz ve yüksek kaliteli kömür ithal edilmektedir. Bu da Türkiye'yi net enerji ithalatçısı bir ülke haline getirmekte olup enerji gereksinimlerinin yarısından fazlasını (Tablo 2.2) ithalatla karşılamaktadır [48]. Toplam birincil enerji tüketiminde petrol en büyük paya sahiptir. Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesine yönelik son çabalar nedeniyle doğal gaz kullanımı hızla artmaktadır. Öte yandan, Türkiye'nin coğrafi konumu, yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğunun yaygın kullanımı için çeşitli avantajlara sahiptir. Yukarıda belirtildiği gibi, hidroelektrik enerji Türkiye'nin en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bunun yanısıra yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimine bağlı olarak diğer alanları rüzgâr, jeotermal ve güneş enerjidir.

Tablo 2.2 Türkiye'nin kaynağına göre elektrik üretimi (KTEP), 1990-2018 (EIA)

Yıllar	Kömür	Doğal Gaz	Hidro	Rüzgâr, güneş, v.b.	Biofosil ve Atık	Petrol
1990	15584	2855	1990	461	7207	23402
1995	15969	5787	3056	654	7067	28428
2000	22834	12638	2655	967	6501	30403
2005	22389	22792	3402	1428	5335	28745
2010	31212	31395	4454	2694	4528	31505
2015	34505	39383	5774	6893	3224	38696
2018	23265	41096	5138	11399	3040	42003



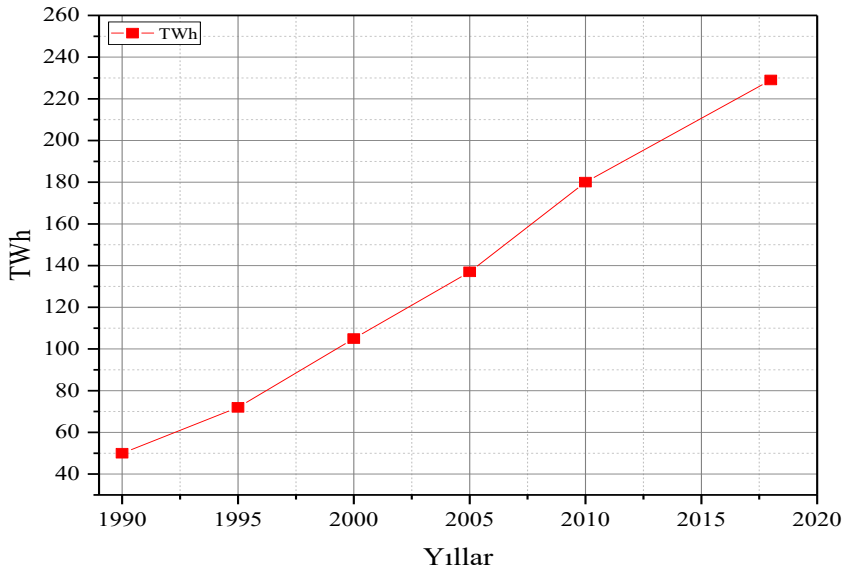
Şekil 2.2 Türkiye'nin kaynağına göre elektrik üretimi, 1990-2018 (EIA)

Türkiye'de hemen hemen her türlü yenilenebilir enerji kaynağı mevcuttur. Bununla birlikte, linyit ve hidrolik enerji dışında, bu kaynakların yarısından fazlası Tablo 2.2'de gösterildiği gibi ithal enerji ile karşılanmakta ve ülkenin enerji gereksinimlerini karşılamak için yeterli değildir.

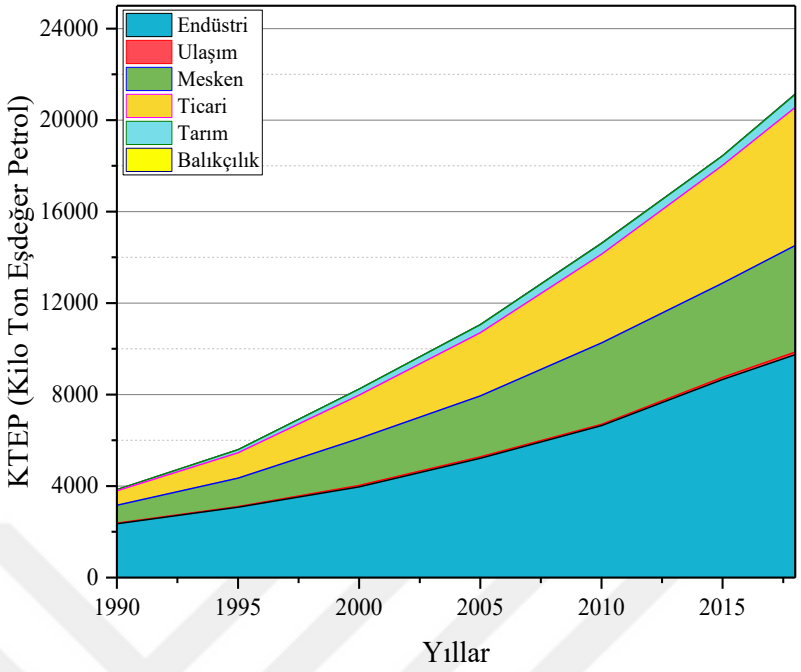
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının (ETKB) enerji güvenliği strateji belgesine göre, Türkiye'nin hidroelektrik dahil yenilenebilir enerji payının 2023 yılına kadar toplam enerji üretiminde %30'a çıkarılması hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşmak için hidroenerjinin tüm teknik ile ekonomik potansiyeli ve jeotermal enerjinin ekonomik potansiyeli kullanılacak, kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi 20.000 MW'a yükseltilecek ve diğer kaynaklar (biyokütle ve güneş gibi) için de mevcut potansiyelin 2023'e kadar kullanılması ön görülmektedir [48]–[53].

2.4 Türkiye'nin Enerji Tüketimi ve Talebi

Elektrik tüketimi ekonomik kalkınma ve sosyal refahın en önemli parametrelerinden biridir. Türkiye'de sektörlere göre elektrik tüketiminin gelişmesi göz önüne alındığında, sanayinin tüketimi artarken toplam enerji içindeki payında çok bir değişiklik olmamıştır. Aynı dönemde ticari ve hizmetler sektörlerindeki hem tüketim ve toplam tüketim içindeki payı artarken, ulaştırma sektörü için belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir [54]. Türkiye'nin 1990-2018 yılları arasında toplam enerji tüketimi Şekil 2.3'te ve sektörlere göre nihayi enerji tüketimi (KTEP) Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.3 Türkiye'nin toplam elektrik tüketimi, 1990-2018 (EIA)



Şekil 2.4 Türkiye'nin sektörlere göre elektrik tüketimi, 1990-2018 (EIA)

Elektrik enerjisi talebi çeşitli parametrelere göre değişmektedir. Bunlar; Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH), nüfus ve demografik varyasyonlar, konut, sanayi, tarım ve ulaştırma sektörlerinde gelişme, kişi başına gelir, iklim koşulları, istihdam, teknolojik gelişme vb. Türkiye'nin uzun vadeli elektrik enerjisi talebini tahmin etmek için "Enerji Talebini Değerlendirme Modeli" (MAED) adı verilen bir talep tahmin modeli kullanılarak üç tür planlama senaryosuyla birlikte, MAED modeli uygulanmış ve Türkiye'nin yıllık elektrik enerjisi talep değerleri 2004'ten 2020'ye kadar öngörülmüştür. Çalışmanın sonuçlarına göre, Türkiye'nin yıllık elektrik enerjisi 2020 yılında enerji talebinin 407 ve 571 TWh arasında olduğu tahmin edilmektedir [30], [54].

2005 rakamlarına göre Türkiye'nin nüfusu 72,6 milyondur. Bu, Türkiye OECD ülkeleri arasında her iki kategoride de son sırada yer alan 4900 $'lık kişi başına düşen GSMH ve 1.2 milyon ton eşdeğer petrol (Mtep) ile kişi başına enerji tüketimi anlamına gelmektedir [55]. Türkiye'nin nüfus, ekonomi ve enerjisinin izdüşümü Tablo 2.3'te verilmiştir [56], [57]. Hem nüfus hem de ekonomik çıktı

öngörülenden daha yavaş büyüyecek olsa bile, enerji talebinin artacağının neredeyse kesin olduğunu vurgulamakta fayda bulunmaktadır.

Tablo 2.3 Türkiye'nin nüfus, enerji ve ekonomi tahmini

Yıl	Nufus (000)	GSMH (kişi başı)	GSMH toplam	Toplam enerji talebi (MTEP)*	Enerji/Kapita (KEP)**	Enerji yoğunluğu
1973	38.072	1.994	75.915.568	24.6	646	81
1990	56.098	2.674	150.006.052	53.7	957	50
1995	62.171	2.861	177.871.231	64.6	1.039	44
2000	67.618	3.303	223.342.254	82.6	1.218	40
2010	78.459	5.366	421.010.994	153.9	1.962	35
2020	87.759	9.261	812.736.099	282.2	3.216	33

*Milyon Ton Eşdeğer Petrol

**Kilo Eşdeğer Petrol

2.5 Türkiye'de Hidroenerjinin Kullanımı

Türkiye Elektrik Mühendisleri Odasına göre, Türkiye 259 milyar kWh enerji potansiyeline sahiptir ancak bu potansiyelin sadece %35'i kullanılabilir durumdadır. Günümüzde, Türkiye'nin elektrik üretimi 2015 yılında yılık yaklaşık 176 milyar kWh olmasına karşın 2020 yılında yıllık yaklaşık 400 milyar kWh mertebesine ulaşmıştır. Türkiye, yeterli birincil enerji kaynağına sahip olamamasına rağmen muazzam bir hidroelektrik potansiyeline sahiptir. [58]–[61].

Devlet Su İşleri tarafından planlanan Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP), öncelikle sulama ve hidroelektrik üretimi için 12 büyük projenin birleşimidir. Proje Fırat ile Dicle nehirleri ve kollarında 22 baraj ile bunlara bağlı 19 hidroelektrik santralinin inşasını içermektedir. Tamamlanmasının ardından yılda 1.8 milyon ha'dan fazla arazinin sulanması ve 27 milyar kWh hidroelektrik enerjisinin üretilmesi planlanmaktadır.

Şu anda Türkiye'de mevcut büyük hidroelektrik projesi olarak, Dicle Nehri üzerinde bulunan GAP'ın bir parçası olan 1200 MW'lık Ilısu Barajı yeni

tamamlanmıştır. Bu baraj 10,4 milyar m^3 hacimli bir rezervuar oluşturacak ve yılda yaklaşık 3800 MWh elektrik üretmesi beklenmektedir. Benzer şekilde, 540 MW'lık Yusufeli Barajı'nın Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Çoruh Nehri üzerinde inşaatı devam etmektedir. Yılda 1 milyar 888 milyon kWh elektrik üretmesi beklenmektedir.

Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyeli, dünyada %1'lik paya, Avrupada %16'lık paya sahip olup, yılda 440 TWh potansiyel ile Avrupa'da Norveç'ten sonra en büyük değere sahiptir. DSİ tahminlerine göre bu potansiyelin teknik olarak 215 TWh/yıl ve ekonomik olarak 165.5 TWh/yıl'lık kısmı kullanılabilir [62], [63]. Tablo 2.4'te Türkiye'deki ekonomik açıdan uygulanabilir hidroelektrik potansiyelinin durumu gösterilmektedir [58], [59], [61] [56, 57, 59]. DSİ ve Bakır'a göre Türkiye'deki havzaların yıllık hidroelektrik potansiyeli Tablo 2.5'te verilmiştir [64].

Tablo 2.4 Türkiye'deki ekonomik açıdan uygulanabilir hidroelektrik potansiyelinin durumu

Proje adı	Proje sayısı	Toplam kurulu kapasite (MW)	Yıllık ortalama enerji (TWh/yıl)	Oran (%)
İşletmede	172	13.700	48	35
İnşaa Halinde	148	8600	20	14
Program	1418	22.700	72	51
Toplam	1738	45.000	140	100

Tablo 2.5 DSİ ve Bakır'a göre türkiye'nin yıllık hidroelektrik potansiyeli

Havza adı	Brüt potansiyel (GWh)	DSİ		BAKIR	
		Ekonomik uygulanabilir potansiyel (GWh)	Kurulu güç (MW)	Ekonomik uygulanabilir potansiyel (GWh)	Kurulu güç (MW)
Fırat	84 122	39 375	10 345	46 267	12 176
Dicle	48 706	17 375	5 416	24 353	7 610
Doğu Karadeniz	48 478	11 474	3 257	24 239	6 925
Doğu Akdeniz	27 445	5 216	1 490	10 978	3 137
Antalya	23 079	5 355	1 537	9 232	2 638
Çoruh	22 601	10 933	3 361	12 431	3 802
Ceyhan	22 163	4 825	1 515	8 865	2 860
Seyhan	20 875	7 853	2 146	9 394	2 609
Kızılırmak	19 552	6 555	2 245	7 821	2 697
Yeşilırmak	18 685	5 494	1 350	8 408	2 213
Batı Karadeniz	17 914	2 257	669	7 166	2 108
Batı Akdeniz	13 595	2 628	723	5 438	1 511
Aras	13 114	2 372	631	5 246	1 418
Sakarya	11 335	2 461	1 175	3 967	1 984
Susurluk	10 573	1 662	544	643	881
Diğer (toplam)	30 744	1 788	546	1 721	507
Toplam	432981	127 623	36 950	188 169	55 099

2.6 Türkiye'de Küçük Hidroelektrik Potansiyel

Küçük hidro tesisler (<10 MW) günümüzde 40 GW'lık bir hidroelektrik potansiyel ile dünya üretimine katkıda bulunmaktadır. Küçük hibrit tesislerin potansiyelinin de 100 GW'ı aştığına inanılmaktadır.

2014 yılı sonunda 2,6 TWh elektrik üreten toplam 254 KHES tesisi mevcuttu. 2014 yılı itibariyle toplam kurulu gücü 22.475 MW olan ve her yıl ortalama 53.912 TWh üreten 531 hidroelektrik santrali bulunmaktadır. KHES, tüm hidroelektrik santrallerinin yaklaşık yarısını oluştururken kurulu kapasitenin sadece %5.1'ine sahiptir [65].

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun Ocak 2015 ilerleme raporuna göre, toplam 986,7 MW kapasiteli 190 KHES tesisi inşa edilmiştir [65], [66]. Ayrıca, Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na bağlı DSİ'nin toplam kapasitesi 705 MW olan 151 KHES tesisi planlama aşamasındadır [65], [67].

Haziran 2015 itibarıyla 1.352.8 MW kurulu güce sahip bitme aşamasında 307 KHES tesisi mevcuttur. Ayrıca, operasyonel ve üretim lisansı almış olanlar da dâhil olmak üzere toplam 2.267.5 MW kapasiteye sahip 465 santral daha bulunmaktadır [65].

Tasarım kapasitesi ve kapasite sınıflandırmasına göre hidroelektrik santrallerin dağılımı sırasıyla Tablo 2.6'da [68] ve Tablo 2. 7'de [69] sunulmuştur.

Tablo 2.6 Türkiye'de hidroelektrik enerjinin tasarım kapasitesine göre dağılımı

Seviye	İstasyon sayısı	Toplam kurulu kapasite (MW)	Net üretim (GWh/yıl)	Toplam yıllık üretim (GWh/yıl)
İşletmede > 10 MW	74	193	287	722
İşletmede < 10 MW	68	12.595	33.273	45.208
İnşaa Halinde > 10 MW	8	45	151	228
İnşaa Halinde > 10 MW	32	3.152	6.207	10.290

Tablo 2.7 Hidroelektrik santrallerin kapasite sınıflandırılmasına göre dağılımı

Sınıflandırma	HES sayısı	Toplam kapasite (MW)	Toplam yıllık enerji (GWh/yıl)	Toplam yıllık enerji yüzdesi (%)
Mevcut hidroelektrik santraller				
<5 MW	139	312	1.568	2.17
5-10 MW	79	548	2.135	2.95
10-50 MW	186	4.595	18.244	25.22
50-100 MW	54	3.824	13.524	18.70
100-250 MW	36	5.527	18.179	25.13
250-500 MW	11	3.500	11.657	16.11
500-1000 MW	3	1.791	3.199	4.42
>1000 MW	1	1.200	3.833	5.30
Toplam	509	21.297	72.339	100

Tablo 2.6'da yıllık enerjinin yaklaşık %30,34'nün KHES tarafından üretildiği görülmektedir. Geriye kalan ekonomik olarak mümkün potansiyel ise yaklaşık 22.000 GWh/yıl'dır.

Tablo 2.7'den de görüleceği gibi Türkiye'de %5'i orta düşüye ve %95'i yüksek düşüye sahip toplam 80 MW'lık KHES bulunmaktadır [68], [70].

KHES projelerini uygun koşullar altında çoğu yerel bankalar ve uluslararası finans kurumları finanse etmektedirler. Örneğin, Dünya Bankası Özel Sektör Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Projesi (PSREEE) kapsamında 2009 yılından 2016 yılına kadar toplam 86,24 MW kapasiteye sahip 13 KHES projesi finans desteği sağlamıştır. [71].

Kişi başına elektrik üretimi ve tüketimi, ekonomik kalkınma, sosyal refah ve dünyadaki yaşam standardının en önemli göstergelerinden biridir. Türkiye'nin sosyal ve ekonomik kalkınmaya ihtiyacı vardır, bu durumda enerji sektörlerindeki bazı projelerin doğal ve evsel enerji kaynaklarını kullanarak geliştirilmesi gerekmektedir [30].

3
ÇALIŞMA ALANI

3.1 Seçilen Havza ve Veriler

Türkiye, hidrolojik özelliklerine göre 25 ana havzaya ayrılmıştır. Havzaların ortalama yıllık toplam akış miktarı 180.53 km^3'tür. En yüksek su potansiyeline sahip Fırat-Dicle havzası Türkiye'nin su potansiyelinin %30.4'ünü (Tablo 3.1) oluşturmaktadır. Fırat Nehri anakol yıllık akışı ortalama 31,13 km^3 iken, Dicle Nehri için 24,78 km^3'tür [72].

Dicle Nehri, Doğu Anadolu'da Baba Dağı'nın güney eteklerinden doğar. Ambar, Kuru, Pamuk, Hazro, Batman ve Garzan (Yanarsu) Çayları ile beslenerek Habur'dan ülke sınırını geçerek Irak topraklarında akışına devam eder [73]. Bu tez çalışması kapsamında Fırat-Dicle Havza'sında bulunan Batman ili alt havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Batman il sınırları içerisinde kalan sekiz adet küçük akarsu üzerinde çalışmalar yürütülmüştür. Bu küçük akarsular Batman ve Garzan Çayları'nı beslemektedirler.

Tablo 3.1 Fırat-Dicle havzası su potansiyeli (2013-2018)

Fırat-Dicle havzası	**Havza yağış alanı (km^2)**	**Ortalama yıllık akış (km^3)**	**Potansiyel iştirak oranı(%)**
2013	184,918	52.94	28.5
2014	184,918	52.94	28.5
2015	184,918	52.94	28.5
2016	176,142.7	55.4	30.7
2017	176,142.7	55.4	30.7
2018	176,143.0	56.3	30.4

3.2 Seçilen Havzanın Özellikleri

3.2.1 Coğrafya Durumu

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Batman ili, 41'10"–41'40" doğu boylamları ile 38'40"–37'50" kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Batman ili Dicle Nehri ve onun yan kolları olan Batman ve Garzan çayları arasındaki havzada kurulmuştur [74].

Dicle Nehri batıdan doğuya akarak Batman ili toprakları içinden geçer. Batman Çayı, Batman-Diyarbakır il sınırını çizerek Dicle Nehri ile birleşir. Batman ili kuzeyde Muş, batıda Diyarbakır, doğuda Bitlis ve Siirt, güneyde ise Mardin ili ile komşudur. Şehrin deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 550 m'dir.

Batman ilinin, kuzey ve kuzeydoğusu yüksek, sarp ve dağlık olup güneyi ise dağlık ve engebelidir. Batman ilinin önemli dağları; Sason Dağları (Aydınlık Dağları) 2500 m, Meleto Dağı 2967 m, Kuşaklı Dağı 1947 m, Avcı Dağı 2121 m, Meydanok Tepesi 2042 m, Kortepe 2082 m ve Raman Dağı 1288 m'dir [74].

3.2.2 İklim

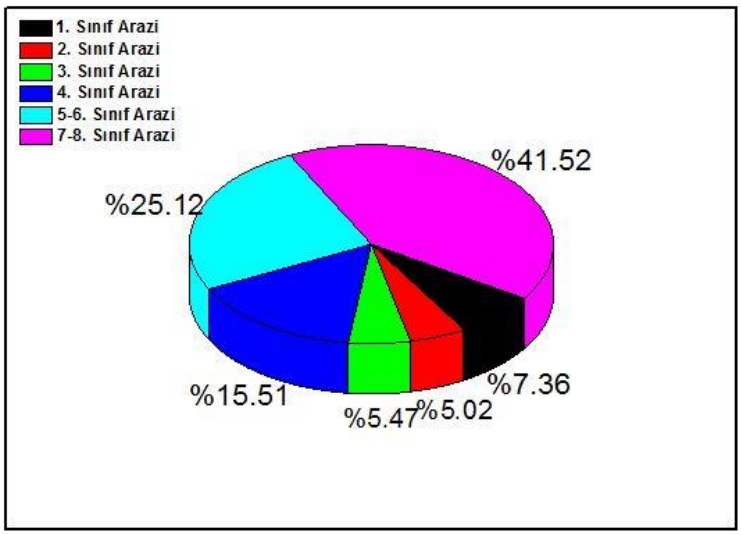
Batman ili Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer almasından dolayı karasal iklim özelliği göstermektedir. Karasal iklimin özelliği olarak yaz mevsiminde aşırı sıcak ve kurak, kış mevsiminde ise sert ve soğuk olmasıdır. Batman ili yaz aylarına göre, kış ayları daha fazla yağış almaktadır. Yıllık ortalama sıcaklığı (1959-2018) 16.4 °C, yıllık ortalama yağış miktarı ise 489.4 mm'dir. 75 mm ile en fazla yağış alan ay Mart iken, en kurak ay olarak Temmuz ve Ağustos ayları olmaktadır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 1959-2018 ölçüm periyoduna göre Batman iline ait meteorolojik veriler [75]

Batman	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**	**Yıllık**
Ölçüm Peryodu (1959-2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.6	5.0	9.6	14.6	19.8	26.6	31.2	30.2	24.9	17.7	9.8	4.6	16.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	7.6	10.6	15.9	21.7	27.7	34.9	39.2	39.2	34.5	26.6	17.0	9.6	23.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1.5	0.0	3.7	7.9	11.5	16.0	20.3	19.8	15.1	10.1	4.1	0.4	8.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.6	5.6	7.3	9.0	11.5	11.9	11.2	9.8	6.9	5.2	3.0	89.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.1	10.4	11.7	11.5	8.5	2.3	0.4	0.4	1.1	5.9	7.6	10.2	81.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	61.2	66.8	75.0	72.8	47.3	7.1	0.6	0.6	3.7	33.3	55.0	66.0	489.4
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.6	24.6	30.6	35.8	42.0	45.1	48.8	46.2	43.8	37.0	36.6	23.0	48.8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-24.0	-22.2	-17.0	-9.0	0.9	5.0	11.8	11.5	4.1	-3.0	-7.6	-23.0	-24.0

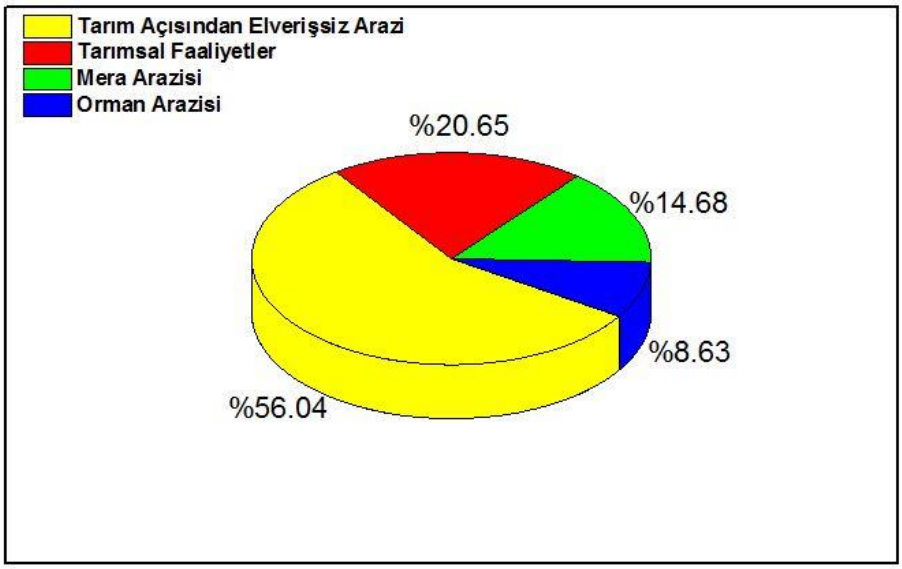
3.2.3 Bitki Örtüsü ve Arazi Durumu

Karasal iklimden dolayı, Batman Merkez, Beşiri, Hasankeyf ve Kozluk ilçelerinin güney kesimleri bozkır görüntüsünde oldukça fakir bir bitki örtüsü hakim olup rüzgâr erozyonu bu alanlarda etkilidir. Sason, Gercüş ve Kozluk ilçelerinin kuzey kesimlerinde meşe, bıttım, ceviz, ardıç ve çınar ağaçlarıyla kaplı koru ve bozuk ormanlar hakimdir. Batman ilinde mera alanlarının %98'i Merkez, Beşiri ve Kozluk'ta yer almaktadır. Mera alanları bakımından nispeten fakir olan Gercüş ve Hasankeyf'te bu oran %2 iken Sason'da %0'dır. Orman ve fundalık alanlar il yüzölçümünün %17'sini kaplamaktadır. Batman ili arazi kullanım sınıfları ve oranları Şekil 3.1'de verilmiştir [74].



Şekil 3.1 Batman ili arazi kullanım sınıfları ve oranları

Batman ili topraklarının I. ve IV. sınıf (%22,87) içerisinde kalan topraklar tarımsal amaçlı kullanılabilir alanlardan, V. ve VIII. sınıflar (%66,64) içerisinde kalan topraklar ise işlemeli tarıma uygun olmayan alanlardan oluşmaktadır. Batman ili toprak grupları incelendiğinde, en fazla kahverengi orman toprakları ile kahverengi topraklar mevcut iken, en az alüvyal ve kolüvyal topraklar olduğu görülmektedir. Batman ilinin yüzölçümü 470.600 ha olup arazi dağılım oranları Şekil 3.2'de verilmiştir [74].



Şekil 3.2 Batman ili arazi kullanım oranları

Batman il genelinde tarımsal ürünlerin yetiştirme periyodu bütün yıla yayılmıştır. Eylül-Ekim aylarında başlayan buğday, arpa, mercimek ve nohut tarımı, Haziran ayının ilk yarısında sona ermekte ve Nisan ayının sonu ile Mayıs ayının ilk haftasında pamuk tarımı başlayıp Kasım ayı sonu-Aralık ilk haftasına kadar devam etmektedir [74].

3.2.4 Su Kaynakları

3.2.4.1 Yeraltı Su Kaynakları

Batman Çayı, Batman ovasının önemli bir kesiminde yayılım gösteren kum taşı ve çakıltaşından oluşan lahti formasyonu mevcudiyetinden dolayı bölgedeki yeraltı su kaynaklarını beslemektedir. Batman Çayın'a yakın bölgelerde içme suyu yeraltı kaynaklardan sağlanmakta olup yeraltı su seviyesi 9-10 m arasında değişiklik göstermektedir. İlin güneydoğusunda ise yeraltı su seviyesi 25-30 m arasında değişmektedir. Diğer gölgeler ise yeraltı suyu bakımından oldukça verimsizdir. Ayrıca ilin 12 km güneybatısında Diyarbakır sınırları içerisinde yaklaşık 6.5 m^3/s debiye sahip kalker akiferden çıkan Zilek kaynakları da önemli bir su potansiyelidir. Ayrıca sulanabilir alanların bir bölümünde üreticiler kendi olanakları ile açtıkları yeraltı sondajları ile sulama yapmaktadırlar. Batman iline ait yeraltı su potansiyeli Tablo 3.3'te verilmiştir [74].

Tablo 3.3 Batman iline ait yeraltı su potansiyeli

	Kullanım amaçları	m³/yıl
Yeraltı suyu (YAS)	İçme -Kullanma	10.830.000
	Sanayi	2.050.000
	Sulama	8.020.000

3.2.4.2 Doğal Göller ve Göletler

Batman sınırları içerisinde doğal gölet bulunmamaktadır. DSİ tarafından 1986 yılında işletmeye alınan Gercüş-Kırkat göleti ile 1996 yılında işletmeye alınan Kozluk-Ceffan göletleri olmak üzere iki adet yapay gölet mevcuttur (Tablo 3.4) [74].

Tablo 3.4 Batman iline ait göletler

Göletin adı	Tipi	Göl hacmi (m³)	Sulama alanı (ha)	Çekilen su miktarı (m³)	Kullanım amacı
Gercüş-Kırkat göleti	Homojen toprak dolgu	3 155 210	350	Talep yok	Sulama
Kozluk-Ceffan göleti	Kil çekirdekli kaya dolgu	6 845 000	332	4 000 000	Sulama

3.2.4.3 Barajlar

Batman Çayı üzerinde kurulu gücü 198 MW olan Batman Barajı ve Hidroelektrik Santrali ile Garzan Çayı üzerinde kurulu gücü 42,03 MW olan Garzan Barajı ve Hidroelektrik Santrali mevcuttur. Batman Barajı enerji ve sulama amacıyla 1986-1999 yılları arasında inşa edilmiş bir barajdır. Garzan Barajı ise özel bir enerji firması tarafından işletilen enerji ve sulama amaçlı bir barajdır. Ayrıca Batman Çayı üstünde sulama amaçlı olarak Batman-Silvan regülatörü bulunmaktadır. Batman ili su kaynakları üzerinde kurulu enerji ve sulama amaçlı yapılan barajların kapasiteleri ve özellikleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5 Batman ilinde bulunan baraj ve regülatörler [76]

Baraj ve regülatör adı	Konum	Kapasite	Amacı	İşletmeye alındığı yıl	Kullanım durumu	Sulama alanı (ha)
Batman Barajı ve HES	Batman Çayı	483 GWh/yıl (198 MW)	Sulama, Enerji	2003	İşletmede	37351
Garzan Barajı ve HES	Garzan Çayı	198 GWh/yıl (52 MW)	Sulama, Enerji	2015	İşletmede	--
Batman-Silvan sulama regülatörü	Batman Çayı	--	Sulama	1974	İşletmede	7590

3.2.4.4 Akarsular

Batman ilinin en önemli akarsuyu Dicle Nehri'dir. Şehrin güneyinden geçen Dicle Nehri'ni besleyen önemli yan kollar Garzan Çayı ve Batman Çayı'dır. Batman Çayı esas olarak Kulp Çayı, Sarım Çayı (İnikan) (Diyarbakır sınırları içerisinde kalarak), Zori (Serkan), Talorin (Sarıçoban), (Diyarbakır-Batman il sınırını oluşturarak) ve Sason Çayı (Han Deresi) (Batman sınırları içerisinde) yan kollardan oluşmaktadır.

Garzan Çayını ise esas olarak Şevay Deresi (Batman il sınırları içerisinde) ve Gümüşkanat Çayı (Bitlis il sınırında kalarak) beslemektedir. Tablo 3.6'da bu çaylara ait teknik özellikleri verilmiştir.

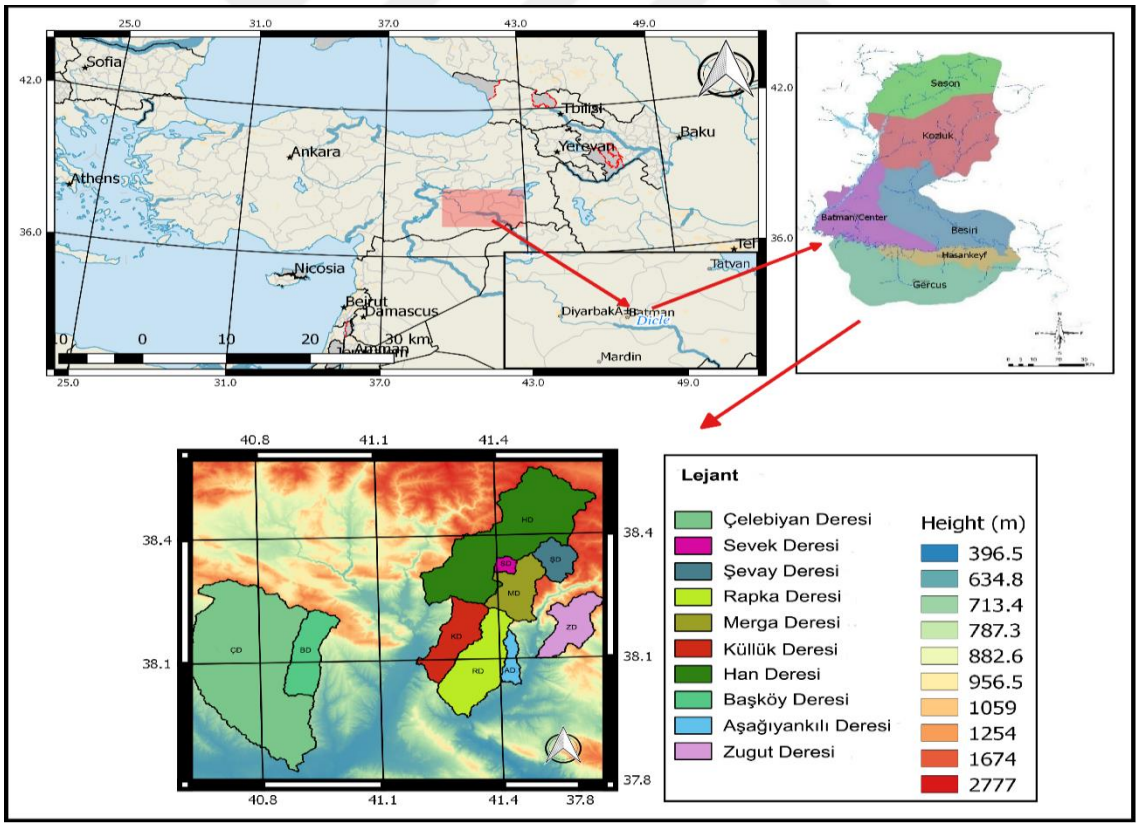
Tablo 3.6 Batman ilindeki çayların teknik özellikleri [74]

Akarsu adı	Toplam uzunluk (km)	İl sınırları içindeki uzunluk (km)	Debi (m^3/s)	Kolu olduğu akarsu
Dicle Nehri	530	86	300	Dicle Nehri
Garzan Çayı	168	110	49.3	Dicle Nehri
Batman Çayı	144	124	117	Dicle Nehri
Sason Çayı	65	65	14.2	Batman Çayı
Serkan (Zori) Çayı	78	58	17	Batman Çayı

Bu tez çalışması kapsamında incelenen küçük derelerin isimleri, konumları ve derelere ait özellikler Tablo 3.7'de verilmiştir. Bu derelerelere ait havzaların konumu ise Şekil 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.7 Batman ilindeki küçük akarsular

No	Derenin adı	Konum	Boy (km)	Başlangıç kotu (m)	Bitiş kotu (m)
1	Han Deresi (HD)	Sason/Batman	65.48	1965.50	658
2	Sevek Deresi (SD)	Sason/Batman	6.56	1054.50	785.05
3	Şevay Deresi (ŞD)	Kozluk/Batman	15.16	1884.50	775.71
4	Merga Deresi (MD)	Kozluk/Batman	26.21	1568.50	635.13
5	Zugut Deresi (ZD)	Kozluk/Batman	29.42	1154.50	582.37
6	Küllük Deresi (KD)	Bekirhan/Batman	27.83	832.50	578.32
7	Aşağıyankılı Deresi (AD)	Kozluk/Batman	17.20	789.0	542.84
8	Rapka Deresi (RD)	Beyçayırı/Batman	37.82	715.50	569.55



Şekil 3.3 Çalışma alanı

Han Deresi (Sason Çayı) (HD)

Han Deresi Batman ilinin kuzey-kuzeydoğu kısmında yer almaktadır. Han Deresi Batman-Bitlis il sınırındaki dağlık kesimden (38°30′45.23″ K, 41°35′36.95″ B) doğup Batman Sason ilçesinden geçerek Batman Barajı rezervuarına dökülmektedir. Han Deresinin boyu 65.48 km'dir.

Sevek Deresi (SD)

Sevek Deresi Batman ili Sason ilçesi merkezinde yer almaktadır. Sevek Deresi Kayabaşı köyüden (38°19′25.12″ K, 41°26′44.35″ B) doğup ilçenin kuzey doğu kısmından geçerek Han Deresi'ne karışmaktadır. Han Deresi ise Batman Çayı'na (Batman barajı rezervuarına) dökülmektedir. Sevek Deresi'nin boyu 6.56 km'dir.

Şevay Deresi (ŞD)

Batman ilinin kuzeydoğusunda yer alan bu dere Batman-Bitlis il sınırı civarındaki dağlık bölgenin eteklerinden toplanarak (38°22′51.63″ K, 41°33′29.83″ B) Yenidoğan köyü yakınlarında Garzan Barajı rezervuarına dökülmektedir. Şevey Deresi'nin boyu 15.16 km'dir.

Merga Deresi (MD)

Merga Deresi Batman ili Kozluk ilçesinde yer almaktadır. Merga Deresi'nin menbası Geçitaltı (38°17′10.61″ K, 41°28′52.87″ B) köyünden başlayarak Değirmendere köyüne kadar olan kısmı Değirmendere, daha sonra Alıçlı ve mansap kısmında Norşin köyü civarında Merga Deresi olarak Garzan Çayı'na dökülmektedir. Merga Deresi'nin boyu 26.21 km'dir.

Zugut Deresi (ZD)

Batman ilinin kuzey doğusunda bulunan bu dere Tuzlagözü mevkine yakın bir yerde (38°11′09.65″ K, 41°36′06.05″ B) doğup Çayönü köyü yakınlarında Garzan Çayı'na karışmaktadır. Zugut Deresi'nin boyu 29.42 km'dir.

Küllük Deresi (KD)

Batman ili Bekirhan Beldesi'nin doğusundan doğan bu dere (38°09′07.96″ K, 41°20′09.36″ B) Dövecik köyü yakınlarında Batman Çayı'na karışmaktadır. Küllük Deresi'nin boyu 27.83 km'dir.

Aşağıyankılı Deresi (AD)

Batman ilinin kuzeydoğusunda bulunan bu dere Yankılı köyü yukarısındaki dağların eteğinden toplanarak (38°09′21.46″ K, 41°21′54.94″ B) Örensu köyü yakınlarında Garzan Çayı'na karışmaktadır. Aşağıyankılı Deresi'nin boyu 17.20 km'dir.

Rapka Deresi (RD)

Batman ilinin kuzeydoğusunda bulunan bu dere Kahveci köyü yakınlarında (38°08′23.46″ K, 41°24′25.07″ B) doğup İki Köprü beldesinde Garzan Çayı'na karışmaktadır. Rapka Deresi'nin boyu 37.82 km'dir.

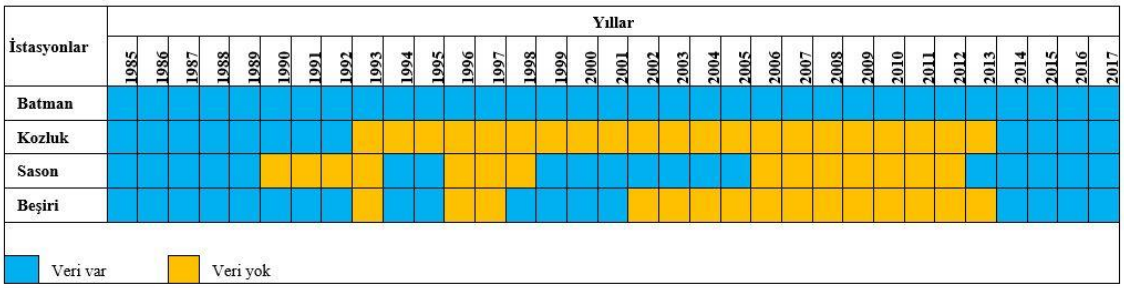
3.3 Veri Envanteri

3.3.1 Topografik Veriler

Fırat-Dicle havzasının alt havzasında yer alan bu küçük dereler üzerinde çalışma mevcut değildir. Bu tez kapsamında oluşturulan hidrolojik model sayesinde bu küçük derelere ait pek çok topografik veri elde edilmiştir. Bir bilgisayar programı olan Havza Modelleme Sistemi (WMS (Watershed Modeling System) sayesinde bu derelere ait drenaj alanları, dere uzunlukları, havza eğimleri gibi pek çok topografik parametre elde edilmiştir. Bu parametreler Hidrolojik Model bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

3.3.2 Hidrometeorolojik Veriler

Seçtiğimiz küçük akarsular üzerinde akım gözlem istasyonları bulunmamaktadır. Hidrolojik modelde kullanılmak üzere, bölgeye ait yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Batman Şubesi'nden temin edilmiştir. Batman iline ait yağış verisinin mevcut durumu Şekil 3.4'te ve istasyonların teknik özellikleri de Tablo 3.8'de verilmiştir.



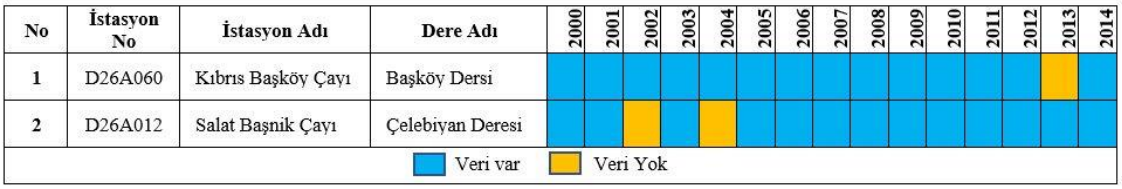
Şekil 3.4 Batman iline ait yağış verisinin mevcut durumu

Tablo 3.8 Batman ilindeki meteoroloji istasyonlarının teknik özellikleri

No	İstansyon no	İstasyonun bulunduğu il/ilçe	İstasyon adı	İstasyon kotu (m)	Konum
1	17282	Batman	Batman	610	37.8636 K - 41.1562 D
2	18320	Batman/Kozluk	Kozluk	704	38.1647 K - 41.4869 D
3	18162	Batman/Sason	Sason	912	38.3319 K - 41.4200 D
4	18318	Batman/Beşiri	Beşiri	725	37.9283 K - 41.2964 D

3.3.3 Hidrometrik Veriler

Hidrolojik modelde kullanılmak üzere çalışma alanına yakın iki adet akım gözlem istasyonu şeçilmiştir. Referans havza olarak seçilen Başköy ve Çelebiyan Derelerine ait akım gözlem istasyonlarının verileri Devlet Su İşleri Akım Gözlem Yıllığı'ndan alınmıştır (Şekil 3.5) [77].



Şekil 3.5 AGİ'lere ait mevcut veriler

4
EKSİK VERİLERİN TAMAMLANMASI

4.1 Yapay Sinir Ağları

Yağış olayı, sıcaklık ve nem başta olmak üzere çeşitli ve değişken meterolojik parametrelerin birleşiminden meydana gelmektedir. Son derece kompleks bir sürecin sonunda meydana gelen yağış, doğal iklimsel bir olaydır. Bununla birlikte, yağış, atmosferik süreçlerin karmaşıklığı, hem konum hem de zaman içinde büyük bir değişiklik gösterdiğinden dolayı bu hidrolojik döngünün anlaşılması ve modellenmesi çok karmaşık ve zor unsurlardan birisidir [78]. Bundan dolayı yağışın doğru tahmin edilmesinde problemler yaşanmaktadır. Yağış tahmini dünyanın en önemli ve zorlu işleri arasında yer almaktadır. Yağış su bütçesinin belirlenmesinde, su kaynakları planlama çalışmalarında, kuraklık analizinde, rezervuar işletim ve taşkınların önlenmesi gibi durumlar için önemli bir parametredir.

Diğer bilimlerde olduğu gibi hidroloji biliminde de verilerin eksiksiz ve sürekli olması sorunların çözülmesinde katkı sağlayacaktır. Fakat ölçümlerin yapılmaması/yapılamaması, işlenmemiş olması veya ölçüm sistemlerinin arızalı olması gibi durumlardan kaynaklanan aksaklıklar yüzünden, belirli zaman dilimleri arasında verilerde eksiklikler meydana gelmektedir. Bu eksikler bir tek parametreye ait eksikler olabileceği gibi aynı zaman aralığında birkaç parametreye ait eksikler de olabilir [79].

Dünya genelinde, farklı araştırmacılar tarafından çeşitli teknikler kullanarak yağışın doğru bir şekilde tahmin edilmesine yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak yağışların doğrusal olmayan doğası nedeniyle, bu tekniklerle elde edilen tahminlerin doğruluğu hala tatmin edici seviyenin altındadır. Yağış tahminlerinin deterministik olarak belirlenmesi çok zordur. Son dönemde tüm dünyada yaygın olarak kullanılan yapay zekâ metotları yağış

tahmininde de çok sık olarak kullanılmakla birlikte yağışın modellenmesinde alternatif bir yaklaşım sağlamaktadır.

Yapay sinir ağları (YSA) günümüzde bilimin ve mühendisliğin çeşitli yönlerinde, çoğu geleneksel yöntemlere göre varsayımlarda bulunmaya gerek kalmadan hem doğrusal hem de doğrusal olmayan sistemleri modelleme yeteneği nedeniyle başarıyla kullanılmaktadır [78]. YSA modeli, lineer olmayan sitemlerin davranışında kullanılabilen başarılı bir kara kutu modeli olarak da değerlendirilmektedir [80]. Son dönemlerde tercih edilen YSA'nın analiz için ön bilgiye gereksinim duymadan, veri setiden elde ettiği bilgilerle ilişkiyi çözüp hiç bilmediği veri seti hakkında yorum yapabilme kapasitesine sahip olması alternatif bir yöntem olarak kabul edilmesinin en temel sebeplerinden biridir. YSA'nın problem çözmedeki temel mantığı öğrenme algoritmalarına dayanmaktadır [81].

Bu tez kapsamında üç adet yağış istasyonuna ait eksik veriler bulunduğundan dolayı Hidrolojik Modelde kullanılacak bu veriler YSA yaklaşımı yardımıyla tamamlanmıştır.

4.2 YSA'nın Genel Tanımı

İnsan beyni oldukça karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel bir bilgi işlem sistemidir. YSA biyolojik nöron sisteminin basitleştirilmiş bir modelidir. Bir sinir ağı, basit bilgi işlem birimlerinden oluşan, deneyimsel bilgiyi depolamak ve kullanıma sunmak için doğal bir eğilime sahip olan büyük ölçüde paralel dağıtılmış bir işlemcidir [82]. YSA, bir başka ifadeyle, biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır. Yapay sinir ağları bazen bağlantıcılık, paralel dağıtılmış işlem, sinirsel-işlem, doğal zekâ sistemleri ve makine öğrenme algoritmaları gibi isimlerle de anılmaktadır [83].

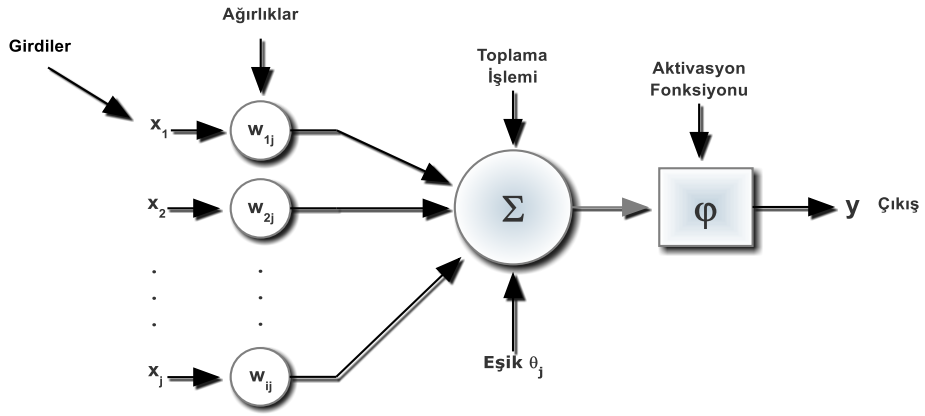
Yapay sinir ağlarının bazı genel karakteristik özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yapay sinir ağlarının güvenle çalıştırılabilmesi için örnekleri eğitip test edebilmeleri,
- Algılamaya yönelik olaylarda kullanabilmeleri,

- Örnekleri ilişkilendirebilme ve sınıflandırma yapabilme yeteneği,
- Kendi kendini organize etme yetenekleri,
- Hata toleransına sahip olabilmeleri,
- Eksik bilgi ile çalışabilmeleri [84].

YSA'ların yukarıda belirtilen birçok avantajının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Ağ yapısının belirlenmesi genellikle deneme yanılma yoluyla yapılmaktadır. Bazı ağlarda ağın parametre değerlerinin (öğrenme katsayısı, her tabakada olması gereken işlem elemanı sayısı, tabaka sayısı vb.) belirlenmesinde herhangi bir kural olmaması diğer bir problemdir. Yapay sinir ağları sadece sayısal bilgiler ile çalışmaktadırlar. Bundan dolayı problemin sayısal gösterime dönüştürülmesi gerekmektedir. Ağın eğitiminin ne zaman bitirileceğine karar vermek için de geliştirilmiş herhangi bir yöntem yoktur. Bütün bu dezavantajlarına rağmen YSA, her problem için değişik şekillerde çözüm üretebilmekte ve başarılı sonuçlar vermektedir [85].

YSA'nın temel işleme elemanı yapay bir nörondur. Tıpkı insan beynindeki doğal nöron gibi, girdileri alabilir, işleyebilir ve çıktıyı üretebilir. Doğrusal olmayan bir nöron modeli bir dizi sinaps veya bağlantı bağı, bir toplayıcı ve bir aktivasyon fonksiyonu olmak üzere üç temel unsurdan oluşmaktadır. YSA'nın temel öğesi, işlem elemanı ya da düğüm olarak adlandırılan yapay sinir hücresidir. Şekil 4.1'de bir yapay sinir hücresinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.1 Bir yapay sinir hücresinin şematik gösterimi

Burada girdiler x_i sembolüyle gösterilmiştir. Girdiler çevreden aldığı bilgiyi sinir hücrelerine getirir. Bu girdilerin her biri ağırlık w_{ij} ile çarpılır. Ağırlık, bir yapay sinir hücresine gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Her bir girdi kendine ait bir ağırlığa sahiptir. Bu girdiler eşik değer θ_j ile toplanır, toplama işlevi v_i, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar ve bunun içinde farklı fonksiyonlar kullanılmaktadır.

Sonuca ulaşmak için aktivasyon işlevi ile işlem yapılır. Aktivasyon fonksiyonu hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonunda da çıktıyı hesaplamak için farklı formüller kullanmaktadır. Bir problem için en uygun aktivasyon fonksiyonu yine tasarımcının denemeleri sonucunda belirlenir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonu Sigmoid fonksiyonudur. Bu fonksiyon aşağıdaki denklem (4.1) ile gösterilmektedir.

$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \tag{4.1}$$

Burada f (net), işlem elemanına gelen net girdi değerini göstermektedir. Bu değer toplama fonksiyonunu kullanarak belirlenir.

Sinir hücrelerinde, aktivasyon fonksiyonunun sonuçları sınır işlemlerinden geçebilir. Bu sınırlandırma basitçe bir sınır etmeni ile etkinlik değerinin çarpımının sonucudur. Sınırlandırma ise sınırlandırılmış sonuçların en az ve en çok sınırlarını aşmamasını sağlamaktır.

Çıktı yani y_i çıkış aktivasyon fonksiyonu sonucunun dış dünyaya veya diğer sinir hücrelerine gönderildiği yerdir. Bir hücrenin tek bir çıkışı bulunur. Tüm YSA'lar bu temel yapıdan üretilmektedir. Bu yapıdaki farklılıklar YSA'nın farklı sınıflandırılmalarını sağlar. Bir yapay sinir hücresinin öğrenme yeteneği, seçilen öğrenme algoritması içerisindeki ağırlıkların uygun bir şekilde ayarlanmasına bağlıdır [86].

4.3 YSA'nın Oluşumu

Yapay sinir ağları hücrelerden oluşmaktadır. Yapay sinir hücrelerinin bulunduğu yer katman olarak adlandırılmaktadır. Bir yapay sinir ağında girdi, gizli ve çıktı olmak üzere üç katman bulunur.

Girdi tabakasındaki işlem elemanları dışarıdan bilgileri alarak gizli tabakalara transfer etmekle sorumludurlar. Girdi katmanından alınan veriler herhangi bir işleme tabi tutulmaz. Gizli (ara) tabakalar girdi tabakasından gelen bilgileri işleyerek çıktı tabakasına gönderirler. Gizli katman sayısı probleme göre farklılık göstermektedir. Tanımlanan gizli katman sayısı olması gereken değerden fazla tanımlanması bu ağın salınımlar yapmasına neden olurken, olması gereken değerden az tanımlanması da olayı öğrenme de ağın yetersizliğine sebep olmaktadır. Çıktı tabakası gizli tabakalardan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi tabakasında sunulan girdi seti için üretmesi gereken çıktıyı üretirler. Üretilen çıktı dış dünyaya gönderilir.

YSA'da çıktı katmanında hesaplanan hata, giriş katmanına doğru azaltılıp minimum hata düzeyine ulaşıldığında öğrenme ağ tarafından durdurulmaktadır. Bu da geleneksel yöntemlere oranla daha iyi bir çalışma mekanizmasına sahip olduğunu göstermektedir.

Ardışık tabakaların hücrelerini birbirlerine bağlayan bağlantı birimleri ileriye veya geriye beslenmeli, simetrik veya antisimetrik olabilirler. İleri beslemeli ağlar, bütün bağlantılar girişten çıkışa doğru bilgi akışını temin ederler. Geri beslemeli ağlar, bunlar ya geriye dönüşlü veya döngüler şeklinde bilgi akışını temsil ederler. Simetrik bağlantılar ise bir hücreden diğerine ve yine tekrardan ilk hücreye bilgi aktarmakta olup, iki yöndeki ağırlıkları birbirine eşittir [79].

4.4 YSA'nın Eğitimi ve Teste Tabi Tutulması

YSA'nın eğitimi, sistem için en uygun olan bağlantı ağırlıklarının elde edilmesi olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle ağırlıklar başlangıçta rastlantısal olarak belirlenmektedir. Üretilen çıktı hedef değere yaklaşana kadar ağırlık değişimine devam edilir. En uygun ağırlık ağ tarafından bulunana kadar işlemler devam eder.

Uygun ağırlıkların belirlenmesiyle eğitim tamamlanır ve bu süreç ağın öğrenmesi olarak tanımlanır.

Ağın eğitimi bittikten sonra öğrenip öğrenmediğini (performansını) ölçmek için yapılan denemelere ise ağın test edilmesi denilmektedir. Test için ağın öğrenme sırasında görmediği veriler kullanılır. Test sırasında ağın ağırlık değerleri değiştirilmez. Test örnekleri ağa gösterilir. Ağ eğitim sırasında belirlenen bağlantı ağırlıklarını kullanarak görmediği bu örnekler için çıktılar üretir. Elde edilen çıktıların doğruluk değerleri ağın öğrenmesi hakkında bilgiler verir. Sonuçlar ne kadar iyi olursa eğitimin performansı da o kadar iyi demektir [84].

4.5 YSA'nın Çalışma Alanına Uygulanması

YSA metodu Beşiri, Kozluk ve Sason istasyonlarındaki, 1990-2013 yıllarını kapasayan eksik günlük yağış verilerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Eksik yağış verilerinin tahmini için Meteoroloji Genel Müdürlüğü Batman Şubesi'nin ölçtüğü yağış verileri kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında yağış verileri ile tahmin edilecek yağış verisi için kullanılan istasyonlar; Batman, Kozluk, Sason ve Beşiri istasyonlarıdır. Eksik verilerin tahmini için kullanacağımız YSA modeli Matlap programında modellenmiştir. Modellemenin aşamaları aşağıdaki gibidir;

- Veri seti değerlendirilmesi
- Giriş ve çıkış parametrelerinin belirlenmesi
- Veri setinin normalizasyonu
- Modelin eğitim parametrelerinin belirlenmesi
- YSA'nın eğitimi
- YSA'nın test edilmesi

Veri seti değerlendirilmesinde, 1985-2017 yılları arasında veri kaybı olmayan Batman istasyonu referans alınarak diğer istasyonlardaki eksik günlük veriler tahmin edilmiştir. Bunun için Batman istasyonu ile diğer üç istasyondaki ortak zaman aralığında (1985-1989 ve 2014-2017) var olan mevcut veriler arasındaki kolerasyon benzerliği, kayıp zaman aralığında da benzer çıkması istenmiştir. Bunun için istasyonlar arasındaki korelasyon katsayısı (R^2) referans alınmıştır.

Batman istasyonu ile diğer istasyonlar arasındaki korelasyon katsayıları (R^2) Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 İstasyonlar arasındaki kolerasyon katsayıları (R^2)

İstasyonlar	Periyot	R^2
Batman-Beşiri	1985-1989 ve 2014-2017	0.853
Batman-Kozluk	1985-1989 ve 2014-2017	0.745
Batman-Sason	1985-1989 ve 2014-2017	0.652

Giriş çıkış parametreleri belirlenirken mevcut veriler üzerinden modelde giriş için kullanılacak veriler ile çıkışta ulaşılmak istenen veriler ayrıştırılıp model için uygun hale getirilmiştir. Model oluşturmak için kullanılan parametreleri boyutsuz büyüklükler cinsinden elde etmek için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$F = \frac{(F_i - F_{min})}{F_{mak} - F_{min}} \tag{4.2}$$

Yapay sinir ağı modelleri, genellikle YSA(i,j,k) ağ mimarisi ile gösterilir. Burada i, girdi tabakasındaki nöron sayısı, j gizli tabakadaki nöron sayısı, k ise çıktı tabakasındaki nöron sayısıdır. Oluşturulan yapay sinir ağı modellerinde, girdi tabakası nöronu i=1, çıktı tabakası nöronu k=1 olarak alınmıştır. Burada sadece farklı gizli tabaklar için nöron sayıları denenerek (1-10) tahmin edilen zaman aralığındaki verilerin kolerasyonunu en iyi temsil eden nöron sayıları belirlenmiştir.

YSA modeli oluşturulurken verilerin %80'ı eğitim seti, %20'ı ise test seti olarak kullanılmıştır. Bu ağ sisteminde eğitim seti ile verilen bilgiler öğretildikten sonra, test seti ile yapay sinir ağı modelinin doğruluğu değerlendirilmiştir.

Modelin performansı kolerasyon katsayısına (R^2) göre belirlenmiştir. Kolerasyon katsayısının 1'e yakın olması kayıp verilerin tahmin yeterliliğini ifade etmektir. Bu kavramlara ait matematiksel formüller aşağıda verilmiştir.

$$R^2 = \frac{(E_0 - \hat{E}_{min})}{E_0} \tag{4.3}$$

$$E_0 = \sum_{i=1}^{n} (E_{i(\text{ölçüm})} - E_{ort})^2 \quad (4.4)$$

$$\hat{E} = \sum_{i=1}^{n} (E_{i(\text{ölçüm})} - E_{i(tahmin)})^2 \quad (4.5)$$

Burada, n gözlenmiş verilerin sayısı, $E_{i(ölçüm)}$ yağış ölçüm değeri, $E_{i(tahmin)}$ tahmin edilen yağış değeri ve E_{ort} yağış ölçüm değerinin ortalamasıdır.

5
HİDROLOJİK MODEL

5.1 Giriş

Su kaynaklarının planlanması için en önemli parametre debi değeridir. Fakat özellikle küçük akarsular başta olmak üzere birçok akarsu üzerinde akım gözlem istasyonu bulunmadığından bu akarsuların akım değerleri de bilinmemektedir. Dolayısıyla su kaynaklarının planlamasında sadece üzerinde akım gözlem istasyonu bulunan akarsuların hidrolojik veri ve bilgileri dikkate alınmakta geri kalan akarsular ise genellikle planlama dışında kalmaktadır [87]–[92].

Üzerinde akım gözlem istasyonu olmayan akarsularda debi tahminleri için; havza morfometrik benzerliklerinden, birleştirilmiş meteorolojik ve hidrolojik modellerinden, birim hidrograflarından, model parametreleri ve hidrolojik endekslerin bölgeselleştirilmesiden, uzaktan algılama değerlerinden elde edilen veriler ile zamana bağlı olarak havzalardan alınan ekstrapole edilmiş veriler kullanılmaktadır [88], [91]–[96].

Hidrolojik modeller; su kaynaklarının planlanması, geliştirilmesi ve yönetimi, hidroelektrik potansiyelinin belirlenmesi, elektrik enerjisi üretim miktarının belirlenmesi, taşkın tahmini, taşkın kontrol yapılarının tasarımı, su kalitesinin belirlenmesi, hidro-ekoloji ile iklimin çiftli sistem modellemesi gibi çok çeşitli uygulamalar için önemlidir. Bundan dolayı kurulacak hidrolojik modelle belirlelenecek olan, yağışın akışa dönüşümünü benzeştiren “yağış-akış modelleri”nin incelenmesi, Türkiye’deki su kaynaklarının daha verimli kullanılması yönünden önemlidir [97], [98].

Bir yağış-akış modelinde, akışın tahmini için kullanılan denklemler havza özelliklerinin tanımlanması için kullanılan çeşitli parametrelerin bir fonksiyonudur. Modellerin kurulması için gerekli olan iki önemli girdi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi yağış ikincisi ise drenaj alanıdır. Bunların yanı

sıra havzanın toprak özellikleri, bitki örtüsü, havzanın topografyası, toprak nemi ve yeraltı su akiferinin durumu gibi özelliklerde kullanılmaktadır. Bir hidrolojik model fiziksel olarak hidrolojik döngünün basitleştirilmiş bir uygulamasıdır. En iyi model, az parametreye ihtiyaç duyarak basit bir şekilde gerçek verilere yakın sonuçlar sunan modeldir [99], [100].

Havzalardaki hidrolojik girdilerin sisteme tanımlanması çoğu durumda kolay bir iş değildir. Bu nedenle, havza sistemleri için tüm ayrıntılı verileri anlamak ve havza süreçlerini kolayca kontrol etmek için hidrolojik modeller gerçekten gereklidir. Ayrıca hidrolojik modeller, iklim değişikliği gibi havza özelliklerindeki değişiklikler nedeniyle havza tepkilerini tahmin etmek içinde kullanılmaktadır[101].

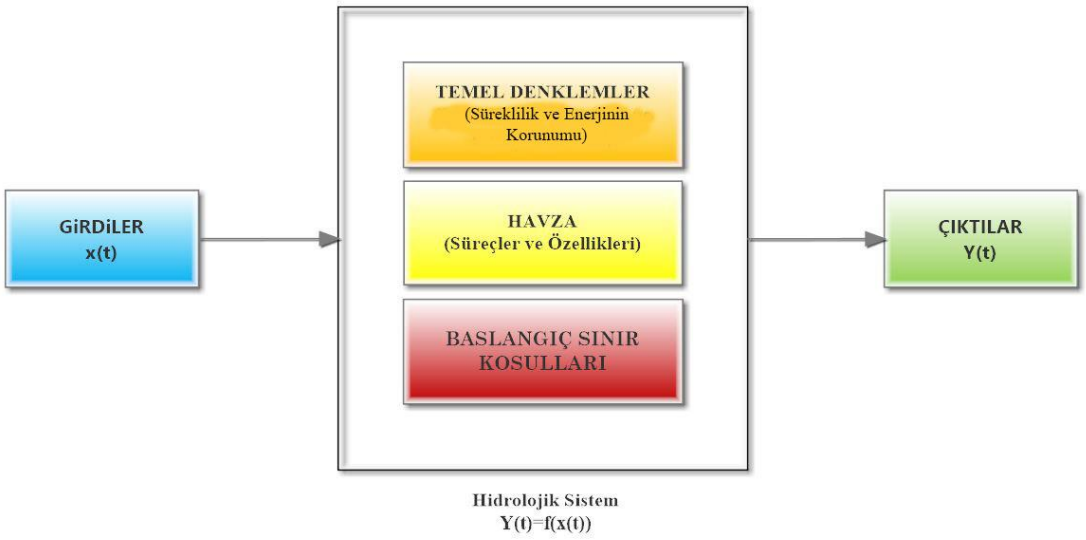
Hidrolojik sürecin bilgisayar destekli programlarla ortaya konduğu çalışmalar, günümüzde su kaynakları araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Herhangi bir havzanın sızma, evapotranspirasyon (buharlaşma), akış gibi hidrolojik süreçlerinin modellendiği bu tür modelleme çalışmalarında genel amaç; su kaynaklarının planlama çalışmalarında temel girdi olan hidrolojik süreçlerin gerçeğe yakın bir biçimde tahmin edilmesidir. Havzadaki gerçek hidrolojik süreçler son derece karmaşık ve değişken bir yapıya sahip olduğu için uygulamada kullanılan bu modeller birtakım kabuller ve basitleştirilmiş ifadeler altında geliştirilmektedirler. Kullanım amacına göre farklı zamansal (anlık, günlük, aylık, yıllık) ve mekansâl çözünürlüklere (ortalanmış, yayılı) sahip olan bu modellerin model yapıları karmaşıklaştıkça kullanılabilirlikleri azalmakta, basitleştikçe de tahmin güvenilirlikleri düşmektedir. Bu nedenle, su kaynakları araştırmalarında kullanım amacına göre farklılaşan pek çok hidrolojik model ortaya konmuştur [102]. Günümüzde kullanılan bazı hidrolojik modeller Tablo 5.1'de verilmiştir [103].

Tablo 5.1 Literatürde yer alan bazı hidrolojik modeller ve özellkleri

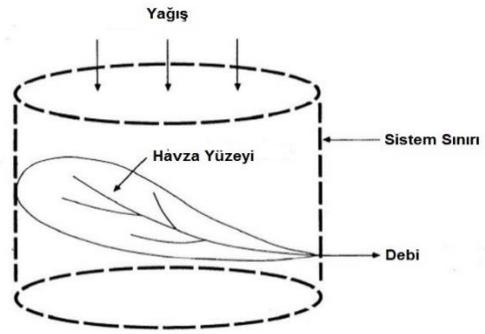
No	Model Adı ve Kısaltma	Yazarlar ve Yıl	Açıklama
1	U.S. Geological Survey (USGS) Model	Dawdy et al. (1970, 1978)	Süreç odaklı, sürekli/olay tabanlı akış modeli
2	Antecedent Precipitation Index (API) Model	Sittner et al. (1969)	Toplu, nehir akışı tahmin modeli
3	Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)	Feldman (1981), HEC (1981, 200)	Fiziksel tabanlı, yarı dağıtılmış, olay tabanlı, akış modeli
4	University of British Columbia (UBC) Model	Quick and Pipes (1977), Quick (1995)	Süreç odaklı, toplu parametre, sürekli simülasyon modeli
5	Tank Model	Sugawara et al. (1974), Sugawara (1995)	Süreç odaklı, yarı dağıtılmış veya toplu sürekli simülasyon modeli
6	Storm Water Management Model (SWMM) Model	Metcalf and Eddy et al. (1971), Huber and Dickinson (1988), Huber (1995)	Süreç odaklı, yarı dağıtılmış, sürekli fırtına akışı modeli
7	Hydrological Simulation (HBV) Model	Bergstrom (1976, 1992, 1995)	Süreç odaklı, toplu, sürekli akış simülasyon modeli
8	National Hydrology Research Institute (NHRI) Model	Vandenberg (1989)	Fiziksel tabanlı, toplu parametre, sürekli hidrolojik simülasyon modeli
9	Technical Report-20 (TR-20) Model	Soil Conservation Service (1965)	Toplu parametre, olaya dayalı akış simülasyon modeli
10	Systeme Hydrologique Europeen/Systeme Hydrologique Europeen Sediment (SHE/SHESED)	Abbott et al. (1986a,b), Bathurst et al. (1995)	Fiziksel tabanlı, dağıtılmış, sürekli akış ve sediment simülasyonu
11	Generalized River Modeling Package-Systeme Hydroloque Europeen (MIKE-SHE)	Refsgaard and Storm (1995)	Fiziksel tabanlı, dağıtılmış, sürekli hidrolojik ve hidrolik simülasyon modeli
12	Soil Water Assessment Tool (SWAT)	Arnold et al. (1998)	Dağıtılmış, kavramsal, sürekli simülasyon modeli

HEC-HMS modeli kalibrasyonlar için kapsamlı hidrolojik ve meteorolojik veriler gerektirmezken, havzanın fiziksel özelliklerini tanımlayan (toprak nem içeriği, ilk kayıp, topografya, nehir ağının boyutları vb.) çok sayıda parametrenin değerlendirilmesini sağladığından dolayı bu çalışmada fiziksel temelli HEC-HMS modeli yağış-akış ilişkisi için kullanılmıştır.

Hidrolojik sistem, yağış, sıcaklık, buharlaşma, solar radyasyon, akış vb. girdiler ile temel fizik kanunları olan kütlenin korunumu, enerjinin korunumu ve momentumun korunumu gibi temel denklemler, başlangıç ve sınır şartları altında başka bir hidrometeorolojik çıktıya dönüştürmektedir. Hidrolojik model sistem çalışması ve model bilşenleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Hidrolojik sistem ve model bilşenleri



Şekil 5.2 Hidrolojik model örneği

Kütlenin Korunumu:

Kütlenin korunumu hidrolojik çevrimin herhangi bir parçasında suyun ne yok olduğunu, ne de yoktan var olduğunu gösteren süreklilik denklemine götürür (su dengesi, su bütçesi):

$$x - y = ds - dt \tag{5.1}$$

Denklem 5.1'de, x göz önüne alınan hidrolojik sisteme birim zamanda giren su miktarı, y birim zamanda sistemden çıkan su miktarı, s ise sistemde birikmiş su miktarıdır. Bu denklemi herhangi sonlu bir Δt zaman aralığındaki değerler (x, y, ΔS) göz önüne alınarak da yazılabilir:

$$x - y = \Delta S \tag{5.2}$$

Denklem (5.2) belli bir zaman aralığında sisteme giren x su miktarı ile çıkan su miktarının farkının birikmiş su miktarındaki ΔS değişimine eşit olduğunu ifade eder.

Enerjinin Korunumu:

Enerjinin korunumu, ısı ile ilgili hidrolojik olayların (buharlaşma, kar ve buzun erimesi gibi) incelenmesinde kullanılır. Denklem 5.2'ye benzer şekilde enerjinin korunumu denklemi:

$$H_x - H_y = \Delta H \tag{5.2}$$

şeklinde yazılabilir. Burada H_x herhangi bir zaman aralığında sisteme giren ısı, H_y herhangi bir zaman aralığında sistemden çıkan ısı, ΔH Δt süresinde sistemin ısısındaki değişmeyi gösterir.

Hidrolojik modellerde girdiyi çıktıya dönüştüren bir sistem söz konusudur. Bu sistem zaman ve konumla değişen ve içinde rastgelelik taşıyan bir yapıdadır. Genel olarak:

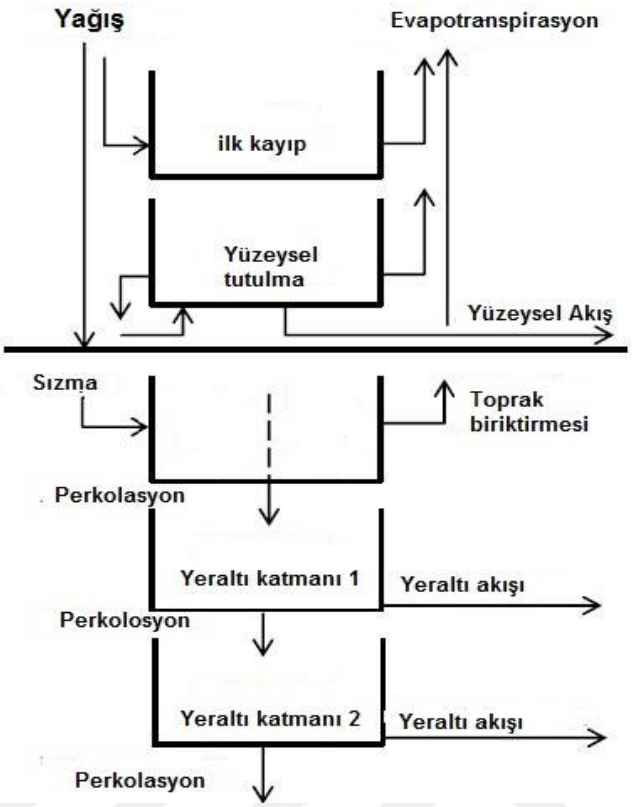
$$y\,(s,t) = [x(s,t)] + \varepsilon(x,t) \tag{5.3}$$

şeklinde ifade edilir. Burada, y ve x sırası ile model çıktı ve girdisi, ε ise modelin rastgele karakterini yansıtan bileşendir. Bunların üçü de hem konum (s), hem de zaman (t) ile değişebilmektedir. Hidrolojik sistemlerin rastgele karakterde olmaları önemli bir konu olmakla birlikte, hidrolojik model sisteminde kullanılan bu rastgelelik çoğu zaman dikkate alınmaz. Bu durumda; denklem (5.3):

$$y\,(s,t) = [x(s,t)] \tag{5.4}$$

şeklini alır. Denklem (5.4) irdelendiğinde; aynı girdinin daima aynı çıktıyı oluşturduğu esasının kabul edildiği görülmektedir. Dolayısıyla, bu esasa göre kurulan bir hidrolojik model deterministik yapıdadır. Stokastik bir modelde ise çıktılar rastgele karakterdedir. Deterministik ve stokastik modeller toplu (ortalanmış) veya yayılı olabilirler. Toplu bir modelde model çıktısı konumdan bağımsızdır, sadece havzanın çıkışındaki akım değerini verir. Yayılı modellerde ise havzada herhangi bir noktada çıktıyı belirleme şansı vardır, yani model konuma bağlı değişen çıktılar vermektedir.

Herhangi bir hidrolojik modelde tam kayıp kapasitesinin yüzdesi olarak her bir depolama bölgesinin başlangıç koşulları, sızma oranları ve sızma aktarım hızları gibi bölgelerdeki suyun hareketinin simülasyonunu çalıştırmak için gerekmektedir. Bunun için Şekil 5.3'te verilen grafik sistemi kullanılmaktadır [104].



Şekil 5.3 Kayıpların görsel olarak ifade edilişi

Modeldeki kayıplar, depolama katmanlarının içine, arasına ve dışına doğru olan su hareketini hesaplamaktadır. Bu hareket, yağış, yüzey akışı, evapotranspirasyon, sızma, süzülme ve yeraltı suyu akışı gibi çeşitli biçimlerde olabilmektedir. İlk kayıp, yüzey birikmeleri, buharlaşma bitki örtüsü etkisiyle yüzeysel akışta meydana gelen değişim ve yüzeysel akıştan önceki sızma dahil olmak üzere farklı bölümlerden oluşurken, perkolasyon ise suyun toprakta, belli bir kanal olmaksızın yeraltı su tabakasına doğru yaptığı hareket olarak tanımlanmaktadır. Kayıp denklemleri HEC-HMS Teknik Referans El Kılavuzundan (USACE, 2015) çıkarılmış ve aşağıda özetlenmiştir.

$$PotSoilInfil = MaxSoilInfil - \frac{CurSoilStore}{MaxSoilStore} MaxSoilInfil \qquad (5.5)$$

Burada Potansiyel sızıntı (mm); MaxSoilInfil (mm) maksimum sızma hızı, CurSoilStore (%) zaman adımının başlangıcında toprak deposundaki hacmin yüzdesi ve MaxSoilStore (mm)toprak depolamanın maksimum hacmidir.

$$PotSoilPerc = MaxSoilPerc\left(\frac{CurSoilStore}{MaxSoilStore}\right)x\left(1-\frac{CurGwStore}{MaxGwStore}\right) \quad (5.6)$$

$$PotGwPerc = MaxGwPerc\left(\frac{CurGw1Store}{MaxGw1Store}\right)x\left(1-\frac{CurGw1Store}{MaxGw2Store}\right) \quad (5.7)$$

Burada PotSoilPerc (mm/saat) potansiyel toprak sızma oranı, MaxSoilPerc (mm/saat) maksimum sızma oranıdır. CurSoilStore (mm) zaman adımının başlangıcında hesaplanan toprak deposu, CurGwStore (mm) Yeraltı 1 tabakası için hesaplanan yeraltı suyu deposu ve MaxGwStore (mm) maksimum yeraltı suyu deposudur. MaxGwPerc (mm/saat) maksimum yeraltı suyu 1 sızma oranıdır. CurGwStore (mm) yeraltı suyu 2 katmanı için hesaplanan yeraltı suyu deposu ve MaxGw2Store (mm) katman 2 için maksimum yeraltı suyu deposudur.

$$GwFlow_{t+1} = \frac{AcSoilPerc + CurGW_iStore - PotGW_iPerc - \frac{1}{2}GwFlow_tTime\ Step}{RoutGw_iStore + \frac{1}{2}Time\ Step} \quad (5.8)$$

$$GwVolume = \frac{1}{2}(GwFlow_{t+1} + GwFlow)xTime\ Step \quad (5.9)$$

Burada, GwFlowt ve $GwFlow_{t+1}$, sırasıyla t ve t+1 zaman aralığının başlangıcındaki yeraltı suyu akış hızlarıdır. ActSoilPerc, toprak profilinden yeraltı suyu katmanına geçen gerçek sızmadır. PotGwiPerc, yeraltı suyu katmanı i'den potansiyel sızmadır. RoutGwiStore, yeraltı suyu depolama i'den gelen yeraltı suyu akış yönlendirme katsayısıdır.

$$ActEvapSoil = PotEvapSoil\ x\ f(CurSoilStore, MaxTenStore) \quad (5.10)$$

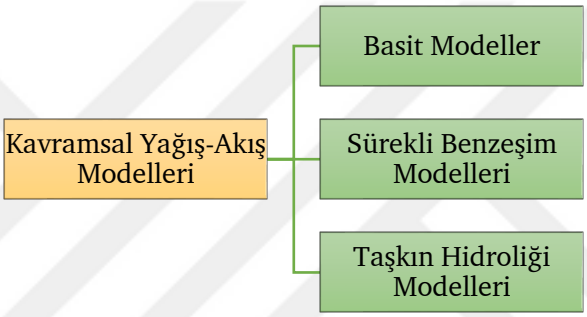
Burada ActEvapSoil, toprak depolamadan hesaplanan evapotranspirasyondur. PotEvapSoil, hesaplanan maksimum potansiyel evapotranspirasyon ve MaxTenStore (mm) maksimum gerilim deposudur.

5.2 Kavramsal Yağış Akış Modelleri

Su yapılarının tasarım ve işletmesi, sulama kurutma, su temini, yağmur suyu kanalizasyon, taşkın kontrolü, hidroenerji, erozyon ve sediment kontrolü,

tuzlanma kontrolü, navigasyon ve çevresel çalışmalarda debi parametresinin bilinmesi gerekmektedir. Yağışlardan meydana gelebilecek akışın tahmini su kaynaklarının projelendirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Bundan dolayı akış verilerinin yetersiz olduğu havzalarda (özellikle küçük ölçekli havzalarda) yağış-akış modellerinin kurulması gerekmektedir. Bu nedenle pekçok fiziksel ve veri tabanlı yağış-akış modelleri oluşturulmuştur. Yağışın akışa dönüşümü son derece karmaşık bir mekanizmadır. Bu karmaşıklık olayı doğası gereği belirsizlik ve rastgelelik içermektedir.

Günümüzde birçok yağış akış modeli mevcuttur. Kavramsal yağış-akış modelleri Şekil 5.1'de verildiği gibi üç sınıfa ayrılmaktadır [105], [106].



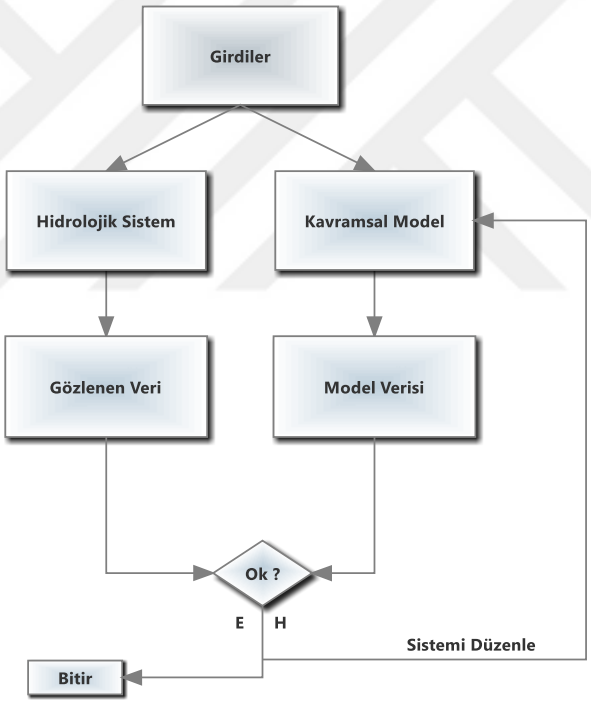
Şekil 5.4 Kavramsal yağış-akış modellerinin sınıflandırılması

Basit modeller taşkın hidrografının elde edilmesinin amaçlandığı bu modellerde, evapotranspirasyon, zemin nemindeki değişimler ve taban akımı gibi hidrolojik süreçler yer almamaktadır. Aralarında yağışsız süreler bulunan birden fazla yağış için kullanılmayan bu modellerde havza, alt havzalara ayrılarak bir yağış esnasında her bir alt havzaya düşen artık yağışın hidrografı belirlenmekte, hidrograflar akarsu boyunca ötelenip süperpoze edilerek havzanın çıkış hidrografı elde edilmektedir. Sürekli benzeşim modellerin de ise, hidrolojik süreçler ayrıntılı bir şekilde tanımlanması, havzaya düşen yağışın akışa dönüşümü, yağış düşmeyen sürelerde de zemin nemindeki değişim, evapotranspirasyon, doymuş ve doymamış bölgelerdeki yeraltısuyu akımı dikkate alınmaktadır. Hidrolojik süreçlerin tamamının yer aldığı bu modellerde kalibre edilmesi gereken parametreler basit modellere göre daha fazladır. Taşkın hidroliği kavramsal modelleri, su yüzeyi

profili, akarsu geometrisindeki değişimler, menfezler, köprüler ve sel yatağı etkisi dikkate alınarak kurulmaktadır [106].

5.3 Hidrolojik Modellerin Kalibrasyonu

Hidrolojik modelin kalibrasyonu (Şekil 5.2), havza parametrelerinin ölçümle elde edilemeyen değerleri ile doğrudan fiziksel anlamı olmayan parametrelerin değerlerini işleyerek, simüle edilmiş akış değerleri ile ölçülen akış değerlerini bir fonksiyon kullanarak en aza indirmektedir. Hidrolojik modelin kalibrasyonu elle veya otomatik olarak (model optimizasyonu) çalıştırılabilir. Manuel kalibrasyon, kullanıcının havzanın fiziksel özellikleri hakkındaki bilgisine bağlı olup, otomatik kalibrasyon da ise model parametreleri için yinelenen bir ayarlama ile seçilen objektif fonksiyona göre yapılır.



Şekil 5.5 Hidrolojik modelin kalibrasyonu

Kalibrasyon işleminin ardından, model farklı girdi setleri ile çalıştırıp elde edilen çıktıların, gözlenen çıktılarla olan uyumu kontrol edilmektedir. Doğrulama işlemi olarak adlandırılan bu işlemde, kalibrasyon sürecinde belirlenen model parametreleri ile model, farklı zamana ait girdiler ile çalıştırılmakta ve sonuçlar gözlemler ile karşılaştırılmaktadır. Doğrulama sonucunda elde edilen model

performansları istenilen seviyede değil ise modelde kullanılan parametre setleri değiştirilerek modelin kalibrasyonu tekrarlanmakta ve yeni model parametreleri bulunmaktadır [107].

5.4 Hidrolojik Model Adımları

Hidrolojik model aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilebilir [108].

- En uygun hidrolojik model tipinin seçimi

Araştırmanın amaçları, havza özellikleri, veri güvenliği ve finansal kısıtlamalar dikkate alınarak hidrolojik model türü seçilir.

- Gerekli verilerin işlenmesi

Günümüzde, modelleme için gerekli olan, yağış, sızma, arazi kullanımı, kanal özellikleri, akış hızları ve rezervuar gibi veriler uzaktan algılama yöntemleri ve diğer yeni teknolojiler kullanılarak elde edilmektedir.

- Metodoloji Seçimi

Metodolojinin seçimi, verilere ve çalışmanın amacına bağlıdır.

- Model Kalibrasyonu ve Doğrulaması

Kalibrasyon, simüle edilmiş akış ve gözlenen akış kaydının bir kısmı arasındaki hatayı azaltmak için model parametrelerini değiştirme işlemidir. Doğrulanma işlemi ise, bir modelin çok çeşitli hidrolojik koşullar üzerindeki sapmasını test etmek için kullanılmaktadır.

- Senaryo Oluşturma

Gelecek dönemlerin durumunu tahmin etmek için model simülasyonları yağışları, çeşitli arazi kullanımı koşulları, rezervuarlar ve kanallar için çeşitli kontrol şemaları altında geleceğe yönelik tahminler yürütülmektedir.

5.5 Hidrolojik Model Seçimi

Bilgisayar teknolojisi her alanda kolaylık sağladığı gibi hidrolojik modellerin kurulmasında da pek çok kolaylıklıklar getirmiştir. Hidrolojik modeller için pek çok farklı bilgisayar programı bulunmaktadır. Bu programlar mevcut eldeki

verilere göre ihtiyaca cevap vermektedirler. Bu tez çalışmasında, havzayı tanımlamak ve hidrolojik model similasyonu için bünyesinde pek çok yazılımı barındıran bilgisayar programı olan Havza Modelleme Sistemi (HMS) (Watershed Modeling System (WMS)) kullanılmıştır.

HMS, otomatik havza ve alt havza belirleme, geometrik parametre hesaplaması, hidrolojik parametre hesaplaması (CN, konsantrasyon süresi, yağış derinliği, vb.) dahil olmak üzere havza modellemenin tüm aşamaları için arayüzler sağlayan kapsamlı bir hidrolojik modelleme ortamıdır. Aynı zamanda, sonuçları görselleştirmesi ve bir Coğrafi Bilgi Sistemi'nde (CBS) farklı türdeki verilerin hızla birleştirilmesi olanağı sağlamasından dolayı, hidrolojik uygulamalarda önemli bir yer tutmaktadır.

HMS programı, 1985 yılında Brigham Young Üniversitesinin Çevre Modelleme Araştırma Laboratuvarı ve ABD Deniz Kuvvetleri Mühendisleri Su Yolları Deney İstasyonu işbirliği ile geliştirilmiştir. HMS programı otomatik havza belirleme, geometrik parametre belirleme, hidrolojik hesaplama, CBS yer paylaşımı işlemleri ve arazi kesitini çıkarma gibi su havzası modelleme aşamalarını otomatik olarak yapabilen, havza hidrolojisi ve hidroliğinin tüm aşamaları için kapsamlı bir grafik modelleme programıdır. Ayrıca HEC-1, TR-55, TR-20, Rational Method, NFF, HMS, OC Hydrology, MODRAT, SMPDBK, GSSHA, HEC-RAS, SWMM, HSPF ve HEC-HMS gibi kendisine entegre birçok programla birlikte çalışabilmektedir.

Bu çalışmada, yağış-akış modellemesi için Hidrolojik Mühendislik Merkezi Hidrolojik Modelleme Sistemi (HMM-HMS) (The Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modelling System (HEC-HMS)) kullanılmıştır. HMM-HMS, ABD Ordusu Mühendisler Birliği Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından hidrolojik modelleme için geliştirilmiş bir bilgisayar programıdır. HMM-HMS, büyük nehir havzalarından küçük nehir havzalarına kadar farklı coğrafi alanlar için havza sistemlerinin yağış-akış ilişkisini simüle etmek için tasarlanmış bir modeldir. Model, akış değeri için, kayıpların hesaplaması, akış hacminin hesaplanması, doğrudan akış ve taban akış hesaplamasının her bir bileşenini temsil etmek için farklı modeller içerir. Program, alt havza bileşeni ve bir toprak

nemi hesabı için bir algoritma kullanarak yarı dağıtılmış bir modelleme konseptini benimser.

HMM-HMS, model parametrelerini kalibre etmek için otomatik kalibrasyon algoritmaları içerir. Modeli kurmak için iki hidrolojik eleman olarak bir alt havza ve bir bağlantı noktası kullanılır. Sızma kaybı ve yağış-akış ilişkisinin dönüşümü süreci alt havza elemanı tarafından gerçekleştirilir. Bağlantı elemanı, gözlenen debi verilerini işler. HMM-HMS, tek bir yağış olayından veya birkaç ay hatta uzun yıllarıa ait yağış verilerinden hem kısa hem de uzun vadeli simülasyonları çalıştırmak için olanak sağlamaktadır.

HMM-HMS, model uygulanmasındaki ilk adım, havza modelinin tanımından oluşur. Havza sınırı ve direnaj ağı HMS tarafından hazırlanır ve HMM-HMS modeline aktarılır. HMM-HMS simülasyonu, simülasyon süresi, simülasyon zaman adımı ve metrolojik model dahil olmak üzere çeşitli simülasyon parametreleri tarafından kontrol edilir. Hidrolojik parametreleri tanımlamak için çeşitli yöntemler HMM-HMS modelinde mevcuttur.

5.5.1 Havza Tanımlanması

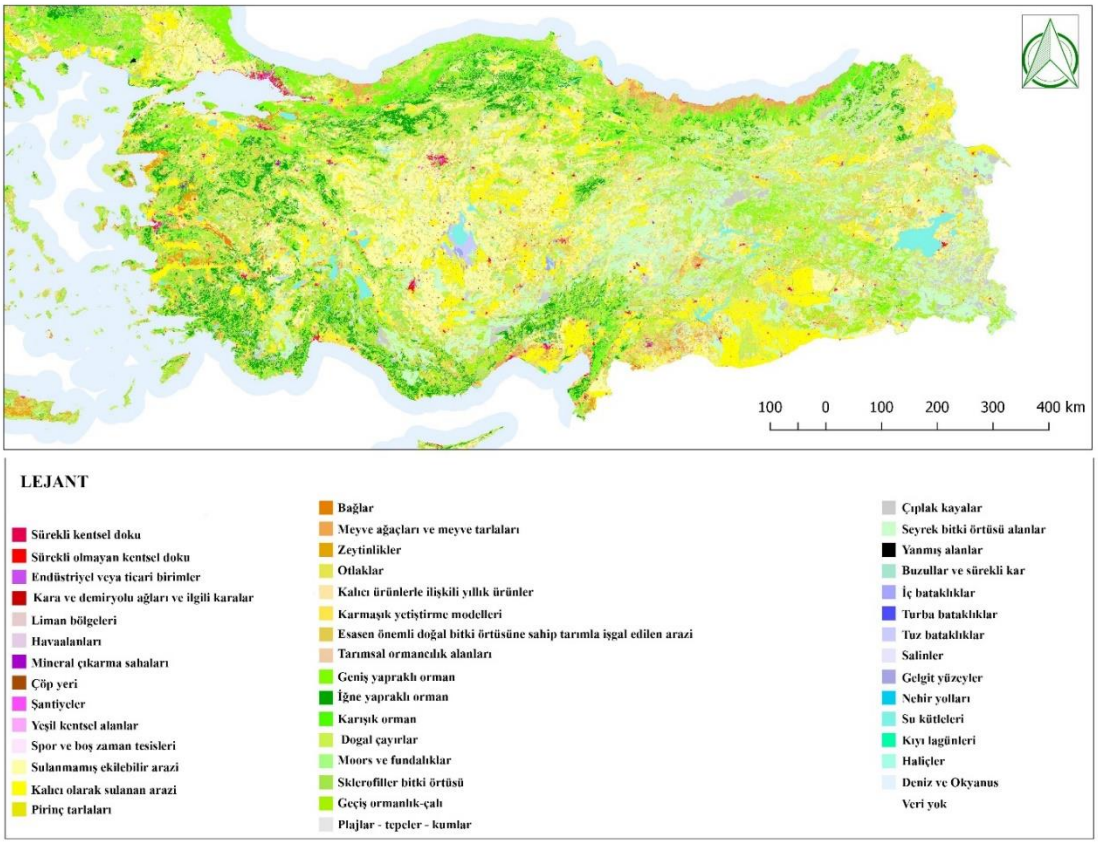
Bu çalışmada HMS programı versiyon 11.0 hidrolojik model kurulumu için kullanılmıştır. Batman ili alt havzası için havza sınırı, akarsu ağı ve çalışma alanı Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (Digital Elevation Model (DEM)) verileri kullanılarak HMS tarafından çıkarılmıştır. SYM verileri, çalışma alanı için akış yönünü ve akış birikimini hesaplamak üzere arazi kullanımı ve toprak tipi CBS dosyalarıyla birlikte TOPAZ mödülünde analiz edilmiştir. HMS programı ile her bir alt havzaya ait morfolojik özellikler çıkarılmıştır. Daha sonra HMS'deki HMM-HMS modeli (v.4.2) havza yağış-akış ilişkisi için hazırlanırken, modeli tamamlamak üzere her alt havza için ayrı ayrı yapılmıştır. Günlük yağış verileri günlük akışı simüle etmek için hazırlanmış ve gözlemlenen günlük akış verileri modeli kalibre etmek için kullanılmıştır.

5.5.2 Arazi Kullanımı

Alt havzalara ait arazi kullanımı, uydularla veri toplayan ve bunları dünyadaki sensör ağlarından gözlem verileri ile birleştiren Copernicus Arazi İzleme Servisinin (CORINE-2012) haritaları esas alınarak hazırlanmıştır. Copernicus Arazi İzleme Servisi, çok çeşitli kullanıcılara arazi kullanımı, arazi örtüsü özellikleri ve değişiklikleri, bitki örtüsü, su döngüsü ve toprak yüzey enerji değişkenleri hakkında coğrafi bilgi sağlamaktadır [109]. Modelde kullanılan Türkiye arazi kullanım haritası (CORINE-2012) Şekil 5.3'te ve harita teknik özellikleri de Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Arazi kullanım haritasının teknik özellikleri (CORINE-2012)

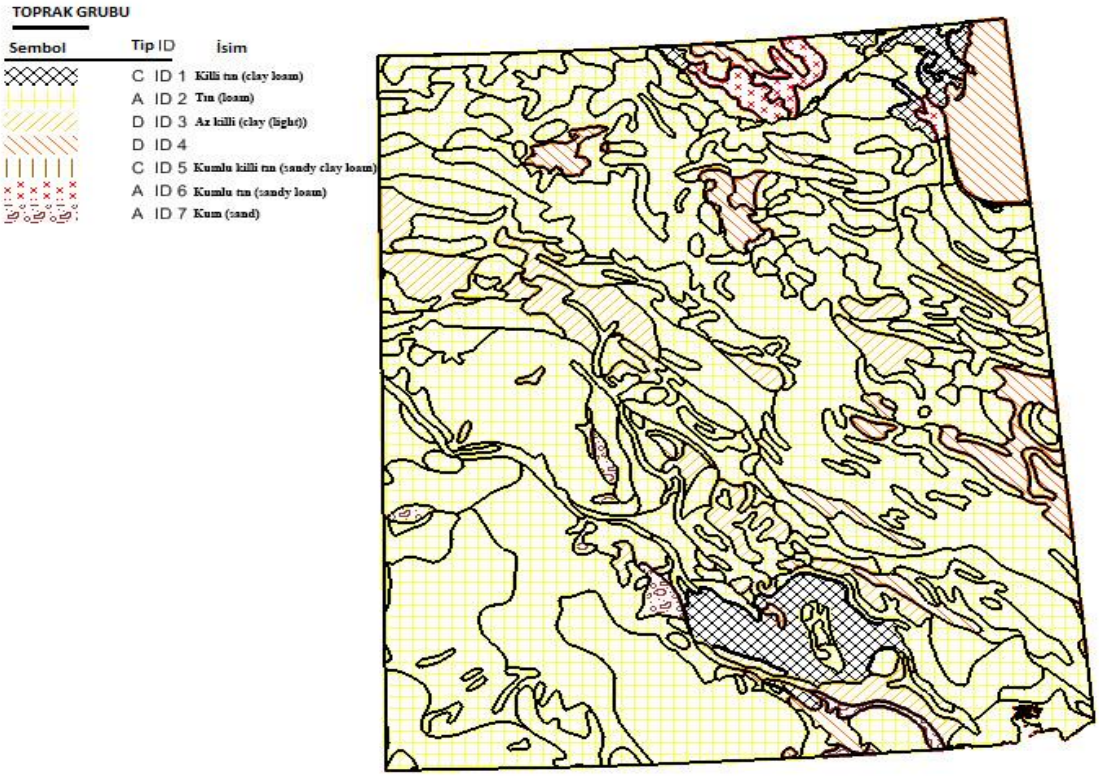
No	Özellikler	CLC 2012
1	Uydu verileri	IRS P6 LISS III ve hızlı göz, çift tarih
2	Zaman tutarlılığı	2011-2012
3	Geometrik doğruluk, uydu verileri	≤ 25 m
4	Min. harita birimi/genişliği	25 ha/100m
5	Geometrik doğruluk, CLC	100 metreden daha iyi
6	Tematik doğruluk, CLC	≥% 85 (muhtemelen ulaşıldı)
7	Haritalamada değişim (CHA)	Sınır yer değiştirme min. 100 m;
8	Tematik doğruluk, CHA	Tüm değişiklikler ≥5 ha olarak eşlenmelidir
9	Üretim süresi	≥ % 85
10	Belgeleme	2 years
11	Verilere erişim (CLC, CHA)	Standart meta veriler
12	İlgili ülke sayısı	Tüm kullanıcılar için ücretsiz erişim



Şekil 5.6 Türkiye'ye ait CORINE-2012 arazi kullanımın haritası

5.5.3 Toprak Dağılımı

Maksimum yüzey depolaması ve sızma oranı gibi havza ile ilgili verilerin geliştirilmesi için Büyük Toprak Grupları (BTG) ve sınıflarının bilinmesi gerekmektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) faydalı genellemeler sunan BTG'nı içeren uluslarüstü bir toprak sınıflandırma sistemi geliştirmiştir. HMS programı içinde bulunan (download edilebilen) bu büyük toprak grupları (Global Land Cover) kullanılmıştır. Çalışma alanına ait büyük toprak grubu haritası Şekil 5.4'te verilmiştir. Bu harita BTG ile birlikte toprak tipi ve hidrolojik toprak grubunu da içermektedir.



Şekil 5.7 Çalışma alanına ait büyük toprak grubu haritası ve hidrolik toprak grubu

5.5.4 SCS-Eğri Numarası-Kayıp Modeli

SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number) olarak da adlandırılan bu ampirik model, sızma kaybını simüle edebilen yağış-akış modelleme yöntemlerinden biridir. SCS-CN değeri, 0 ila 100 arasında değişen bir havza parametresi olup değeri hidrolojik toprak grubuna, toprak örtüsü tipine ve değişimine, göz önüne alınan alandaki geçirimsiz alanların yüzdesine ve toprağın başlangıç nem durumuna bağlı olarak değişmektedir. Eğer düşünülen alan farklı CN'lere sahip birkaç türden oluşuyorsa, tüm alan için ağırlıklı bir ortalama veya bileşik CN hesaplanmalıdır. Çeşitli arazi kullanımı türleri için önerilen CN değerleri Tablo 5.2'de verilmiştir. Dört adet toprak grubu için CN'ler (A'dan D'ye) tabloda gösterildiği gibi olup bu gruplar, minimum sızma hızlarına göre SCS tarafından tanımlanmaktadır. A grubu toprak maksimum sızma kapasitesine sahipken, D grubu toprak ise en düşük sızma kapasitesine sahiptir. Bu grupların toprak dokuları aşağıdaki gibidir;

- A grubu kum, killi kum ve kumlu tınlı içerir.
- B grubu silt tın ve tın içerir.
- C Grubu kumlu kil tın içerir
- D Grubu kil tın, silt kil tın, kumlu kil, silt kili ve kili içerir.

Akım ölçümü olmayan akarsularda dolaysız akışı hesaplamak için bu yöntemde aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a)^2 + S_r} \tag{5.11}$$

Burada R aşırı yağış (mm), P yağış (mm), I_a ilk kayıp (mm) ve S_r akışın başladığı saatte (yağış yerine) potansiyel maksimum toprak nem tutma kapasitesidir (mm).

İlk kayıp, yüzey birikmeleri, buharlaşma bitki örtüsü etkisiyle yüzeysel akışta meydana gelen değişim ve yüzeysel akıştan önceki sızma dahil olmak üzere farklı bölümlerden oluşur. Genellikle $I_a = 0.2S_r$ olduğu kabul edilir. Bu değer yukardaki denklemde yerine konulduğunda;

$$R = \frac{(P - 0.2S_r)^2}{P + 0.8S_r} \tag{5.12}$$

İfadesi elde edilir.

Bu denklem $P>0.2S_r$ için geçerlidir. Diğer durumlarda, R'nin $0.1*I_a$'ya eşit olduğu kabul edilir. Bu kabullere göre denklem (5.2) düzenlenirse S_r'yi tahmin etmek için kullanılan amprik ilişki aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$S_r = \frac{1000 - 10CN}{CN} \tag{5.13}$$

Burada CN eğri numarasını ifade etmektedir. Çeşitli araştırmalar sonucunda farklı toprak cinsleri ve arazi kullanım şekilleri için bir CN değeri belirlenmiştir (Tablo 5.2).

Tablo 5.3 Çeşitli arazi kullanımı türleri için önerilen CN değerleri

Zeminin kullanılış şekli		**Hidrolik toprak grupları**			
		A	**B**	**C**	**D**
İşlenmiş toprak	Korumasız	72	81	88	91
	Korumalı	62	71	78	81
Otlak	İyi durumda	68	79	86	89
	Kötü durumda	39	61	74	80
Çayır		30	58	71	78
Orman	Zayıf örtü	45	66	77	83
	İyi durumda örtü	25	55	70	77
Açık yüzeyler: Çimen, Park, Mezarlık gibi	İyi durumda	39	61	74	80
	Kötü durumda	49	69	79	84
Ticaret ve iş bölgeleri		89	92	94	95
Sanayi bölgeler		81	88	91	93
Konut bölgeleri					
Ortalama parsel alanı	Ortalama geçirimsiz yüzde				
500 m^2 veya daha az	65	77	85	90	92
1000 m^2	38	61	75	83	87
1500 m^2	30	57	72	81	86
2000 m^2	25	54	70	80	85
4000 m^2	20	51	68	79	84
Kaplamalı park alanları, çatılar vs.		98	98	98	98
Yollar					
Kaplamalı, bordürlü, yağmur suyu toplamalı		98	98	98	98
Çakıl		76	85	89	91
Toprak		72	82	87	89

5.5.5 Clark Birim Hidrograf Metodu

Clark birim hidrograf metodu, dolaysız akış dönüşümünde, iki işlemi (öteleme ve azalma) temsil ederek bir havza için birim hidrografı üreten sentetik bir birim hidrograf yöntemidir. Öteleme, artık yağışın havza çıkış noktasına doğru olan hareketidir. Azalma ise havza tarafından tutulan suyun gecikmeli olarak akışa katılmasıdır.

Suyun havzada içerisinde kısa vadeli olarak tutulması (toprakta, bitkilerin üzerinde, yüzeysel depoda veya kanallarda), yağış gecikmeli olarak akışa dönüşmesinde önemli rol oynamaktadır. Depolama etkileri doğrusal bir rezervuar modelidir. Bu depolama etkisi doğrusal bir rezervuar modeline benzetilebilir. Doğrusal rezervuar modeli süreklilik denklemi ile verilebilir:

$$\frac{ds}{dt} = I_t - O_t \tag{5.14}$$

Burada ds/dt belli bir zaman aralığında meydana gelen depolama hacmindeki değişimi, I_t belli bir zaman aralığında depoya giren ortalama akım miktarı, O_t belli bir zaman aralığında depoyadan çıkan ortalama akım miktarıdır. Doğrusal hazne modeli ile toplam depolama miktarının çıkış debisine bağlı olarak değişimi aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$S_t = RO_t \tag{5.15}$$

Burada R sabit doğrusal hazne parametresidir. Bu denklemler basit bir sonlu farklar yaklaşımı ile çözülürse:

$$O_t = C_A I_t + C_B O_{t-1} \tag{5.16}$$

elde edilir.

Burada C_A ve C_B öteleme katsayılarıdır ve aşağıdaki ifadelerden hesaplanır.

$$C_A = \frac{\Delta t}{R + 0.5\,\Delta t} \tag{5.17}$$

$$C_B = 1 - C_A \tag{5.18}$$

Burada Δt zaman adımını gösterir.

Clark Birim Hidrograf metodunda, tüm havza depolarının toplam etkileri doğrusal rezervuar ile temsil edildiğinden kavramsal olarak bu, rezervuarın havza çıkışında bulunduğu anlamına gelir. Buna ek olarak, Clark Birim Hidrograf metodu,

doğrusal bir kanal modeli kullanarak akışın havza çıkışına taşınması için gereken süreyi hesaplar. Bunlar;

Toplanma zamanı (T_{lag}): Yağış sonucu oluşan yüzey akışın drenaj havzasındaki en uzun geçiş zamanına sahip olan noktadan çıkış ağzına gelmesi için gerekli olan zamandır.

Depolama katsayısı (R): Bir akiferin birim yük değişimi altında birim akifer yüzey alanından depolamaya aldığı veya depolamadan dışarı verdiği su hacmidir.

Farklı olarak geliştirilen denklemler yardımıyla toplanma zamanı belirlenebilinmektedir. Bu çalışmada kullanılan HMS programındaki denklemler aşağıdaki gibidir.

$$L^{0.8}\frac{\left(\frac{1000}{CN}-10\right)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}} \tag{5.19}$$

$$R = TI/0.6 \tag{5.20}$$

Burada CN, SCS eğri numarası, L havza uzunluğu (ft), Y Havza eğimi (%), R depolama katsayısı olup denklem 5.9'dan elde edilen değer toplanma zamanın (T_{lag}) bulunması için gerekli olan parametreyi verir.

5.5.6 Baz Akım

Baz akım, yeraltı suyu ile beslenen akarsularda dolaysız akış üzerine katkıda bulunan akış miktarını ifade eder. HMM-HMS baz akım için, sınırlı durgunluk metodunu (Bounded Recession) sabit aylık değişken (Constant Monthly) metodunu ve liner rezervuar (Lineer Reservoir) gibi sürekli hidrolojik simülasyon içeren akış metotlarını kullanır.

5.5.7 Model Kalibrasyonu ve Doğrulanması

HMM-HMS modelindeki kalibrasyon, simülasyonlu sonuçların gözlemlenen akışa en iyi şekilde uyması için parametreleri sistematik bir şekilde simule ederek akış verileri arasındaki sapmayı otomatik olarak en aza indirmek için kullanılan bir yöntemdir. Kalibrasyon prosedürü, gerekli yağış-akış zamanı serisi verilerinin

toplanmasıyla başlar. Yağış ve akış gözlemleri aynı döneme ait olmalıdır. Akış zaman serisi, seçilen yağış zaman serisi verileri sırasında tüm akışı temsil etmelidir. Bir sonraki adım, model başlangıç tahmin parametrelerini seçmektir. Bu adımda model, simüle edilen sonuçları gözlemlenen akış verileri ile karşılaştırmaya başlar. Bu karşılaştırmanın amacı, modelin çalışma havzası için gerçek hidrolojik parametrelere nasıl uyduğunu değerlendirmektir. Simüle edilmiş bir akış değerini gözlemlenen akış verileriyle karşılaştırmak için model, değerler arasındaki farkın minumum dğerini veren optimum parametreleri hesaplar.

Bu çalışmada, model performans değerlendirilmesi Nash-Sutcliffe Verimliliği (NSE) [110], [111] ve Bağıl Hacim Hatası (BHH) [112] model performans göstergeleriyle yapılmıştır. Model performans denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_o - Q_m)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_o - \hat{Q}_o\right)^2} \tag{5.21}$$

$$\mathrm{BHH} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_0 - Q_m)}{\sum_{i=1}^{n} Q_0} \tag{5.22}$$

Burada Q_0 (m^3/s) gözlemlenen debi değeri, Q_m (m^3/s) modellenen akım değeri, $\hat{Q}$ (m^3/s) gözlenen akım değerlerinin ortalaması, n gözlem sayısıdır.

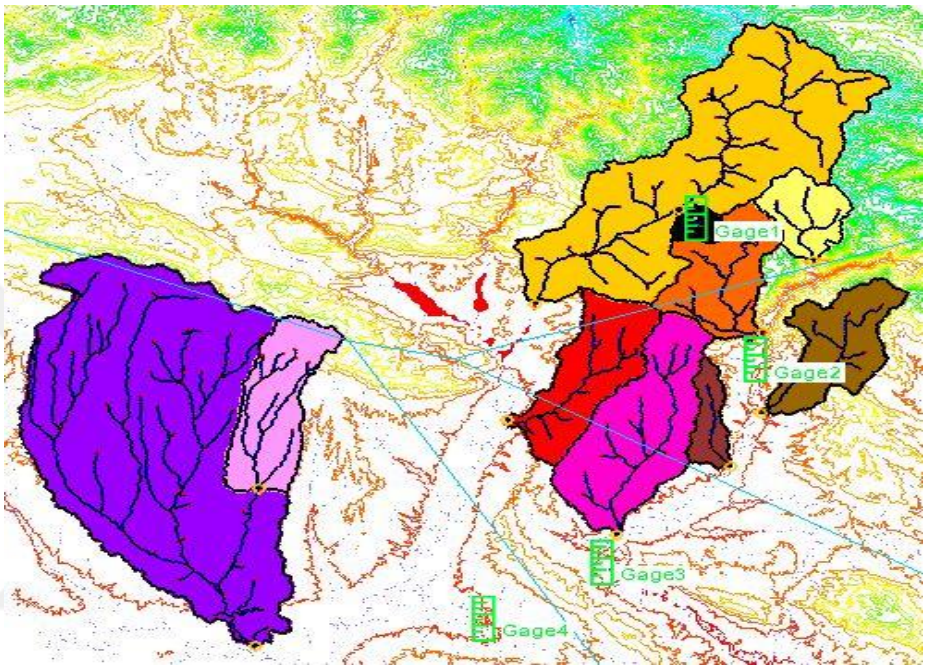
NSE katsayısı, simüle edilen akış değeri ve gerçek gözlemlenen akış değerleri arasındaki uyumu araştırmak için uygulanan bir yöntemdir. NSE katsayısı -∞ ile 1 arasında bir değer almaktadır. NSE 1 olduğunda, gözlemlenen değerlerin simüle edilenlerle aynı olduğu anlamına gelir, ancak NSE, 0 ile 1 arasındaysa, gözlemlenen ve simüle edilen değerler arasındaki sapmalar olduğunu gösterir. NSE katsayısı negatifse, optimizasyonun iyi olmadığı ve ortalama çıktı değerlerinin modelden elde edilenlerden daha iyi olduğunu gösterir. BHH, optimum değeri 0 olmakla birlikte -∞ ve +∞ arasında değişebilmektedir.

5.5.8 Akım ve Hidrometeorolojik Verileri

Yağışlar, havza içinde ve çevresinde bulunan dört yağmur istasyonuna dayanan Thiessen Poligon Yöntemi kullanılarak enterpole edilmiştir (Batman, Kozluk, Sason ve Beşiri istasyonları). Havzada bulunan istasyonlara ait Thiessen Poligon

dağılımı Şekil 5.5'te verilmiştir. Buradaki Gage 1 (Sason), Gage 2 (Kozluk), Gage 3 (Beşiri), Gage 4 (Batman) istasyonları ifade etmektedir.

Akım verisi olarak referans havza olarak seçilen Başköy (BD) ve Çelebiyan derelerine (ÇD) ait AGİ verileri kullanılmıştır. D26A060 (Başköy) ve D26A012 (Çelebiyan) nolu AGİ'den 2005-2011 yıllarına ait toplam 7 yıllık akım verisi göz önüne alınmıştır.



Şekil 5.8 Thiessen Poligonu dağılımı

5.5.9 Referans Havza (Proxy Basin) Modeli

Referans (proxy) Havza Modeli, yağış-akış bilgisi olmayan havzalar için standart tekniklere dayalı hesaplamalar yapabilmektedir. Buna karşın normal modeller yağış-akış bilgisi olan havazalar için hesaplama yöntemine sahiptir. Bu modelin en önemli özelliği, basit coğrafi türden bilgileri, farklı arazi kullanım türlerini, iklim tiplerini ve diğer çevresel değişiklikler arasındaki değerleri havzalar arasında aktarılabilme özelliğine sahip olmasıdır. [113], [114].

Bu çalışmada, AGİ'si bulunan havzaya ait kalibre edilmiş parametre değerleri, AGİ'si bulunmayan havzalara aktarılmış ve aynı zamanda her bir alt havza için hidro-meteorolojik seriler korunmuştur. Parametre aktarılabilirliğinin

performansını test etmek için önceki adımlarda anlatılan model performans göstergeleri kullanılmıştır.

5.5.10 AGİ'si Olmayan Alt Havzalar İçin Yağış-Akış İlişkisi

Akım gözlem istasyonu olmayan alt havzalarda akış simülasyonu oluşturmak için, hem yağış hem de akış kayıtlarının bulunması ve ayrıca bunları kalibre etmek için mevcut birkaç akış ölçerin kullanılmasını gerekir. Modeldeki pik değerlerinin büyüklüğü ve zamanlaması, gözlemlenen değerlere yeterince yaklaştığında, bu parametreler ölçümü olmayan havzalara aktarılmıştır. Bu çalışmada, alt havzalara ait fiziksel parametreler (alanlar, uzunluklar ve eğimler gibi ölçülebilen parametreler) ile Clark Birim Hidrograftan elde edilen standart gecikmeler (saat) dışındaki, simülasyon sonucunda elde edilen veriler diğer alt havzalara aktarılmıştır. Alt havzalara ait fiziksel parametreler ve standart gecikmeler HMM-HMS arayüzünde manuel olarak tanımlanmıştır. Buna göre yağış-akış ilişkisi için elde edilen giriş ve çıkış değerleri simüle edilmiştir. HMM-HMS giriş değerli ve alt havza parametreleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.4 HEC-HMS giriş değerleri ve alt havza parametreleri

No	Parametreler	ÇD	BD	Sınır değerler*
1	Max infiltration (mm/hr)	0.504253	0.681	0.01-20
2	Soil storage (mm)	100.824	113.3367	0-120
3	Tension storage (mm)	41.83433	39.74433	0-75
4	Soil percolation (mm/hr)	1.048267	0.869	0.01-10
5	GW 1 storage (mm)	40.263	39.35433	0-75
6	GW 1 percolation (mm/hr)	0.576337	0.419333	0.01-1
7	GW 1 coefficient (hr)	240.4433	265.08	100-1000
8	GW 2 storage (mm)	53.464	42.14633	0-75
9	GW 2 percolation (mm/hr)	0.5083	0.489667	0.01-1
10	GW 2 coefficient (hr)	320.5933	313.0433	100-1000

*Kaynak [104]

6
HİDROMETRİK ÖLÇÜMLER

6.1 Giriş

Hidrometri, su ölçümü anlamına gelemektedir. Hidrometri, açık kanal akımı ölçümü olarak bilinen, su seviyesi ölçümlerini, akarsu yatak ölçümlerini ve sediment taşınımı ölçümleri gibi akarsu ve akıma ait tüm ölçümleri içeririr. [115].

Akarsular temel su ihtiyacını karşılamanın yanında, sulama suyu temininde, hidroelektrik santraller yardımıyla elektrik üretiminde, taşımacılıkta ve ekolojik dengenin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu bakımdan akarsulardaki akım özelliklerinin miktar ve kalite bakımından belirlenmesi önem arz etmektedir [116].

Debi ölçümlerinin amacı akarsuyun herhangi bir kesitindeki su seviyesini ve kesitten geçen debiyi (birim zamanda geçen su hacmini) zamana bağlı olarak belirlemektir [117]. Ölçmeye dayalı debilerin belirlenmesi doğrudan debi ölçümleri veya hız-alan ölçümüne dayanan yöntemler şeklinde yapılmaktadır.

Bu çalışmada, hız ölçme esasına dayalı olan Yüzgeçler ve Pitot Tüpü Yöntemleriyle, Batman İli alt havzasında yer alan, akım gözlem istasyonu bulunmayan sekiz adet küçük dere üzerinde anlık debi ölçümleri yapılmıştır.

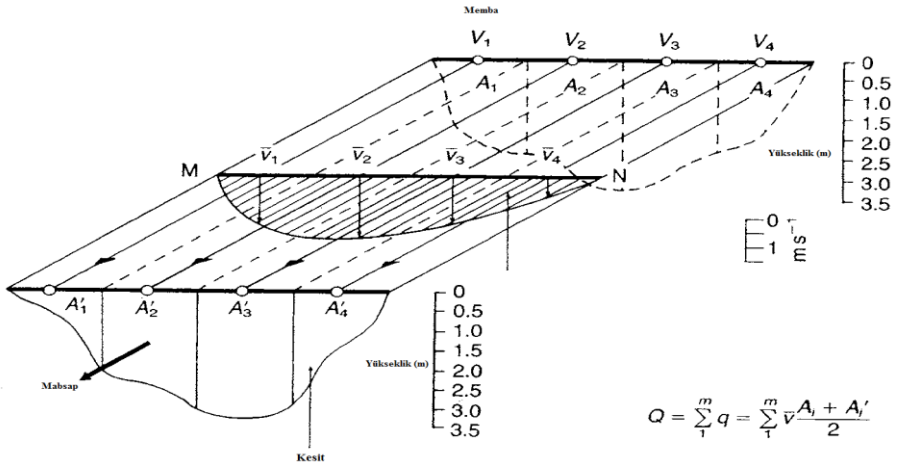
6.2 Hız Ölçme Esasına Dayanan Yöntemler

Açık kanal akımlarında debi enkesit üzerinde yapılacak hız ölçümleri yardımıyla hassas olarak belirlenebilmektedir. Debi, akarsu kesitini dilimlere ayırarak (Şekil 6.1) ve bu dilimlerin her birindeki V_i (m/s) ortalama hızı ve A_i (m^2) kesit alanını ölçmek suretiyle denklem (6.1) yardımıyla hesaplanabilir.

$$Q = \sum V_i A_i \tag{6.1}$$

Bu yöntemin en önemli yanı hız ölçümüdür. Kanal kesitinde ortalama hız ve maksimum hız (V_{max}) oranının sabit olduğu Chiu ve Said [118] tarafından söylenmiştir. Bu oran ile ortalama hıza göre daha kolay belirlenebilen maksimum hız kullanılarak debinin hesaplanabileceğini ifade etmişlerdir. Maksimum hızın enkesit üzerinde, maksimum hızın düşeyde su yüzeyine yakın bölgede oluştuğu belirtilmektedir [119].

Bu tez çalışmasında daha pratik ve daha ekonomik olmasından dolayı debi ölçme yöntemlerinden sadece hız ölçme esasına dayalı olan, Yüzgeçler Yöntemi ve Pitot Tüpü Yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 6.1 Bir akarsu kesitinde debinin hesaplanması [120]

6.2.1 Yüzgeçler Yöntemi

Yüzgeçler Yöntemi ile debi tahmini diğer ölçme yöntemlerinin uygulama olanağı bulunmayan durumlarda veya araştırma amaçlı çalışmalar için veri toplanmasında kullanılmaktadır. Yüzgeçler, su üstünde yüzecek ve dış etkenlerden en az etkilenecek şekilde hafif bir malzemeden olması gerekmektedir. Bunun için ağzı yüzeyde kalacak şekilde su ile doldurulmuş veya içine ağırlık konulmuş kapaklı bir şişe, uygun bir tahta parçası, top, portakal v.s. cisimler aynı amaçla kullanılabilir [121].

Bu yöntemle debiyi hesaplamak için iki bilgiye ihtiyaç vardır. Bunlar akış hızı ve enkesit alanıdır. Akış hızı, yüzgecin derenin oldukça düzgün seyrettiği bir kısımda mesafesi bilinen iki ayrı kesit arasındaki geçiş süresini ölçmek (t) ve bu uzunluğu

(L), geçiş süresine bölerek belirlenebilir. Enkesit alanı ise ölçüm yapılan kesimdeki giriş ve çıkıştaki enkesit alanlarının ortalamasıdır.

$$Vs = L/t \tag{6.2}$$

Burada V_s yüzey hızı (m/s), L iki kesit arasındaki uzunluk (m), t zaman (s)'dır.

Yüzgeçlerle debi tahmin yönteminde hız belirleyici bir parametredir. Bu yöntem ucuz ve seri ölçme yapılmasına rağmen, sadece yüzeydeki hızı belirleme olanağı sunar. Suyun yüzey hızı ile yüzey altı hızı farklı olduğundan, yüzeyde ölçülen hız bir düzeltme katsayısı ile çarpılarak ortalama hız elde edilmektedir. Bunun için farklı düzeltme katsayıları tavsiye edilmiştir. Beyazıt [117] bu değerin 0.80 ile 0.90 arasında seçilmesi gerektiğini, Michaud J. P. ve Wierenga M. [122] raporunda bu değerin 0.80 alınmasını, Hydromatch firmasının raporunda bu değerler bir tablo şeklinde verilmiş, tabloda dere yatağı ve akış şekline göre seçim yapılması gerektiğini ifade etmiştir (Tablo 6.1), Dağdelen [123] düzeltme katsayısını 0.75 olarak kullanmış ve bu konuda Özal [124] yüzey hızından ortalama kesit hızına geçmek için yatağın pürüzlük durumunun (n) dikkate alınarak Tablo 6.2'nin kullanılmasını önermiştir.

Tablo 6.1 Dere yatağı ve akış şekline göre düzeltme katsayısı

Akış tipi	Düzeltme faktörü	Hassasiyet
Pürüzsüz kenarları ve yatağı olan dikdörtgen bir kanal	0.85	İyi
Derin yavaş haraket eden bir akıntı	0.75	Kabul edilebilir
Pürüzsüz yataklı küçük bir dere	0.65	Zayıf
Hızlı, türbülanslı bir dere	0.45	Çok zayıf
Çok sığ, kayalıklı bir dere	0.25	Çok zayıf

Tablo 6.2 Ortalama kesit hızı ile yüzey hızı arasındaki ilişki

Hidrolik yarıçap (R) (m)	Manning katsayısı				
	n=0.021	n=0.024	n=0.028	n=0.037	n=0.045
0.5	0.74	0.69	0.65	0.61	0.52
1.0	0.77	0.73	0.69	0.65	0.58
2.	0.79	0.76	0.73	0.69	0.64
3.0	0.81	0.78	0.75	0.72	0.68
4.0	0.81	0.79	0.76	0.74	0.7
5.0	0.82	0.79	0.77	0.75	0.71
6.0	0.82	0.8	0.78	0.76	0.72
8.0	0.83	0.81	0.79	0.77	0.73
10.0	0.83	0.82	0.8	0.78	0.75
12.0	0.84	0.82	0.81	0.79	0.76
14.0	0.84	0.82	0.81	0.79	0.77
16.0	0.84	0.82	0.81	0.79	0.77

6.2.2 Pitot Tüpü Yöntemi

Basınç esasına göre çalışan bu cihazlar, dik açı yapacak şekilde kıvrılmış iki ucu açık L şeklinde bir tüptür. Borunun bir ucu, ağzı akış doğrultusuna dik olmak üzere suya daldırıldığında içerisindeki su sütunu akış sonucu kazanılan hız yükü nedeniyle diğer kıvrımda bir miktar yükselerek bir seviye değişikliği (h) meydana getirecektir. Akarsudaki su seviyesi ile tüp içindeki su seviyesi arasındaki fark (h) hız yükünü (denklem 6.3) vermektedir.

Pitot Tüpünün en büyük dezavantajı düşük hızlarda seviye yükselmesinin azlığı nedeniyle karşılaşılan okuma zorluluğudur. Fakat bu zorluğu ortadan kaldırmak için değişik tipte statik tüpler ve hassas okumalar sağlayan elektronik cihazlar geliştirilmiştir. Bunlar özellikle, dere yataklarında savaklanmanın ve ani düşülerin olduğu kesitlerde meydana gelen yüksek akım hızlarının ölçümü için diğer cihazlar göre daha iyi sonuçlar vererek üstünlük sağlarlar [101].

$$h = V^2/2\mathrm{g} \tag{6.3}$$

Burada h su sütünü yüksekliği (m), V hız (m/s), g yerçekimi ivmesi (m/s^2)'dir.

Açık kanallarda su yüzeyinde atmosferik basınç hâkim olduğundan (manometrik basınç=0) statik yükün değeri sıfıra eşdeğerdir. Bu sebeple, pitot tüpünde su seviyesi üzerinde kalan su yüksekliği hız yükünü verir.

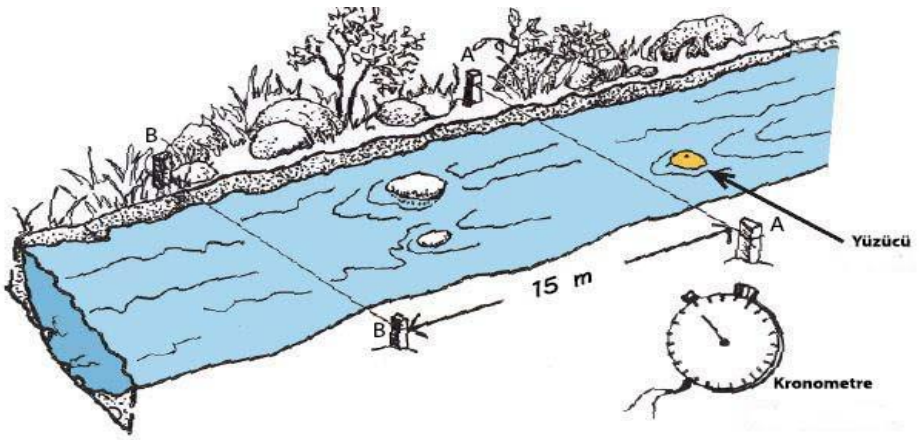
6.3 Yöntemlerin Uygulanması

6.3.1 Yüzgeçler Yönteminin Uygulanması

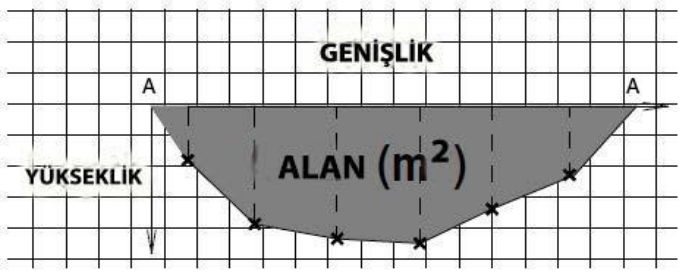
Seçilen derelerde büyük debilerde çalışabilmek amacıyla derelerin mansaba yakın kısımları tercih edilmiş olup hız ölçümleri derelerin düz kısımlarında ve yüzey hızlarının fazla değişmediği pürüzsüz bölgelerde yapılmaya çalışılmıştır. Derelerin enkesit alanlarını belirlemek için 15 m aralıkla iki kesit göz önüne alınmış ve en kesitleri çıkartılmıştır (Şekil 6.3). Enkesitleri çıkartılan bu iki kesitten ortalama en kesit belirlenmiştir (Şekil 6.3). Ardından enkesitler boyunca düzenli aralıklarla suyun derinliği bir eşel yardımıyla ölçülmüştür. Tutarlı sonuçlar elde etmek için yüzgeçlerin geçiş süresi en az üç kez tekrarlanmıştır. Bu sürelerin ortalaması alınarak ortalama yüzey hızı elde edilmiştir. Daha sonra ortalama yüzey hızı düzeltme katsayısı ile çarpılarak ortalama hız bulunmuştur. Çalışma alanında bütün dereler için düzeltme katsayısı 0.85 olarak alınmıştır.

$$V_i = \alpha \text{ x } V_s \tag{6.3}$$

Burada V_i Ortalama hız (m/s), α Düzeltme katsayısıdır, V_s Yüzey hızıdır (m/s).



Şekil 6.2 Yüzgeçler ile debi tahmininin şematik gösterimi



Şekil 6.3 Dere enkesit alanın hesaplanmasının şekilsel gösterimi

Debi tahmini için denklem (6.1) kullanılarak derelerin yaklaşık debi değerleri elde edilmiştir. Yüzgeçler Yöntemiyle akarsular üzerinde yerinde yapılan ölçümlere ait arazi çalışma fotoğrafları Şekil 6.4'te verilmiştir.







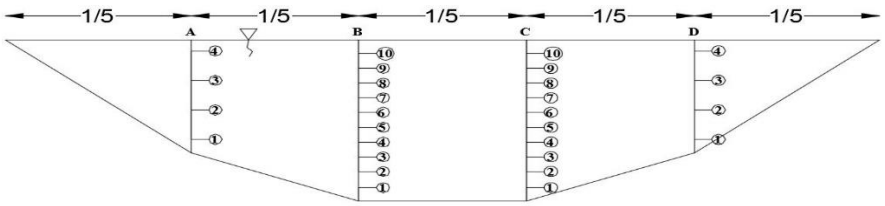




Şekil 6.4 Yüzgeçler Yöntemi ile yüzey hızı ve enkesit belirleme çalışmaları

6.3.2 Pitot Tüpü Yönteminin Uygulanması

Yüzgeçler Yönteminde göz önüne alınan enkesitlerde Pitot Tüpü ilede ölçüm yapılmıştır. Bu enkesitler boyunca minimum üç ölçü düşeyi göz önüne alınmıştır. Göz önüne alınan bu ölçü düşeylerin, kıyı kesimlerine yakın bölgelerde düşeyde minumum dört derinlikte, derenin orta kısmınlarında ise minumum on adet derinlikte ölçüm değerleri alınmıştır (Şekil 6.5). Akarsu üzerinde yerinde yapılan ölçümlere ait arazi çalışma fotoğrafları Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.5 Pitot Tüpü ile ölçüm alınan noktalar



Şekil 6.6 Pitot Tüpü ölçümü, su seviyesi belirleme ve enkesit belirleme çalışmaları

7
HİDROENERJİ POTANSİYEL BELİRLEME YÖNTEMLERİ

7.1 Giriş

Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinin başta kinetik, daha sonra mekanik enerjiye dönüştürülmesiyle sağlanan enerji türüdür. Hidroelektrik santrallerin yenilenebilir enerji kaynağı ve çevre dostu olmalarının yanı sıra, yatırımlarındaki yerli kaynak oranının yüksek oluşu, ekonomik ömürlerinin uzun oluşu, işletme giderlerinin düşük oluşu nedenleriyle enerji yatırımında birinci önceliği alması gerekmektedir.

Ülkemizde büyük ölçekli biriktirmeli hidroelektrik santrallerin planlanması ve yapımı büyük ölçüde bitmiştir. Yenilenebilir enerjiye olan ilginin artması ile küçük hidroelektrik santraller (KHES) ön plana çıkmaktadır. Ayrıca Türkiye'nin enerji mevzuatının Avrupa Birliği (AB) müktesebatına bağlı olarak değişmesinden dolayı küçük su kaynaklarının da değerlendirilmesine fırsat tanınmaktadır. Küçük hidroelektrik santraller nehrin doğal akışını kullandıkları için biriktirmeli barajlardan ayrılırlar ve çalışma prensipleri büyük hidroelektrik barajlarından farklıdır.

Türkiye'de küçük ölçekli hidroelektrik enerjisi için hâlen keşfedilmemiş olan değerli bir yenilenebilir enerji kaynağı olduğunu ve günümüzde ekonomik olarak geliştirilebilecek küçük ölçekli hidroelektrik enerjisinin, enerji kaynaklarına faydalı bir katkı olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

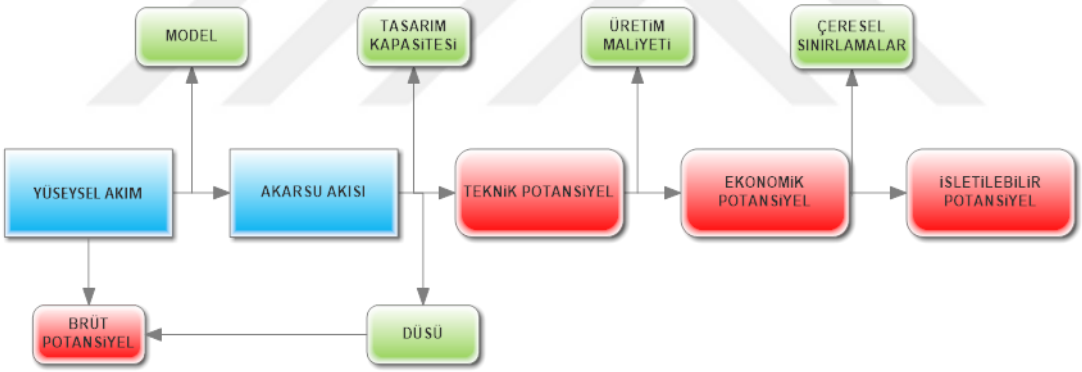
Türkiye'de hidroenerji potansiyeli kullanılabilme aşamasına gelmiş, fakat hidrometrik ölçümleri daha yapılmamış pek çok alt havza mevcuttur. Arazi eğimlerinin yüksek olduğu Doğu Anadolu, Güney Doğu Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz bölgelerindeki akarsular önemli seviyede hidroenerji potansiyeline sahiptir [125]. Bu akarsuların birçoğunda AGİ bulunmadığı için hidroenerji

potansiyelleri henüz tespit edilememiş, ayrıca KHES potansiyelleri de belirlenememiştir. HES potansiyelinin değerlendirilmesi adına şimdiye kadar yeterli sayıda çalışmada yapılmamıştır [1].

Herhangi bir akarsu kaynağı üzerinde bir hidroelektrik santral projesi tasarlandığında, projelendirmede kullanılacak en önemli iki parametre; akarsuyun debisi ve düşüsüdür. Bu parametrelere bağlı olarak hidroenerji belirlenmektedir. Hidroenerji potansiyeli topografya ve hidrolojinin bir fonksiyonudur. Topografyadan yükseklik, hidrolojiden de debi tespit edilerek hidroenerji belirlenmektedir. Bir bölgenin hidroelektrik potansiyeli;

- Brüt potansiyel
- Teknik potansiyel
- Ekonomik potansiyel
- İşletilebilir potansiyel

olmak üzere dört sınıfta incelenmektedir (Şekil 7.1) [126].



Şekil 7.1 Hidroenerji potansiyel geliştirme metodolojisi

Şekil 7.1'deki çerçeve, yüzeysel akış ve akarsu akışını içeren, hidrolojik bir modelden alınan bilgilere dayanmaktadır. Hidro gücün brüt potansiyeli, yükseklik verileriyle akıştan hesaplanır. Teknik potansiyel, düşü ile birlikte aylık akım akışından ve tasarım kapasitesinin dikkate alınmasıyla tahmin edilir. Teknik potansiyel daha sonra tasarım kapasitesine, maliyet ve finansman varsayımlarına göre tahmin edilen üretim maliyetine göre ekonomik potansiyele dönüştürülür. İşletilebilir potansiyel ise öngörülebilen, kentsel alanlar ve çevresel kısıtlamalar ile

ortaya çıkan problemlerden arındırılarak ekonomik potansiyelin uyumlandırılması ile ortaya çıkmaktadır [126].

KHES'lerin geliştirilmesindeki amaç su-enerji çatışmalarını en aza indirmek, sera gazı emisyonlarını azaltmak, bununla birlikte KHES operasyonları ile ilgili işler yaratarak yerel ekonomileri canlandırmak ve ayrıca sosyal olarak gerekli olan yenilenebilir enerjiye katkı sunmaktır. Bu çalışma, ayrıca çeşitli paydaşlar arasında kapasite geliştirmek için gerekli nicel kılavuzları sağlamayı da amaçlamaktadır.

7.2 Hidroenerji Potansiyel Belirlenme Yöntemlerinin Sınıflandırılması

7.2.1 Brüt Hidroenerji Potansiyel

Brüt Hidroelektrik Potansiyel (BHP), ülke sınırları içerisindeki tüm lokasyonlarda meydana gelen bütün doğal akışlar, herhangi bir enerji kaybı olmadan (deniz seviyesine kadar) mevcut kullanılabilecek yıllık enerji olarak tanımlanır [2]. Diğer bir ifadeyle brüt hidroenerji potansiyel, mevcut düşüm ve ortalama akışlı bir senede gelen akımın oluşturduğu potansiyeli ifade etmektedir. Bundan dolayı brüt potansiyeli belirleyen faktörler havzanın topografik yapısı ve hidrolojik değerlerdir [127].

Brüt hidroelektrik potansiyel küresel olarak aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır [128], [129].

$$P = \sum_{i=1}^{n} \left[\gamma * \frac{Q_1 + Q_2}{2} * H_i \right] \tag{7.1}$$

$$\gamma = g * \rho \tag{7.2}$$

$$P = \gamma * Q_{ort} * H \tag{7.3}$$

Burada P Güç (kW), γ suyun özgül ağırlığı (kN/m^3), ρ yoğunluk (kg/m^3), H su seviyeleri arasındaki fark (m), Q debi (m^3/s)

Akarsuların brüt hidroelektrik enerjisinin belirlenmesine yönelik güncel literatürde önerilen farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; debi

süreklilik eğrisi, akım öteleme, Hipsografik Eğriler (HE) Yöntemi, Düşü-Akım (DA) Aiyagramları Yöntemi, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi ve bölgesel analiz yolu gibi hidroenerji potansiyeli tespit etme şeklindedir [5].

7.2.2 Teknik Hidroenerji Potansiyel

Hidro gücün teknik potansiyeli, mevcut inşaat teknolojilerine, hidroelektrik geliştirme deneyimine, ekonomik ve diğer kısıtlamalara bakılmaksızın, mevcut teknoloji altında geliştirilebilecek yıllık enerji olarak tanımlanmaktadır [126], [130]. Teknik potansiyel, brüt potansiyelin bir fonksiyonudur ve genellikle brüt potansiyelin yüzdesi olarak kullanılmaktadır. Teknolojiye bağlı olarak brüt potansiyel aşağıdaki şekilde hesap edilmektedir [131].

Düşüdeki kayıp: Hidroelektrik santrallerde net düşümün brüt düşüme oranı, bazı alçak düşümlü nehir santrallarında 0,5; yüksek düşümlü çevirme santrallarında 0,9 mertebesine kadar değerler almaktadır. Bu değerin yaklaşık olarak 0,7 alınması tavsiye edilmektedir.

Debideki kayıp: Türbin debisi ile, nehir debisi aynı olmayıp ikisi arasında tesis tipine göre kayıplar bulunmaktadır. Bu değerin yaklaşık olarak 0,9 alınması tavsiye edilmektedir.

Enerji dönüşümündeki kayıp: Türbinin mekanik verimi, hidrolik verimi, jeneratör verimi ve transformatör verimi nedeniyle bir potansiyel kaybı bulunmaktadır. Bu değerlerin yaklaşık olarak 0,8 alınması tavsiye edilmektedir.

Teknolojiyle birlikte bu üç kaybın toplam etkisi 0,7 x 0,9 x 0,8 = 0,5 civarındadır. Bundan dolayı teknik potansiyel, yaklaşık olarak brüt potansiyelin yarısı kadardır.

7.2.3 Ekonomik Hidroenerji Potansiyel

Ekonomik potansiyel, teknik potansiyelin ekonomik olarak uygulanabilir kısmıdır [130]. Ekonomik potansiyel, diğer enerji kaynakları ile rekabetçi maliyetlerde geliştirilebilen ve her bir enerji üretim tesisinden, elektrik üretme maliyetinin tahmin edilmesini gerektiren yıllık enerji olarak tanımlanır [2].

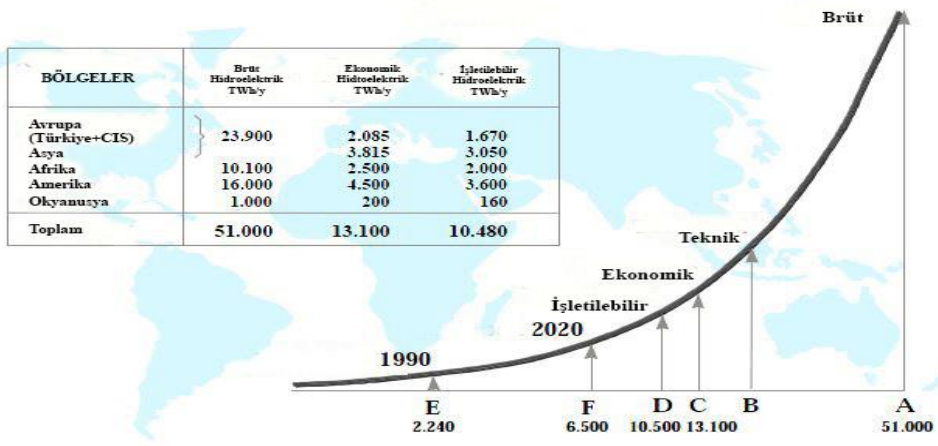
Diğer bir ifadeyle ekonomik hidroelektrik potansiyel, beklenen faydaları, masraflarından fazla olan santral projelerinin toplam hidroenerji üretimini ifade

etmektedir. Ekonomik hidroelektrik potansiyel üretilecek hidroelektrik enerjiden, alternatif enerji kaynaklarına göre (genellikle ithal kömüre dayalı termik santral) ekonomik analiz yapılarak belirlenir [127].

Her ne kadar mevcut teknik şartlar altında bir akarsu bölgesinde belirli miktarda miktarda hidroelektrik potansiyeli mevcut olsa da, sonuçta olarak hidroelektrik enerji bazında diğer enerji kaynakları ile rekabet edebilmelidir [132]. Dünya genelinde ve ülkemizdeki alternatif güç kaynaklarının maliyetine bağlı olarak zamanla oluşacak değişiklerden dolayı ekonomik hidroelektrik potansiyel belirleme çalışmaları daima güncellenmelidir.

7.2.4 İşletilebilir Hidroenerji Potansiyel

İşletilebilir hidroelektrik potansiyel, ekonomik potansiyelin çevresel veya diğer özel kısıtlamalar dikkate alınarak kullanılması beklenebilecek kısmı olarak tanımlanır [2], [132]. Hidroelektrik gelişimi için bir başka çevresel kısıtlama olarak yüksek nüfus yoğunluğuna sahip kentleşmiş alanlar hidroelektrik santraller için uygun değildir. Eurelectric'in 1997 yılında hazırladığı dünyanın hidroelektrik potansiyeli raporuna göre, Türkiye'nin de içinde bulunduğu toplam Avrupa ülkelerinde işletilebilir hidroelektrik potansiyel 1.670 TWh/yıl olarak verilmiştir (Şekil 7.2) [2]. Hidroelektrik santral gelişiminin, korunan alan ve kentsel kapsam verilerinde dikkate alınanların yanı sıra potansiyel hidroelektrik gelişme ile ilgili olarak ortaya çıkabilecek diğer ekolojik, sosyo-ekonomik ve yasal/jeopolitik kaygılarla da sınırlandırılabileceğini belirtmek gerekir [126].



Şekil 7.2 Dünyanın hidroenerji potansiyeli (Eurelectric-1997)

Dünyanın hidroelektrik potansiyelini, mevcut kullanımını ve gelecekteki kullanım olasılıklarını değerlendirmek için çok sayıda girişimde bulunulmuştur. Bu girişimlerin sonuçları biraz tutarsızlıklar ortaya koymaktadır. Bunlar muhtemelen bazı bölgelerdeki genel veri eksikliğinden ve bu çeşitli çalışmalara verilen yanıtlardaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Açıkçası bu tür araştırmalar, farklı enerji terimleri ve sınıflarının açık ve tutarlı tanımlarına dayandırılmalıdır. Şekil 7.2'deki C sınıfında (ekonomik potansiyel) varsayılan enerji için maliyet sınırları, değişiklik gösteren mevcut ve beklenen yerel ekonomik koşullara bağlıdır. D sınıfındaki (işletilebilir potansiyel) enerji hakkında çok az bilgi mevcuttur. Ayrıca, B sınıfı için teknik kısıtlamalar ve C sınıfı için ekonomik kısıtlamalar arasında konvansiyonel bölünme açıkça keyfi ve oldukça önemsizdir [2].

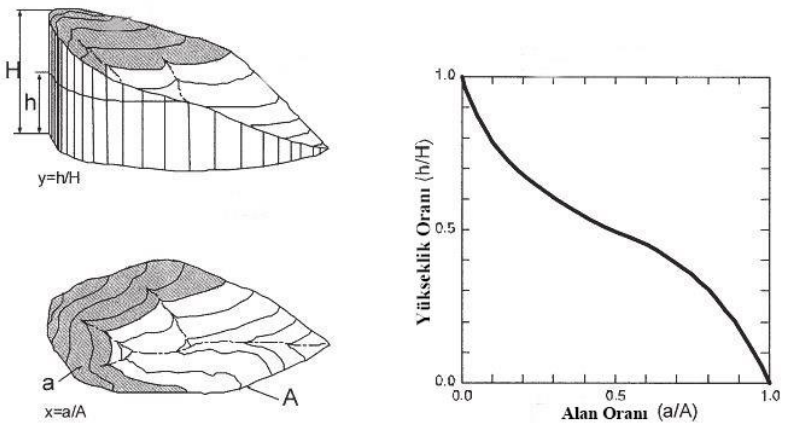
7.3 Brüt Hidroenerji Potansiyel Tahmin Yöntemleri

BHP hesaplarında, akış gözlemlerinin alan dağılımının yeterli olmadığı durumlarda, Hipsografik Eğriler Yöntemi, eş akış eğrileri, karelere bölerek akış tespiti gibi yöntemleri uygulanmakta iken, debi gözlemleri yeterli ise, Düşü-Akım Diyagramları Yönteminin uygulanması yerinde olmaktadır [131], [133], [134].

7.3.1 Hipsografik Eğri Yöntemi

Hipsografik Eğri (HE), bir drenaj havzası için havza alanının belirli bir yüksekliğin altındaki (veya üzerindeki) nispi oranını temsil eder [135], [136]. Bu yüzey yükseklik eğrisi, bir drenaj havzası içindeki topografik kabartmayı karakterize

etmek ve böylece farklı havzalar arasında karşılaştırmalar oluşturmak için yararlı bir araçtır (Şekil 7.3). Hipsografik eğriler hesaplanırken havzanın en üst noktası (h_i) olan giriş yüksekliğinden başlanır. Havza alanı, havzanın en üst noktasında sıfır değerini almakta, yükseklik azaldıkça havza alanı artış göstermekte ve havza çıkış noktasında (h_o) maksimum değerini almaktadır. Havza alanına bağlı olarak çıkış noktasında debi de maksimum olmaktadır.



Şekil 7.3 Hipsografik eğri grafiği ve onunla ilgili değişkenler

Hipsometrik eğrinin şekli, havzanın jeomorfik gelişim aşaması ile ilişkilidir. Dışbükey hipermetrik eğriler genç bir aşamanın, tipik S şeklindeki eğriler bir olgunluk aşamasının ve içbükey eğriler ise yaşlı aşamasının bir göstergesidir (Şekil 7.4). Bu hipsometrik eğriler bir havzanın gelişme aşamasını belirlemek için kullanılmıştır [136] (Tablo 7.1).

Tablo 7.1 Hipsometrik değerler ve bunlara karşılık gelen jeolojik aşama ve eğri şekilleri

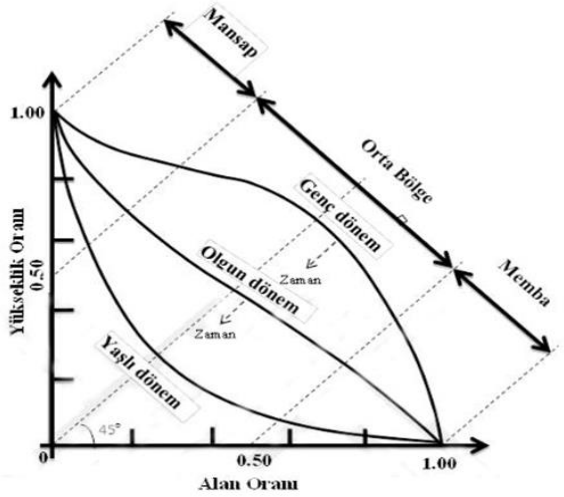
No	Jeolojik aşama	Hipsometrik eğri şekli	Hipsometrik integral (HI)
1	Monadnock (yaşlı)	Dışbükey	<0.3
2	Equilibrium (Denge (olgun))	S-şekli	0.3-0.6
3	In-equilibrium (Denge (genç))	İçbükey	>0.6

Hipsometrik integral (HI), hidrolojik olaylar ve arazi bozunumu bileşenleri nedeniyle jeolojik zaman periyodu boyunca havzada meydana gelen erozyonu

açıklamayı destekler [137]. Yükseklik-rölyef oranı yöntemi, Pike ve Wilson [138] tarafından matematiksel denklem şeklinde önerilmiştir. Bu denklem HI'ye eşit olan yükseklik-rölyef oranını verir ve denklem (7.4)'teki gibi ifade edilir.

$$HI = \frac{H_{ort} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \tag{7.4}$$

Burada H_{ort} havzanın ortalama yüksekliği (m), H_{min} havzanın minimum yüksekliği (m), H_{max} havzanın maksimum yüksekliğidir (m).



Şekil 7.4 Farklı standart hipsografik eğriler [5]

Her HE yükseklik sınıfına göre mansap, orta bölge ve memba olarak isimlendirilmektedir (Şekil 7.4). Standart hipsografik eğriler nitelik olarak olası hidroelektrik üretim noktalarını belirlememizi sağlar. Mansap kısmında yükseklik farkları genç dönemde, olgun ve yaşlı döneme göre daha azdır. Bu yükseklik farkı genç dönem ile yaşlı dönem arasında en fazladır. Akarsuyun mansap kısımlarının genç, olgun ve yaşlı dönemlerine bağlı olarak sırasıyla düşük, orta ve yüksek su gücü potansiyelli bölgeler olarak sınıflandırılabilir. Orta bölge üzerinde mansap kısımlarıyla kıyaslandığında, genç dönem daha fazla, olgun dönem neredeyse aynı ve yaşlı dönem daha az su gücü potansiyeline sahiptir. Memba kısmında genç dönem havzaları en yüksek ve yaşlı dönem ise en düşük hidroenerji potansiyeline sahiptir. Olgun dönem havzaları orta bölge ve mansap kısmı ile aynı olmaktadır [5].

Bu yöntemde, havzanın öncellikle ortalama yükseltisi, daha sonra da denklem (7.6)'daki debi değerleri kullanılarak havzanın BHP miktarı hesaplanır.

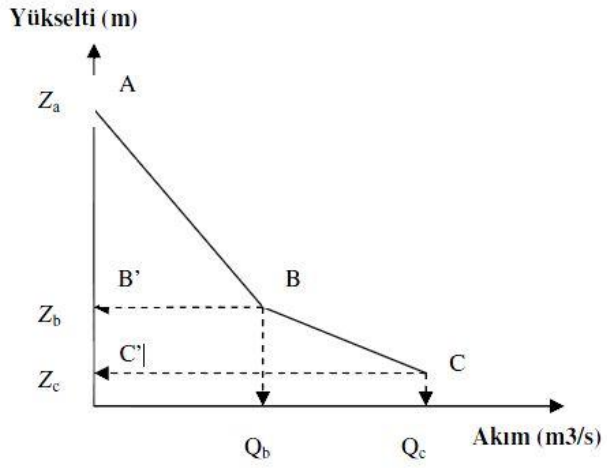
$$h_a = \frac{\sum_{j=1}^{n} h_j * A_j}{\sum_{j=1}^{n} A_j} \tag{7.5}$$

$$P = \gamma * (h_a - h_0) * (Q_0 - Q_i) + \gamma * (h_i - h_0) * Q_i \tag{7.6}$$

Burada; γ suyun özgül ağırlığı (kN/m^3), h_a ortalama kot (m), h_j j istasyonun kotu (m), A_j istasyonun havza alanı (km^2), h_o havzanın çıkış noktasındaki kot (m), h_i havzanın giriş noktasındaki kot (m), Q_i havzanın giriş noktasındaki debi (m^3/s) ve Q_o havzanın çıkış noktasındaki debidir (m^3/s).

7.3.2 Düşü-Akım Diyagramı Yöntemi

Düşü-Akım Diyagramları (DA) Yönteminde, iki yükselti arasındaki farkın, giriş ve çıkış arasındaki ortalama debiyle çarpımı esasına dayanır. Şekil 7.5'te herhangi bir akarsu kesitinde DA Yöntemi ile brüt hidroelektrik potansiyeli belirleme grafiği gösterilmiştir [1].



Şekil 7.5 Düşü-Akım diyagramı

Şekilde 7.5'teki bir akarsu kesitinde B ve C noktalarında ortalama debi değerleri Q_b ve Q_c dikkate alındığında, B ve C noktasında sulama ve diğer sebeplerle kayıp olmadığında, $Q_b < Q_c$ olacaktır.

Şekildeki B ve C noktaları arasındaki potansiyelden yararlanmak için C noktasında Z_b - Z_c yüksekliğinde tek bir baraj kurulduğu takdirde bu baraj ve değerlendireceği BHP miktarı denklem 7.7'den hesaplanabilir.

$$P = \gamma * (Z_b - Z_c) * Q_c \quad (7.7)$$

B ve C noktaları arasında iki veya daha fazla baraj kurulduğunda değerlendirilecek BHP miktarı önceki bağıntıdaki sınır değerlere yaklaşır:

$$P = \gamma * (Z_b - Z_c) * (Q_c + Q_b)/2 \quad (7.8)$$

Brüt potansiyelin bu genel denkleminden, memba A ile B noktaları arasındaki brüt potansiyeli aşağıdaki bağıntı vasıtasıyla hesaplamak mümkündür:

$$P = \gamma * (Z_a - Z_b) * Q_b/2 \quad (7.9)$$

Burada; γ suyun özgül ağırlığı (kN/m^3), Z_a A noktasının kotu (m), Z_b B noktasının kotu (m), Q_b B noktasındaki debidir (m^3/s).

7.3.3 Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi

Debi Süreklilik Eğrisi (DSE) belirli bir akarsu havzasındaki günlük, aylık veya diğer zaman aralıklı debi değerlerinin akarsu akımlarının aşıldığı zaman yüzdelerini (%10, %30 vb.) göstermektedir [139]–[141]. DSE'nin su gücü, su temini, sulama planlama ve tasarımı gibi hidrolojik çalışmalarda [142] ve özellikle, nehir tipi hidroelektrik santrallerin planlaması ve projelendirme aşamalarında çok önemli olduğu bilinmektedir [140].

Belli aşılma olasılığına sahip olan debiler çalışma konularına göre farklılık göstermektedir. Örneğin, DSE yardımıyla enerji hesaplamaları yapılırken, nehir tipi hidroelektrik santrallerin kapasitesinin belirlenmesi için %20-%30 aşılma olasılığına sahip olan debi değerleri uygun olurken, sulama sistemleri yapılarını da içinde barındıran hidroelektrik yapılarda ise %10-%20 aşılma oranlarına sahip olan debi değerleri de uygunluk gösterebilmektedir [20].

Nehir tipi santrallerde depolama olmadığından, proje debisinin seçimi önemli bir faktördür. Debi süreklilik eğrisinde aşılma ihtimali az olan (%1-10) arasındaki debiler HES planlanmasında genellikle dikkate alınmamaktadır. Benzer şekilde

aşılma ihtimali yüksek olan (%90-99) küçük debiler ise genellikle taban (baz) akımını temsil etmektedir ve HES'den elde edilecek sabit (firm) enerjiyi üretmekte önemlidir. Aşılma ihtimali %10-90 arasındaki debiler, projelendirmede daha çok dikkate alınmaktadır [24].

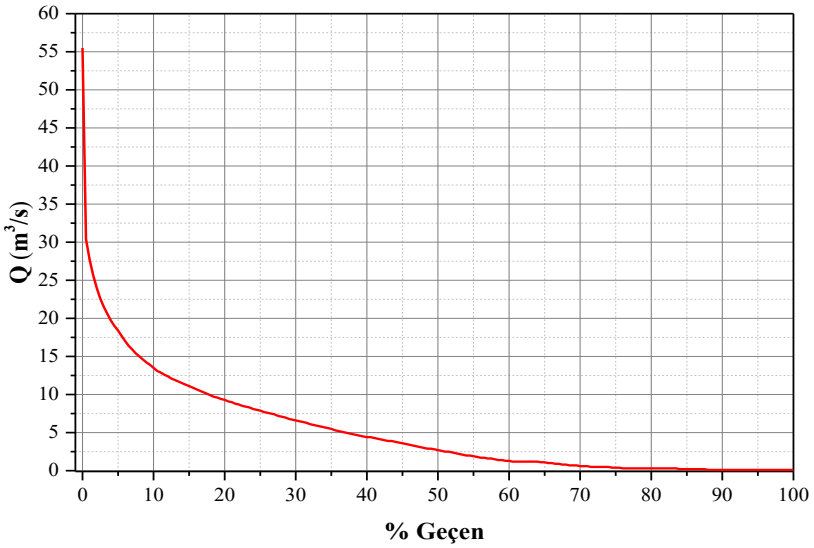
DSE, günlük, haftalık veya aylık olan akım verileri için hazırlanabilir. Debi süreklilik eğrisini hazırlamak için aşağıdaki adımlar izlenir [143].

- Kayıt dönemi için toplam debileri (n_e) en büyük değerden en küçük değere doğru ortalama aylık (veya günlük) olarak sıralanır.
- Her bir debi değeri M olmak üzere, en büyük aylık (ya da günlük) debi 1'den başlayarak sıralanır.
- Aşılma olasılığı denklem (7.10) yardımı ile hesaplanır;

$$P_{rb} = 100\ x\ [\frac{M}{n_e + 1}] \tag{7.10}$$

P_{rb} Debinin aşılma olasığı (%), M Sıralanma (boyutsuz), n_e Kayıt dönemi için olay sayısı (boyutsuz).

Debi süreklilik eğrisi, düşey eksene debiler yatay eksene ise debinin belli bir değere eşit veya büyük olduğu zaman yüzdelerinin işaretlenmesiyle elde edilir (Şekil 7.6). Bu eğriden zamanın belli bir yüzdesine karşı gelen debi okunabilir [117].



Şekil 7.6 Debi süreklilik eğrisi

DSE belirlendikten sonra, bu eğri üzerinde zamanın belli bir yüzdesine karşı gelen debi seçilir. Bu debi kullanılarak santralin hidrolik kapasitesi belirlenir. Daha sonra bu hidrolik kapasiteye göre, önceden belirlenmiş olan DA diyagramları kullanılarak net düşüm bulunur. DSE üzerinde bulunan noktalara, su gücü denklemi uygulanır ve böylece güç süreklilik eğrisi elde edilir. Maksimum güç, santralin hidrolik kapasitesi kullanılarak bulunur. Santralin hidrolik kapasitesinden fazla akımlar için hesaplanan güç, maksimum güç kadar olur. Güç süreklilik eğrisinin altında kalan alan bölgenin hidroelektrik enerji potansiyelini verir [127], [144].

Toplam verim (η) hesaplanırken; ortalama türbin verimi (η_T), jeneratör verimi (η_J) ve transformatör verimi (η_{TR}) çarpılır.

$$\eta = \eta_T * \eta_J * \eta_{TR} \tag{7.11}$$

Burada;

$\eta_T = 0.85 - 0.90$ arasında değişen türbin verimi,

$\eta_T = 0.91 - 0.96$ arasında değişen jeneratör verimi,

$\eta_T = 0.97 - 0.985$ arasında değişen transformatör verimidir.

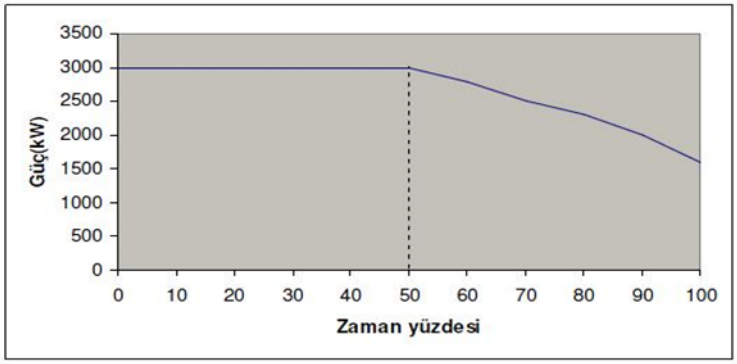
Ortalama verim su gücü denklemine yazılırsa aşağıdaki formül elde edilir.

$$P_{brüt} = \gamma * Q_{ort} * H * \eta \quad (7.12)$$

Sonuç olarak yıllık net brüt potansiyeli hesaplamak için denklem (7.13) kullanılmaktadır.

$$E_{brüt} = \gamma * Q_{ort} * H * \eta * 24 * 365 \quad (7.13)$$

Şekil 7.7'de bir güç süreklilik eğrisi verilmiştir. Santralin hidrolik kapasitesi zamanın %50'sinde var olan debiye göre hesaplandığından, güç değeri buraya kadar sabittir. Bundan sonra ise daha düşük debiler geldiği için güç değeri gittikçe azalmaktadır.



Şekil 7.7 Güç süreklilik eğrisi

Bu yöntem, nispeten basit ve hızlı olma avantajına sahiptir ve bu nedenle günlük akış verileri kullanılarak güç çıkışını hesaplamak için ekonomik olarak kullanılabilir. DSE'lerin dezavantajları olarak, akışı kronolojik sırayla göstermemesi, akışın mevsimsel dağılımını tanımlamaması ve enerji üretimini artırmak için güç depolama kullanımını doğru bir şekilde simüle edememesi sayılabilir. Ayrıca, düşünün akımdan bağımsız olarak değiştiği projelerde (yani düşü yüksekliği ve/veya kuyruk suyu yüksekliği) ve proje sistemlerinin analizinde kullanılamaz [144].

7.4 Brüt Hidroenerji Potansiyel Tahmin Yöntemlerinin Uygulanması

Brüt hidroelektrik potansiyel tahmininde nehir sistemi boyunca debi ve suyun düşüsü hesaplandıktan sonra, BHP denklemleri vasıtasıyla brüt hidroenerji miktarı hesaplanabilir. Bu işlem tüm alt havzalar için tekrarlanır ve her bir havza potansiyeli eklenerek toplam potansiyele ulaşılır. Bu çalışmada AGİ'si bulunmayan sekiz adet alt havzanın nehir debilerini hesaplamak için Hidrolojik Model sonuçları, hız esasına dayanan Yüzgeçler ve Pitot Tüpü Yötemleri yardımıyla anlık debi ölçümlerinin sonuçları kullanılırken potansiyel düşü için de SYM verilerinden yararlanılmıştır.

Brüt hidroelektrik potansiyel hesabı için HE Yönteminde, Yüzgeçler Yöntemi, Pitot Tüpü ve Hidrolojik Model debi sonuçlarına göre üç adet BHP miktarı hesaplanmıştır. Bu yöntem kullanılarak hesaplanan BHP miktarı için denklem (7.6) kullanılmıştır.

Brüt hidroelektrik potansiyel hesabı için DA Yöntemi, iki yükselti arasındaki farkın, giriş ve çıkış arasındaki ortalama debiyle çarpımı esasına dayanmaktadır. Bu yöntem kullanılarak hesaplanan BHP miktarı için denklem (7.9) kullanılmıştır. Bu yöntemde her dere için Yüzgeçler ile Pitot Tüpü Yöntemi ve Hidrolojik Model ile elde edilen debi sonuçları kullanılmıştır. AGİ'si olmayan derelere ait giriş debisi bulunmadığı için çıkış debisinin yarısı alınmıştır.

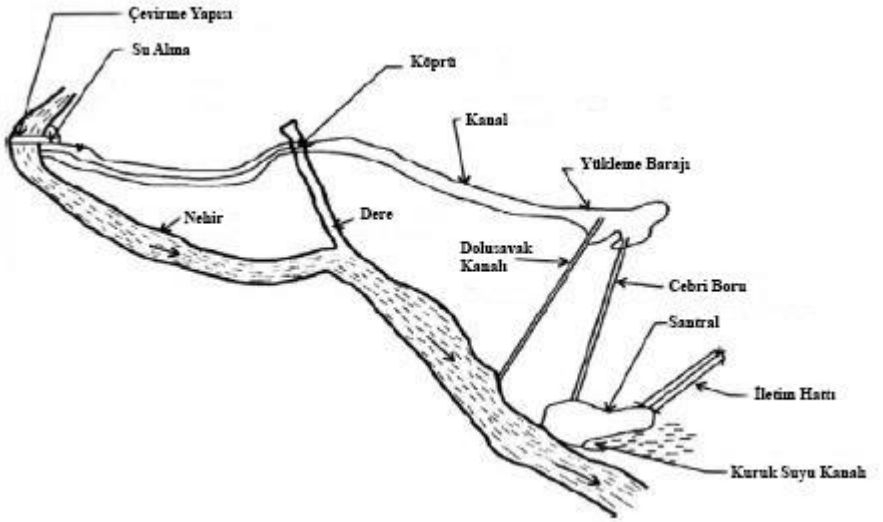
Hidroelektrik fizibilite analizi için DSE Yöntemi, basit ve hızlı olma avantajına sahip olmasına karşın bu yöntemde uzun vadeli akım miktarlarının bilinmesi gerekmektedir. DSE'ler uzun yıllara ait debi verileri kullandığı için Yüzgeçler ve Pitot Tüpü debi ölçümleri bu yöntemde kullanılmamıştır. DSE Yöntemi yardımıyla hesaplanan BHP miktarları için denklem (7.13) kullanılmıştır.

8
KHES TASARIMI VE MALİYET ANALİZİ

8.1 Giriş

Küçük hidroelektrik sistem, elektrik ve mekanik güç üretmek için yenilenebilir enerji teknolojilerinden biridir. KHES sistemi kurulu elektriğin kapasitesine bağlı olarak sınıflandırılmıştır. KHES sınırı konusunda uluslararası bir fikir birliği bulunmamaktadır. Fakat çoğu Avrupa ve diğer ülkeler KHES için 10 MW'ı üst sınır olarak kabul etmektedir [29]. KHES kategorisinde, sistemler ayrıca piko, mikro, mini ve küçük HES sistemlerine ayrılır.

KHES bir biriktirmeli (rezervuar) veya nehir tipinde olabilir. Nehir tipi KHES'lerde enerji üretimi için suyun biriktirilmesine ihtiyaç yoktur, bunun yerine enerji üretimi için su bir kanal yoluyla ana nehirden yönlendirilir. Küçük kapasiteli KHES'ler için nehir tipi türleri idealdir. Çünkü rezervuar olmadığında, kurulu elektrik kW başına yatırım maliyetini azalmaktadır. KHES sistemleri için ana vurgu yatırım maliyetini azaltmaktır. Elektrik üretimi için tipik bir nehir tipi KHES sistemi şu temel bileşenlerden oluşur; su emme yapısı (ör. savak ve çökeltme tankı), cebri boru, türbin, jeneratöre mekanik güç sağlayan iletim sistemi, jeneratör, yüklenecek elektrik iletim sistemi merkezleri ve kontrol sistemi vb [145]. Bu temel bileşenlerin bazıları Şekil 8.1'de gösterilmektedir.



Şekil 8.1 Tipik bir KHES temel bileşenleri

KHES'ler sahaya özgü bir teknoloji olup nehir akış yolundaki nehrin eğimli bölümleri ile doğal düşümlere sahip yerler KHES gelişimi için idealdir. Konum sadece KHES boyutunu (ve aynı zamanda tipini) değil, aynı zamanda KHES inşaat işlerinin karmaşıklığını ve dolayısıyla kurulu gücün kW başına yatırım maliyetini de belirlemektedir. Yatırım maliyeti yerel ekonomiye, sistem bileşenlerine, iş gücü hizmetlerine ve uygulanan devlet vergilerine de bağlıdır. Tipik bir sistemin yatırım maliyeti kurulu elektrik miktarı için 1.000 ABD doları ile 20.000 ABD doları arasında değişmektedir [146].

KHES tesislerinin bakım maliyetleri, dizel jeneratörler gibi diğer teknolojilere kıyasla nispeten düşüktür. KHES uzun ömürlü ve sağlam bir teknoloji olup sisteminin ömrü, parçalara, değişikliklere büyük yatırımlar yapılmadan 50 yıl veya daha fazla olabilmektedir (yatırım amaçlı olarak düşünülen ortalama ömür yaklaşık 30 yıldır) [147].

Küçük bir hidroelektrik sistemde kullanılacak çeşitli türlerde bileşenlerle ilgili fizibilite çalışmaları, enerji üretimini, projenin yaklaşık maliyetini ve gerekli bütçe tahsisini tahmin etmek için önemlidir. Bu amaçla bu çalışmada SMART Mini Idro tool yazılımı sayesinde, enerji üretimi ve türbin maliyetleri, jeneratörler, enerji ekipman montajı vb. çeşitli kalemlerin maliyet tahmini ile ilgili enerji ve maliyet denklemleri sayesinde tipik bir hidroelektrik santralinin bileşenlerini de göz

önünde bulundurarak küçük bir hidroelektrik santralinin tasarım temelleri konusunda temel bilgiler sunulmaya çalışılmıştır. KHES'lerin ekonomik analizi, bir nehir tipi hidroelektrik enerji üretim sistemi projesinin analizini içermektedir. Bu yazılım sayesinde, birden fazla alternatifin ekonomik fizibilitesini değerlendirmek ve hızlı ardışık çalışmalar yapmak mümkün olmaktadır.

8.2 Hidrolik Türbinler

Türbinler, kot farkından dolayı oluşan su basıncını mekanik enerjiye dönüştüren sistemlerdir. İki ana tür hidrolik türbin tipi vardır. Bunlardan birincisi impuls (itme), ikincisi ise reaksiyon tipi türbinlerdir. Mevcut suyun düşüsü ve suyun akış hızı türbin tipini belirler. Ayrıca, türbin seçiminde verimlilik ve maliyet diğer iki etkili unsurdur. Türbin teknolojileri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [147].

8.2.1 İmpuls Türbinler

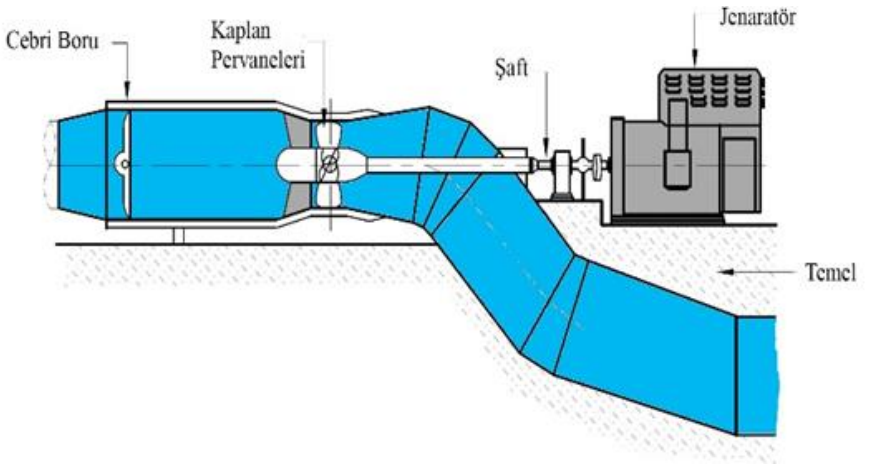
Suyun ağırlığının aksine akan suyun momentumundan yararlanarak enerji elde etmek impuls türbinlerinin temel işlemidir. Atmosfer basıncı altında suyun kinetik enerjisi yardımıyla çark çalıştırılır. Bir türbinin çarkı, bir su jeti ile hareket ettirilerek çalışır. İmpuls türbinleri genel olarak yüksek düşü ve düşük akış hızına sahip durumlarda tercih edilir. Pelton, Cross-flow (çapraz akışlı) ve Turgo olmak üzere üç tip türbin mevcuttur.

8.2.2 Reaksiyon Türbinler

Bu türbin, karşılıklı basınç etkisinden ve hareketli sudan elektrik üretir [148]. Reaksiyon türbini, rotor suya tamamen daldırıldığında ve bir basınç muhafazası içine alındığında çalışır. Çarkın kanatları arasındaki basınç farklarının, (uçak kanatlarındakilere benzer şekilde) çarkların dönmesine neden olan kaldırma kuvvetleri uygulayacağı şekilde yönlendirilir [145]. Reaksiyon türbinleri genellikle impuls türbinlerine kıyasla daha düşük düşü ve daha yüksek akış alanları için uygundur [148]. Tipik Reaksiyon türbin tipleri Pervane (Propeller), Francistir.

Pervane (Propeller) Türbin

Bir pervane türbini genellikle tasarlanan düşüye bağlı olarak üç ila altı kanatlı eksenel akışlı bir yapıya sahiptir. Daha yüksek verim için türbin rayına girmeden önce suya biraz girdap verilmelidir. Pervane türbinleri düşük düşülü sistemler için uygundur. Birkaç farklı pervane türbin mevcut olup, bunlar Ampul, Kaplan, Strafl ve Tüp türbinleridir [145]. Bu çalışmada Kaplan türbini göz önüne alınmıştır. Kaplan türbini ayarlanabilir bıçak eğimine sahiptir ve değişen güç çıkış koşullarında yüksek verim elde edebilir [149]. Giriş girdabının eklenmesi için kullanılan yöntemler arasında, kızağın önüne monte edilmiş sabitlenmiş kılavuz kanatlar ve kızak için suyun teğetsel olarak girdiği ve kızağın içine girmeye zorlandığı bir salyangoz kabuğu muhafazası bulunmaktadır. Türbin kanatlarının ve kılavuz kanatlarının çok geniş bir aralıkta ayarlanabilmesi verimliliği büyük ölçüde arttırabilmesine karşın maliyetli olduğundan sadece daha büyük sistemlerde ekonomik olabilir [150]. Kaplan türbinleri çoğunlukla düşük basınç yüksekliği (yani küçük düşülerde) ve yüksek debi oranları olan yerlerde kullanılmaktadır. Regüle edilmemiş pervane türbinleri, hem akışkanın hem de düşünün pratik olarak sabit kaldığı mikro-hidro sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [148]. Tipik bir Kaplan türbin şeması Şekil 8.5'te gösterilmektedir.



Şekil 8.2 Kaplan türbin şeması [151]

8.3 Jeneratör ve Transformatör

Jeneratörler türbin milindeki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sekron makinalardır. Prensip olarak rotor ve statordan meydana gelirler. Jeneratörün dönen kısmı olan rotoru döndüren mekanik enerji dış kısmındaki sabit stator sargılarında elektromotor kuvvetine dönüşür ve böylece elektrik enerjisine çevrilir. Transformatörler, jeneratörden çıkan düşük gerilimli elektrik akımını uzak mesafelere ekonomik olarak taşımak için yüksek gerilimli elektrik akımına dönüştüren makinelerdir [129].

8.4 Küçük Hidroelektrik Santral Projelerinin Ekonomik Analizi

Bir hidroelektrik santarlinin toplam maliyeti mevcut altyapıların inşaası ve kurulum kapasitesinin büyüklüğüne bağlı olarak değişim gösterir. Hidroelektrik santrallerde yatırım ve yıllık maliyetler olmak üzere iki tür maliyet söz konusudur. Bunlar proje maliyetinin elde edilmesi için yatırım ve yıllık maliyetler dahil olmak üzere iki tür maliyettir. İnşaat maliyetleri, elektromekanik ekipman, enerji iletimiyle ilgili maliyetler ve diğer bazı dolaylı maliyetler yatırım maliyeti olarak kabul edilirken, ekipman amortismanı, bakım, işletme ve değiştirme maliyetleri ile ilgili maliyetler yıllık maliyetleri temsil eder [152], [153].

8.4.1 Yatırım Maliyetleri

Yatırım maliyetleri, aşağıda listelenen inşaat maliyetleri, elektromekanik ekipman maliyetlerini ve güç iletim hattı maliyetlerini içerir [154];

İnşaat maliyetleri: Çevirme yapısı, su iletim sistemi, cebri boru, yükleme havuzu, santral, kuyruk suyu yapısı ve diğer inşaat işleri maliyetleriyle ilgili oluşan bir hidroelektrik santralinin inşası ve yapısı ile ilgili maliyetlerdir.

Elektromekanik ekipman maliyetleri: Bu yatırım maliyeti kalemi türbinleri, jeneratörleri, valfleri, kontrol sistemlerini ve bir güç trafo merkezini içerir. KHES bütçesinin %30 ila %40'nı elektromekanik ekipman maliyetleri oluşturur. Bir

KHES maliyetinin (€/kW) bu kalemini tahmin etmek için aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$M = a * P^{b-1} * H^{c} \quad (9.1)$$

Burada P güçtür (kW), H net düşüdür (m), a, b ve c kullanım durumunun coğrafi, boşluk veya zaman alanına dayanan katsayılardır.

Güç iletim maliyetleri: Üretilen elektrik enerjisini bir hidroelektrik santralinden bir güç iletim şebekesine aktarmak için bir güç iletim hattı için maliyet tahsisi gereklidir. İlgili yer, iletim sisteminin türü, KHES'lerin kapasitesi ve iletim hatlarının uzunluğu güç iletim maliyetlerinin temel unsurlarıdır.

Yatırım bölümünün dolaylı maliyetleri mühendislik ve tasarım, denetim, idare ve enflasyon maliyetlerini içermektedir. Tesisin tipi, büyüklüğü ve yeri mühendislik ve tasarım maliyetlerinin temel unsurlarıdır. Denetim ve idare maliyetleri, arazi maliyeti, yönetim ve denetim maliyetlerinden oluşur. Ayrıca proje süresince enflasyon oranı da dikkate alınmalıdır.

8.4.2 Yıllık Maliyetler

Yıllık maliyet hesaplaması, bir projenin net faydasını elde etmeyi amaçlamaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi, ekipman amortismanı, bakım, işletme ve değiştirme maliyetleri yıllık maliyetler olarak sayılır.

Ekipmanların amortismanı: Ekonomik analizde amortisman ve diğer etkili faktörler dikkate alınmalıdır.

Bakım ve işletme maliyetleri: Personel maaşları, vergiler, peyzaj ve sarf malzemeleri ile ilgili maliyetler bakım ve işletme maliyetlerine dahildir. Yıllık enflasyon faktörünün bu maliyet kategorisi üzerinde etkisi vardır.

Değiştirme ücreti: Değiştirme işlemi, jeneratör sargıları, türbin rayları ve diğer parçalar gibi KHES'lerin ana parçalarının değiştirilmesini ve yenilenmesini içerir. KHES'lerin niteliği göz önüne alındığında, 25. yıldaki değiştirme ve yenileme maliyetlerinin, satın alındığı zaman ekipmanın toplam değerine eşit olduğu varsayılmaktadır.

8.5 KHES Projelerinin Geliştirilmesi için Değerlendirme Aracı

Küçük hidroelektrik santral gelişimi için mevcut sahaların değerlendirilmesi, toplam proje maliyetlerinin nispeten yüksek bir oranını temsil etmektedir. Son on yılda, önemli miktarda para ve değerli zaman harcamadan önce bir projenin ekonomik fizibilitesinin ilk değerlendirmesini yapmak için çeşitli bilgisayar tabanlı değerlendirme araçları geliştirilmiştir. Bu yazılım programlarının amacı, belirli bir hidro şemanın enerji çıktısını tahmin etmenin hızlı ve makul olarak doğru bir yolunu bulmak, ekonomik analiz yapmak ve hatta bir ön tasarım yapmaktır.

8.5.1 SMART Mini Idro Tool, Teknik-Ekonomik Fizibilite Analiz Aracı

Smart Mini Idro, Debi Süreklilik Eğrisi (DSE), net düşü, kurulacak türbin türlerini ve kullanılacak debi aralığı vb. değerleri dikkate alarak ana hidroelektrik proje parametrelerini değerlendiren bir araçtır [155]. SMART Mini Idro aracı giriş olarak hidrolojik verileri kullanır. Bir nehirdeki günlük ortalama akışların DSE'ye dayanarak, çevresel akışın ön değerlendirmesini, uygun türbin tipini seçmek ve tahmini bir ekonomik analiz yapmak için kullanılabilir. Yazılım, kurulu güce karşılık gelen ve üretilen elektriğe göre yeşil sertifikalar vererek KHES yatırımcıları için ulusal finansal destek şemasını çıkarmaktadır [156]. Yazılım kullanıcıya bir ön proje başlatmak için ilk yaklaşım olarak yardımcı olurken yeni bir KHES'in ekonomik ve finansal parametrelerinin analizini yapabilmektedir. Yazılım aşağıdaki 5 modülden oluşur [155]:

- Debi modülü, minimum akış, türbin akışları vb.
- Türbin modülü, uygun türbin tipi seçimi
- Enerji modülü, üretilen enerjinin hesaplanması
- Maliyet modülü, inşaat ve bakım maliyetlerinin değerlendirilmesi

- Finansal analiz modülü, finansal parametrelerin hesaplanması ve nakit akışı analizi

8.6 Smart Mini Idro Tool ile Çalışma Alanın Maliyet Analizi

Bu bölümde tipik bir nehir tipi KHES projesinin maliyet analizi amaçlamaktadır. Çarkın çapı türbin boyutunu belirler ve santralin düzeni çarkın çapına göre belirlenir. Çarkın çapını elde etmek için aşağıdaki denklemler kullanılabilir [157].

$$D = \frac{84.6 * \theta_3 * \sqrt{H}}{N} \tag{8.2}$$

$$\theta_3 = 0.0223 * \sqrt[3]{N_s^2} \tag{8.3}$$

$$N_s = \frac{1.358 * N * \sqrt{P}}{\sqrt[4]{H^5}} \tag{8.4}$$

Burada N_s türbinin özgül hızı ve N türbinin dönme hızı (dakikadali devir cinsinde dönüş hızı), H net düşü (m), P gücü(kw) ifade etmektedir.

Aşağıda bir KHES projesinin inşaat işlerinin ve farklı ekipmanlarının maliyetleri için kullanılacak denklemler sunulmuştur. Bu denklemler SMART Mini Idro yazılımı kapsamında kullanılan fonksiyonlardır.

Santral maliyeti denklem (9.5)'e göre(kurulu güce göre) hesaplanabilir.

$$C_{CE}(€) = a * P^2 + b * P + c \tag{9.5}$$

Burada C_{CE} santral maliyeti, P güç (kW) iken a, b ve c katsayılardır.

Su alma yapısı maliyeti denklem (9.6)'a göre (maksimum debiye göre) hesaplanabilir.

$$C_P(€) = a * Q^2 + b * Q + c \tag{9.6}$$

Burada C_P su alma yapısı maliyeti, Q debi (m^3/s) iken a, b ve c katsayılardır.

Su kanalı maliyeti denklem (9.7)'e göre (maksimum debi ve maksimmum uzunluğa göre) hesaplanabilir.

$$C_{CA}\left(\frac{€}{m}\right) = a * Q^2 + b * Q + c \tag{9.7}$$

Burada C_{CA} su kanalı maliyeti, Q debi (m^3/s) iken a, b ve c katsayılardır.

Cebri boru maliyeti denklem (9.8)'e göre (çap ve maksimum uzunlğa göre) hesaplanabilir.

$$C_{CF}\left(\frac{€}{m}\right) = a * D^2 + b * D + c \tag{9.8}$$

Burada C_{CF} Cebri boru maliyeti, Q debi (m^3/s) iken a, b ve c katsayılardır.

Aşağıda bir KHES projesinin yıllık maliyetleri için SMART Mini Idro yazılımının kabul edilen değerleri bulunmaktadır. Bunlar;

- 30 yıllık bir proje ömrü için yapılmıştır.
- Yönetim ve bakım maliyetleri yatırım maliyetinin %3 olarak alınmıştır.
- Enerji ücreti 0.07 €/kWh
- Yeşil sertifika ücreti 15 yıllık için 0.137 €/kWh

SMART Mini Idro programı, bir nehirde DSE'e göre belirlenen günlük ortalama akışlar için, çevresel akışın ön değerlendirmesini yapmak, uygun türbin tipini seçmek ve ortalama bir ekonomik analiz yapmak için çalışma bölgemize uygulanmıştır. KHES tasarımı için öncelikle net düşü ve debiyi belirlemek gerekir. Önceki bölümlerden (tahmin verileri) elde edilen düşü ve debi verilerine dayanarak bu iki parametre kullanılmıştır. Daha sonra Türbin seçimi için yükseklik ve debi değerleri dikkate alınarak tüm düşü seneryaları (15-100 m) göre Kaplan türbini kullanılmıştır.

Ayrıca hidroelektrik santrallerin kıyaslanmasında belirleyici parametrelerden biri olan kapasite faktöründen de yararlanılmıştır. Kapasite faktörü, bir enerji santralinin belirli zaman aralığında (genellikle yıllık hesaplanır) ürettiği güç

miktarının, o zaman aralığının her saati tam kapasitede çalışarak üretebileceği güç miktarına oranıdır. Bu hesaplama aylık ve yıllık olarak yapılabilir

9
BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

9.1 Genel

Bu bölüm yapılan çalışmaların sonuçlarını içermektedir. Bu sonuçlar kendi içerisinde tartışılıp değerlendirilmiştir. Sonuç ve değerlendirmeler sırasıyla; eksik verilerin tamamlanması, hidrolojik model, hidrometrik ölçümler, brüt hidroenerji potansiyeli, KHES projeleri maliyet analizi kısımlarından oluşmaktadır.

9.2 Eksik Veri Tamamlanmasının Sonuç ve Değerlendirilmesi

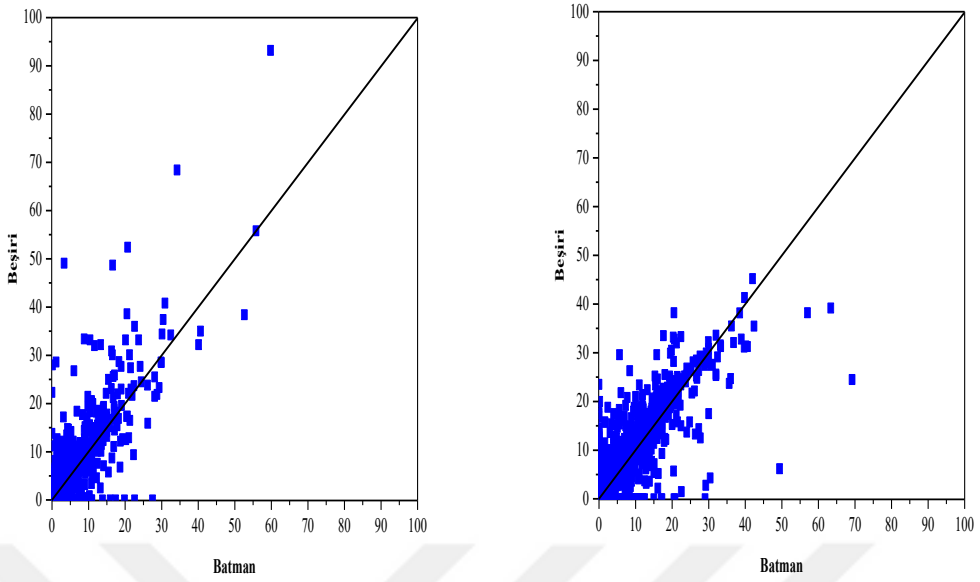
Bu çalışmada Batman istasyonun ait yağışlarda eksiklik olmadığından dolayı bu veriler çıktı olarak kullanılmıştır. Test ve öğrenme verisi seçilirken seçim rastgele yapılmıştır. Modelde kullanılan yağış verileri, programa uygun hale getirmek için normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Gizli katman sayısı 5 olarak belirlenmiş ve gizli katmanlarda bulunması gereken nöron sayısına deneme yanılma yöntemiyle karar verilmiştir. Öğrenme algoritması olarak iki farklı öğrenme algoritması denenmiştir. Bu algoritmalar Levenberg-Marquardt Backpropagation (LM) ve Bayesian Regularization (BR)'dır. Bu algoritmaların seçilme nedeni yapılan çalışmalarda iyi sonuçlar vermesidir. Transfer fonksiyonları olarak Tansig ve Logsig fonksiyonları kullanılmıştır. Bu çalışmada algoritma olarak LM ve transfer fonksiyonu olarak da Tansig iyi sonuçlar vermiştir. Tahmin edilen tüm değerlerin Batman ve diğer istasyonlar arasındaki kolerasyon katsayıları (R^2) Tablo 9.1'de verilmiştir.

Tablo 9.1 İstasyonlar arasında tahmin edilen tüm değerlerin korelasyon katsayıları (R^2)

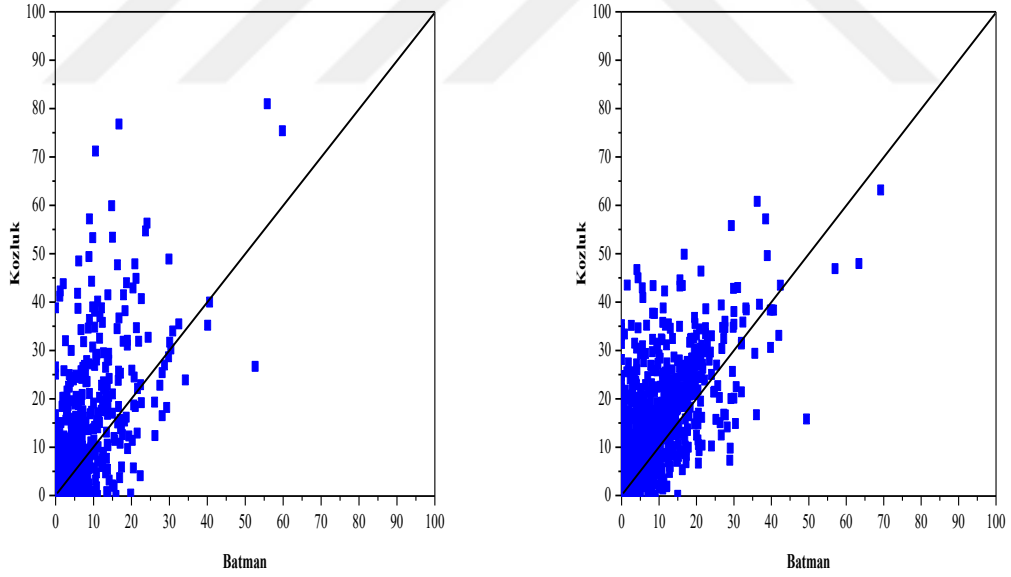
İstasyonlar	Gözlenmiş Değerler	Model Sonucu	Toplam Periyot
	Periyot 1985-1989 ve 2014-2017	Periyot 1990-2013	Periyot 1985-2017
	R^2	R^2	R^2
Batman-Beşiri	0.853	0.884	0.871
Batman-Kozluk	0.745	0.825	0.796
Batman-Sason	0.652	0.678	0.668

YSA modelinde gözlenen periyot ile tahmin edilen veriler arasındaki R^2 değeri Batman-Beşiri istasyonları arasında 0.884, Batman-Kozluk istasyonları arasında 0.825 ve Batman-Sason istasyonları arasında ise 0.668 olarak elde edilmiştir. Batman ile diğer istasyonlar arasındaki korelasyon katsayısı çok küçük bir farkla korunmuştur. Gözlenen sonuçlar ile tahmin sonuçlarına ait saçılma diyagramları Şekil 9.1, 9.2 ve 9.3'te verilmiştir.

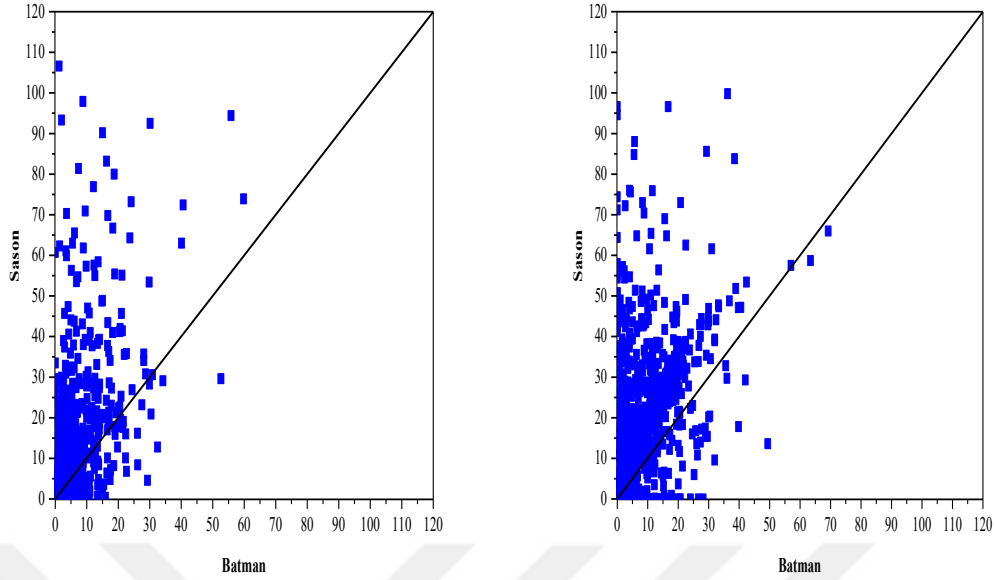
Gözlenen kesintisiz değerler (1985-1989 ve 2014-2017) ile model sonucu oluşan tüm periyot (1985-2017) arasındaki kolerasyon katsayısı karşılaştırıldığında, Batman-Beşiri istasyonları arasında 0.018, Batman-Kozluk istasyonları arasında 0.051 ve Batman-Sason istasyonları arasında ise 0.016'lık fark Batman ve diğer istasyonlar arasında oldukça yüksek bir başarı sağladığını göstermektedir.



Şekil 9.1 Batman-Beşiri istasyonuna ait gözlenen değerler (1985-1989 ve 2014-2017) ile tahmin değerlerine ait (1990-2013) saçılma diyagramları



Şekil 9.2 Batman-Kozluk istasyonuna ait gözlenen değerler (1985-1989 ve 2014-2017) ile tahmin değerlerine ait (1990-2013) saçılma diyagramları



Şekil 9.3 Batman-Sason istasyonuna ait gözlenen değerler (1985-1989 ve 2014-2017) ile tahmin değerlerine ait (1990-2013) saçılma diyagramları

Hidrolojinin pek çok alanında oldukça yaygın olarak kullanılan yapay sinir ağı metodu Fırat-Dicle Havzasının alt havzasında (Batman il sınırları içerisinde) yer alan üç adet istasyonda, belirli zaman aralığındaki eksik olan günlük yağış verilerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Tahmin edilen bu değerler gerçek ölçüm değerleriyle birlikte yukarıdaki grafiklerde verilmiştir. Yukarıdaki grafiklerde gözlenen değerlerle model sonucunda elde edilen değerlerin uyumlu olduğunu ve bu uyumluluğun kolerasyon katsayılarında da görülebilir.

9.3 Hidrolojik Modelin Sonuç ve Değerlendirilmesi

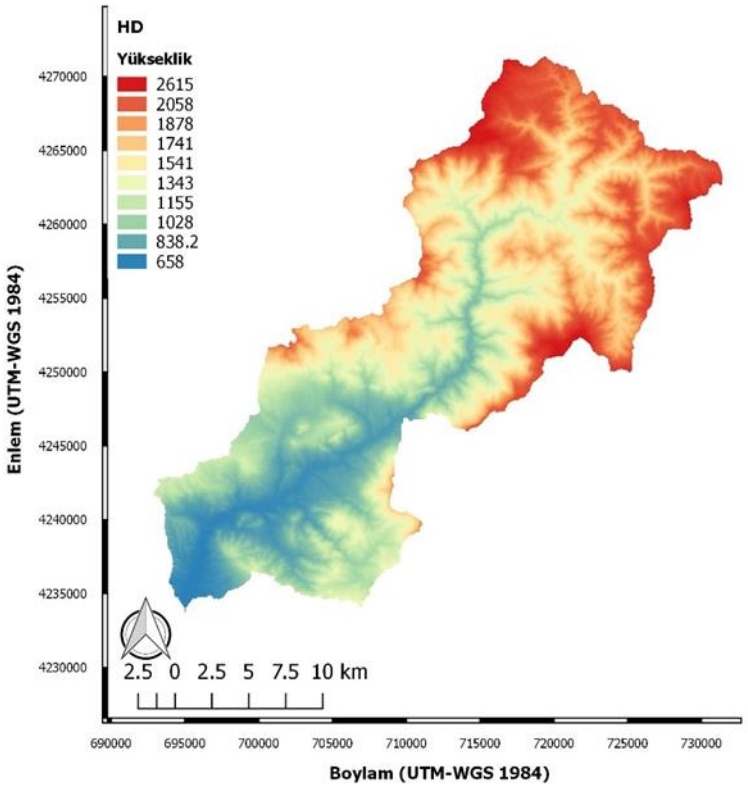
9.3.1 Sayısal Yükseklik Modeli

SYM, yükseltiler arasındaki boşluğun x ve y yönlerinde sabit olduğu iki boyutlu bir yükseklik dizisi içeren katı bir veri yapısıdır. SYM'ler internetten 10 metre, 30 metre (1: 24000 harita serisi) ve 90 metre (1: 250000 harita serisi) çözünürlüklerinde indirilebilir. SYM havza karakterizasyonu için HMS kullanımının önemli bir parçasıdır. HMS'in hidrolojik modelleme modülü kullanılarak SYM tanımlaması yapılmıştır. Bu çalışmada 30 metre (1: 24000 harita serisi) kullanılmıştır. İlk olarak, SYM'nin ön işlemleri tamamlandığında havzalara

ait alanlar elde edilmiştir. Daha sonra havzadaki akım yönleri ve toplanan akışı hesaplamak için bir çıkış noktası belirlenmiş ve sisteme manuel olarak eklenmiştir. Kullanılan SYM'nin özellikleri Tablo 9.2'de verilmiştir. Her havzaya ait SYM haritaları Şekil 9.4 ile Şekil 9.13 arasında verilmiştir. Drenaj alanı, havza şekli, havza eğimi ve sentroid gibi, drenaj havzasına ait morfolojik özellikler program vasıtayla elde edilmiş ve Tablo 9.3 ile Tablo 9.12 arasında verilmiştir.

Tablo 9.2 Çalışma alanı ait sayısal yükseklik modelinin (SYM) özellikleri

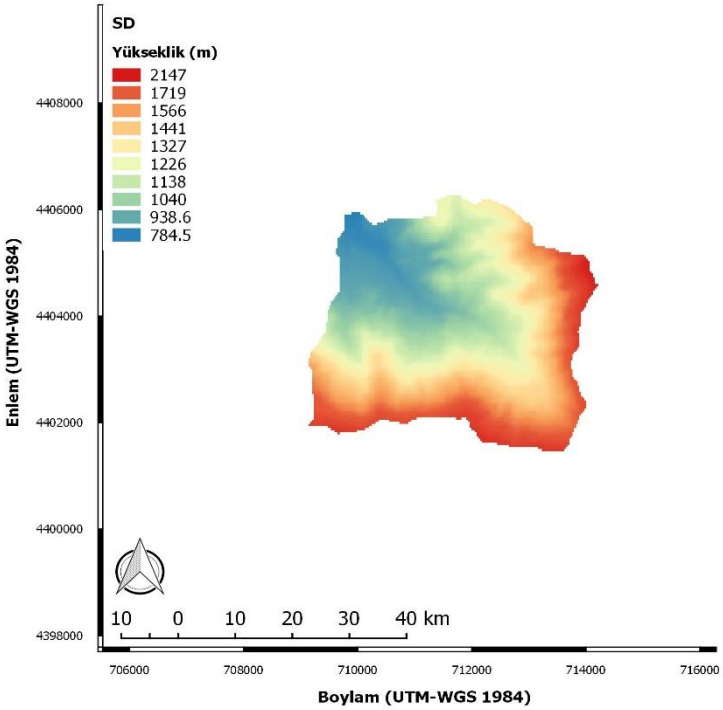
Yatay Sistem	UTM
Elipsoit	WGS 1984
UTM Bölgesi	37 (36^0E - 42^0E)
Yarım Küre	Kuzey
Birim	Metre
Enlem	Kuzey
Boylam	Doğu
Çözünürlük	1 ark saniye



Şekil 9.4 HD alt havzasının sayısal yükseklik haritası

Tablo 9.3 HD alt havzasının morfolojik özellikleri

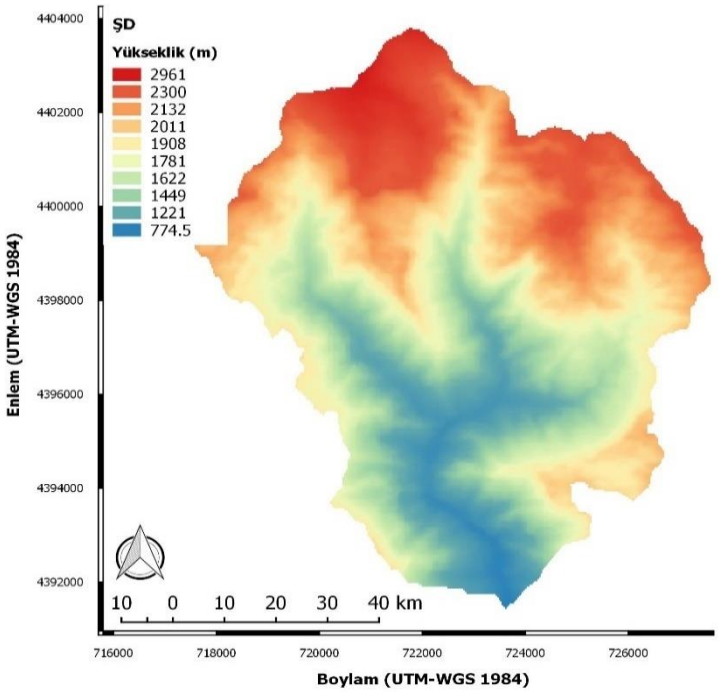
Havza alanı (km²)	563.54	**Ortalama havza yüksekliği (m)**	1450.82
Havza eğimi (m/m)	0.3875	**Maksimum akış mesafesi (m)**	65485.38
Arazi akışına göre ortalama (m)	1464.69	**Maksimum akış eğimi (m)**	0.0298
Kuzey yönü	0.47	**Maksimum akış uzunluğu (m)**	61162.90
Güney yönü	0.53	**Maksimum dere eğimi (m)**	0.0205
Havza uzunluğu (m)	46789.76	**Centroid ile dere arasındaki mesafe (m)**	923.98
Çevre (km)	197638.37	**Centroid akış mesafesi (m)**	37358.39
Şekil faktörü	3.88	**Centroid akış eğimi (m/m)**	0.0117
Sinuosite faktörü	1.31		



Şekil 9.5 SD alt havzasının sayısal yükseklik haritası

Tablo 9.4 SD alt havzasının morfolojik özellikleri

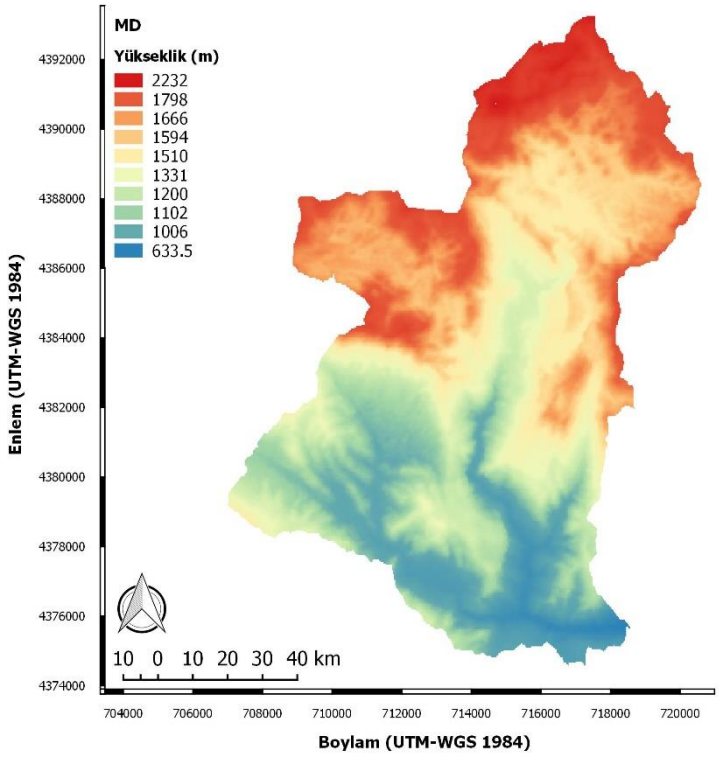
Havza alanı (km2)	17.92	**Ortalama havza yüksekliği (m)**	1309.51
Havza eğimi (m/m)	0.4558	**Maksimum akış mesafesi (m)**	6568.77
Arazi akışına göre ortalama (m)	1535.46	**Maksimum akış eğimi (m)**	0.1698
Kuzey yönü	0.70	**Maksimum akış uzunluğu (mm)**	3736.68
Güney yönü	0.30	**Maksimum dere eğimi (m)**	0.0721
Havza uzunluğu (m)	5820.31	**Centroid ile dere arasındaki mesafe (m)**	315.43
Çevre (km)	23288.18	**Centroid akış mesafesi (m)**	3118.70
Şekil faktörü	1.89	**Centroid akış eğimi (m/m)**	0.0652
Sinuosite faktörü	0.64		



Şekil 9.6 ŞD alt havzasının sayısal yükseklik haritası

Tablo 9.5 ŞD alt havzasının morfolojik özellikleri

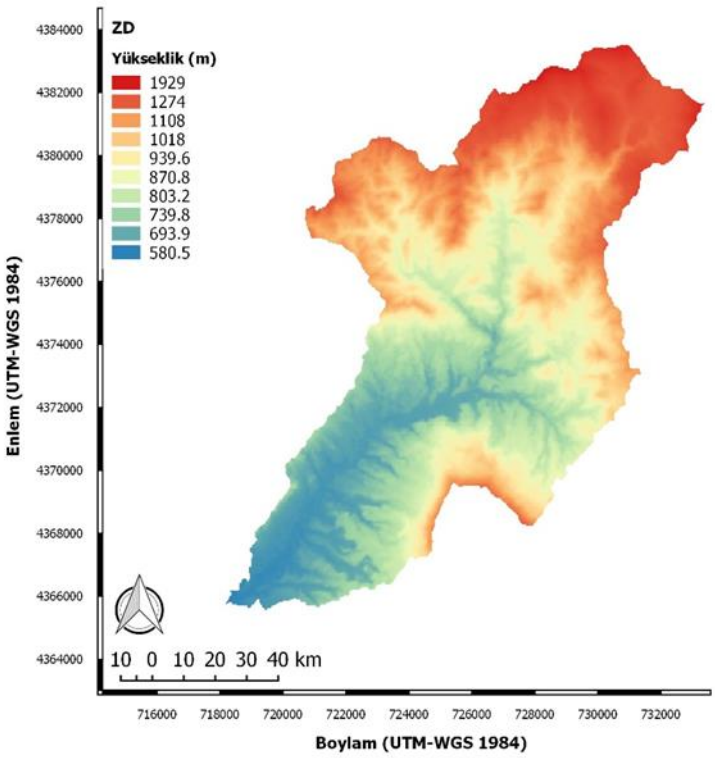
Havza alanı (km2)	72.37	**Ortalama havza yüksekliği (m)**	1803.26
Havza eğimi (m/m)	0.5188	**Maksimum akış mesafesi (m)**	15166.16
Arazi akışına göre ortalama (m)	1268.46	**Maksimum akış eğimi (m)**	0.1425
Kuzey yönü	0.38	**Maksimum akış uzunluğu (m)**	11501.15
Güney yönü	0.62	**Maksimum dere eğimi (m)**	0.0964
Havza uzunluğu (m)	12467.61	**Centroid ile dere arasındaki mesafe (m)**	215.29
Çevre (km)	53078.58	**Centroid akış mesafesi (m)**	8102.72
Şekil faktörü	2.15	**Centroid akış eğimi (m/m)**	0.0670
Sinuosite faktörü	0.97		



Şekil 9.7 MD alt havzasının sayısal yükseklik haritası

Tablo 9.6 MD alt havzasının morfolojik özellikleri

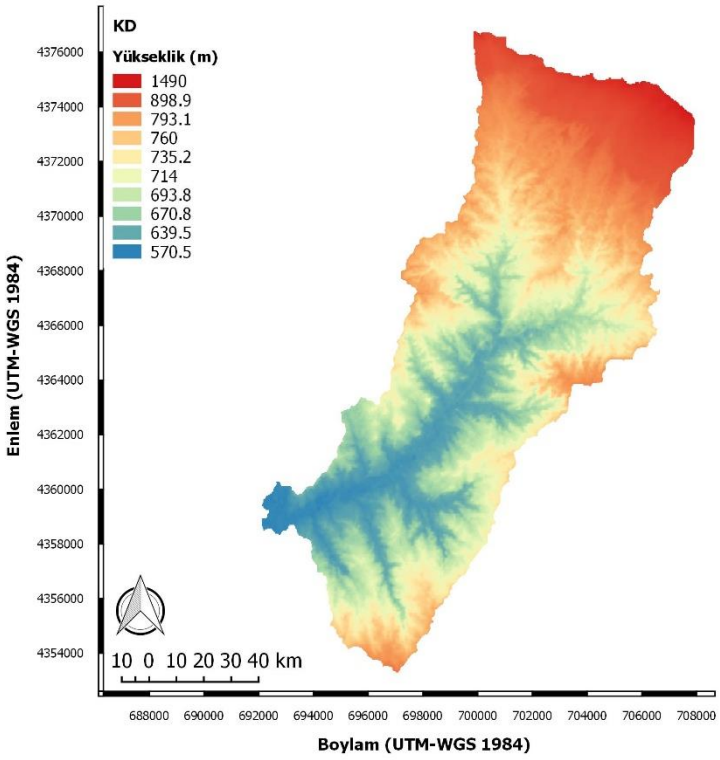
Havza alanı (km2)	134.91	**Ortalama havza yüksekliği (m)**	1404.43
Havza eğimi (m/m)	0.3240	**Maksimum akış mesafesi (m)**	26211.91
Arazi akışına göre ortalama (m)	1525.14	**Maksimum akış eğimi (m)**	0.0495
Kuzey yönü	0.43	**Maksimum akış uzunluğu (m)**	21365.18
Güney yönü	0.57	**Maksimum dere eğimi (m)**	0.0431
Havza uzunluğu (m)	17601.55	**Centroid ile dere arasındaki mesafe (m)**	311.26
Çevre (km)	84917.06	**Centroid akış mesafesi (m)**	12163.50
Şekil faktörü	2.30	**Centroid akış eğimi (m/m)**	0.0613
Sinuosite faktörü	1.21		



Şekil 9.8 ZD alt havzasının sayısal yükseklik haritası

Tablo 9.7 ZD alt havzasının morfolojik özellikleri

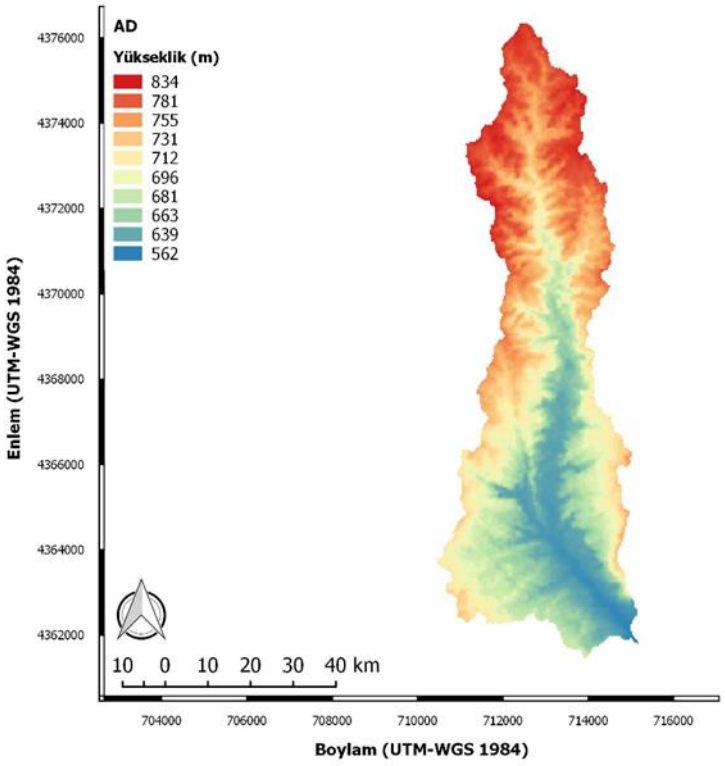
Havza alanı (km2)	130.57	**Ortalama havza yüksekliği (m)**	950.00
Havza eğimi (m/m)	0.2491	**Maksimum akış mesafesi (m)**	29424.78
Arazi akışına göre ortalama (m)	1588.68	**Maksimum akış eğimi (m)**	0.0413
Kuzey yönü	0.45	**Maksimum akış uzunluğu (m)**	25189.83
Güney yönü	0.55	**Maksimum dere eğimi (m)**	0.0227
Havza uzunluğu (m)	21958.75	**Centroid ile dere arasındaki mesafe (m)**	71.76
Çevre (km)	87741.35	**Centroid akış mesafesi (m)**	15870.87
Şekil faktörü	3.69	**Centroid akış eğimi (m/m)**	0.0096
Sinuosite faktörü	1.15		



Şekil 9.9 KD alt havzasının sayısal yükseklik haritası

Tablo 9.8 KD alt havzasının morfolojik özellikleri

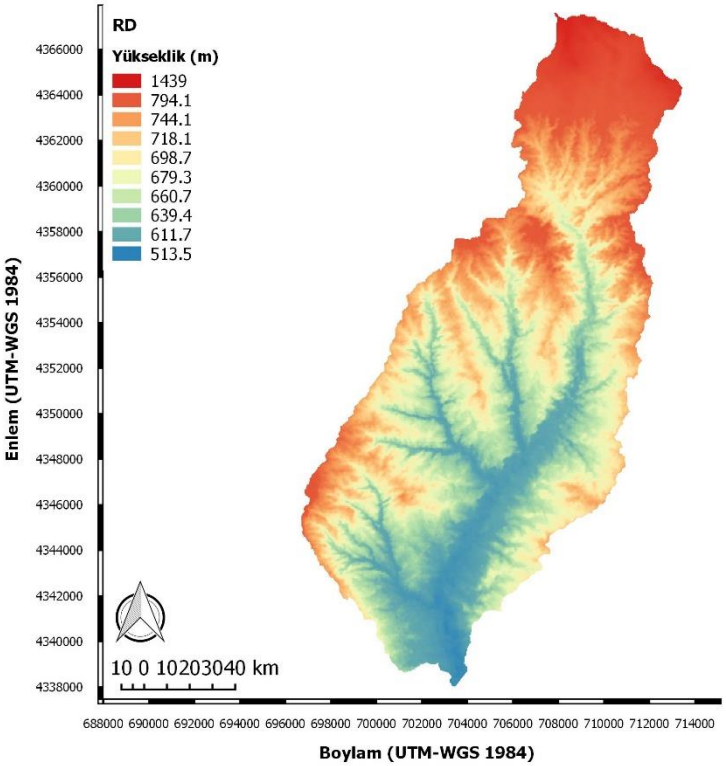
Havza alanı (km2)	154.02	**Ortalama havza yüksekliği (m)**	756.48
Havza eğimi (m/m)	0.1194	**Maksimum akış mesafesi (m)**	27830.21
Arazi akışına göre ortalama (m)	1753.15	**Maksimum akış eğimi (m)**	0.0304
Kuzey yönü	0.46	**Maksimum akış uzunluğu (m)**	23352.26
Güney yönü	0.54	**Maksimum dere eğimi (m)**	0.0109
Havza uzunluğu (m)	21262.20	**Centroid ile dere arasındaki mesafe (m)**	155.15
Çevre (km)	93171.81	**Centroid akış mesafesi (m)**	14205.46
Şekil faktörü	2.94	**Centroid akış eğimi (m/m)**	0.0045
Sinuosite faktörü	1.10		



Şekil 9.10 AD alt havzasının sayısal yükseklik haritası

Tablo 9.9 AD alt havzasının morfolojik özellikleri

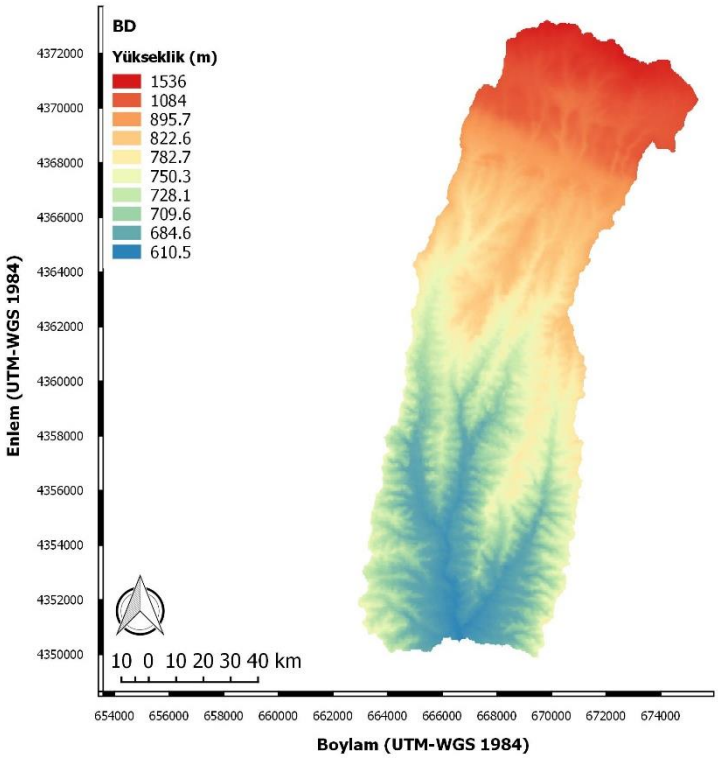
Havza alanı (km2)	39.99	**Ortalama havza yüksekliği (m)**	707.47
Havza eğimi (m/m)	0.1288	**Maksimum akış mesafesi (m)**	17208.39
Arazi akışına göre ortalama (m)	1397.75	**Maksimum akış eğimi (m)**	0.0149
Kuzey yönü	0.50	**Maksimum akış uzunluğu (m)**	12909.41
Güney yönü	0.50	**Maksimum dere eğimi (m)**	0.0113
Havza uzunluğu (m)	14768.48	**Centroid ile dere arasındaki mesafe (m)**	486.49
Çevre (km)	51895.78	**Centroid akış mesafesi (m)**	7547.40
Şekil faktörü	5.45	**Centroid akış eğimi (m/m)**	0.0101
Sinuosite faktörü	0.87		



Şekil 9.11 RD alt havzasının sayısal yükseklik haritası

Tablo 9.10 RD alt havzasının morfolojik özellikleri

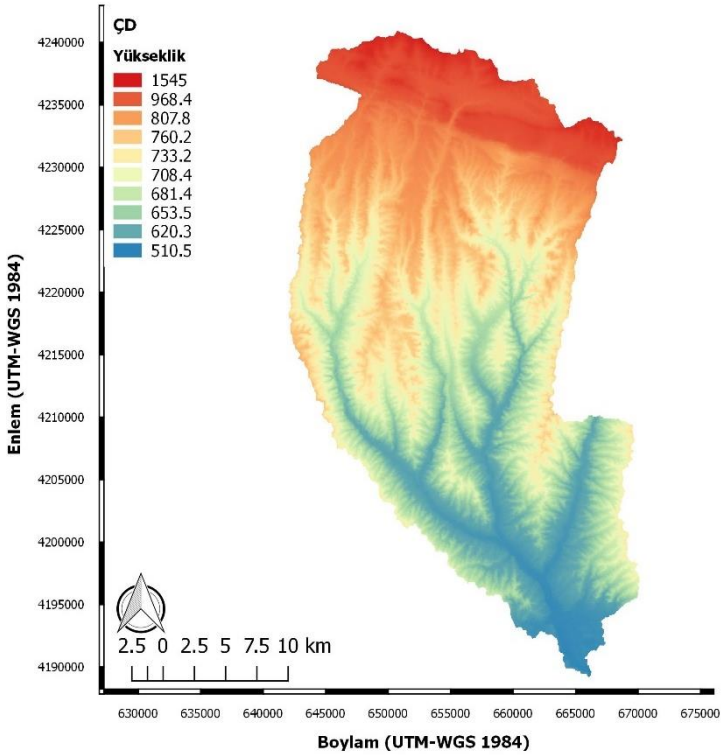
Havza alanı (km2)	241.24	**Ortalama havza yüksekliği (m)**	707.54
Havza eğimi (m/m)	0.1249	**Maksimum akış mesafesi (m)**	37820.45
Arazi akışına göre ortalama (m)	1722.02	**Maksimum akış eğimi (m)**	0.0203
Kuzey yönü	0.48	**Maksimum akış uzunluğu (m)**	32156.51
Güney yönü	0.52	**Maksimum dere eğimi (m)**	0.0074
Havza uzunluğu (m)	30016.42	**Centroid ile dere arasındaki mesafe (m)**	30.00
Çevre (km)	110048.95	**Centroid akış mesafesi (m)**	16956.42
Şekil faktörü	3.73	**Centroid akış eğimi (m/m)**	0.0043
Sinuosite faktörü	1.07		



Şekil 9.12 BD alt havzasının sayısal yükseklik haritası

Tablo 9.11 BD alt havzasının morfolojik özellikleri

Havza alanı (km2)	150.53	**Ortalama havza yüksekliği (m)**	831.49
Havza eğimi (m/m)	0.1088	**Maksimum akış mesafesi (m)**	28264.08
Arazi akışına göre ortalama (m)	1546.30	**Maksimum akış eğimi (m)**	0.0304
Kuzey yönü	0.41	**Maksimum akış uzunluğu (m)**	23310.28
Güney yönü	0.59	**Maksimum dere eğimi (m)**	0.0138
Havza uzunluğu (m)	22988.74	**Centroid ile dere arasındaki mesafe (m)**	397.97
Çevre (km)	85257.13	**Centroid akış mesafesi (m)**	12668.45
Şekil faktörü	3.51	**Centroid akış eğimi (m/m)**	0.0100
Sinuosite faktörü	1.01		



Şekil 9.13 ÇD alt havzasının sayısal yükseklik haritası

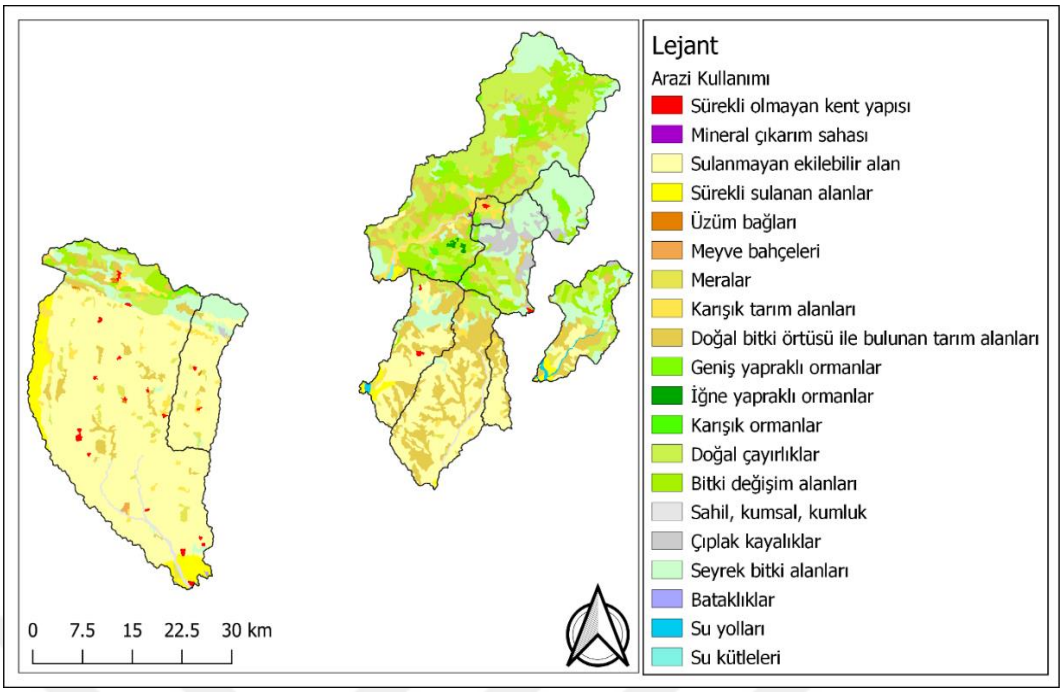
Tablo 9.12 ÇD alt havzasının morfolojik özellikleri

Havza alanı (km2)	915.93	**Ortalama havza yüksekliği (m)**	755.41
Havza eğimi (m/m)	0.0969	**Maksimum akış mesafesi (m)**	73212.33
Arazi akışına göre ortalama (m)	1485.58	**Maksimum akış eğimi (m)**	0.0128
Kuzey yönü	0.46	**Maksimum akış uzunluğu (m)**	69625.10
Güney yönü	0.54	**Maksimum dere eğimi (m)**	0.0073
Havza uzunluğu (m)	54382.02	**Centroid ile dere arasındaki mesafe (m)**	1026.89
Çevre (km)	219964.64	**Centroid akış mesafesi (m)**	36548.14
Şekil faktörü	3.23	**Centroid akış eğimi (m/m)**	0.0040
Sinuosite faktörü	1.28		

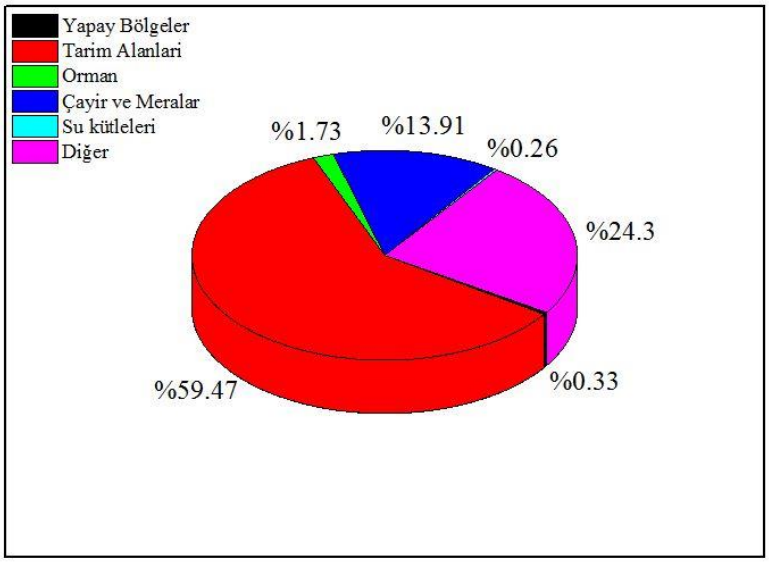
9.3.2 Arazi Kullanımı

Toprak özellikleri ve bitki örtüsü su hareketini etkiler. Bundan dolayı toprak ve arazi kullanım haritalarının oluşturulması gereklidir. Seçilen derelere ait havza toprak ve arazi kullanım haritası Copernicus Arazi İzleme Servisi (CORINE-2012) esas alınarak hazırlanmıştır. Arazi kullanım haritasının piksel boyutu 100 m olup yüksek çözünürlük içermekte ve bu da havza için arazi kullanım verilerinin doğruluğu anlamına gelmektedir. Copernicus Arazi İzleme Servisi, Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen üç hiyerarşik seviyeden oluşmaktadır. Birinci seviyede; Yapay Bölgeler, Tarım Alanları, Orman ve Yarı Doğal Alanlar, Sulak Alanlar, Su Kütleleri olmak üzere 5 ana grup, ikinci seviyede 15 ve üçüncü seviyede kullanılması zorunlu olan 44 alt sınıf mevcuttur. Üçüncü seviyede ise ayrıca ulusal olarak kullanılan arazi örtüsü varsa sınıflandırmaya dahil edilmektedir. Çalışma alanında kullanılan CORINE-2012 arazi kullanım kodları Tablo 9.13'te verilmiştir.

Kullanılan CORINE-2012 arazi kullanım haritası sonucunda çalışma alanında 20 adet sınıf kullanımı/arazi örtüsü bulunmaktadır. Bu arazi kullanım haritası Şekil 9.14'te verilmiştir. Çalışma alanındaki arazi kullanımı %59.47 oranında tarımsal arazilerden ve %13.91 oranında da çayır ve meralardan oluşmaktadır (Şekil 9.15). Ayrıca her havzaya ait arazi kullanım oranları, hidrolik toprak grubu ve SCS Eğri numarası (CN) değerleri Tablo 9.14 ile 9.23 arasında verilmiştir.



Şekil 9.14 Seçilen havzalara ait arazi kullanım raster haritası (CORINE-2012)



Şekil 9.15 Arazi kullanımın yüzdelik olarak dağılımı

Tablo 9.13 Çalışma alanında kullanılan CORINE arazi kullanım kodları

No	Sınıf kodu	Arazi kullanımı	No	Sınıf kodu	Arazi kullanımı
1	**1**	**Yapay bölgeler**	**19**	31	Orman
2	11	Kent yapısı	**20**	311	Geniş yapraklı ormanlar
3	112	Sürekli olmayan kent yapısı	**21**	312	İğne yapraklı ormanlar
4	13	Maden, boşaltım, inşaat sahaları	**22**	313	Karışık ormanlar
5	131	Mineral çıkarım sahaları	**23**	32	Maki veya otsu bitkiler
6	**2**	**Tarımsal alanlar**	**24**	321	Doğal çayırlıklar
7	21	Ekilebilir alanlar	**25**	324	Bitki değişim alanları
8	211	Sulanmayan ekilebilir alanlar	**26**	33	Bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar
9	212	Sürekli sulanan alanlar	**27**	331	Sahil, kumsal, kumluk
10	22	Sürekli ürünler	**28**	332	Çıplak kayalıklar
11	221	Üzüm bağları	**29**	333	Seyrek bitki alanları
12	222	Meyve bahçeleri	**30**	**4**	**Sulak alanlar**
13	23	Meralar	**31**	41	Karasal bataklık
14	231	Meralar	**32**	411	Bataklıklar
15	24	Karışık tarım alanları	**33**	**5**	**Su yapıları**
16	242	Karışık tarım alanları	**34**	51	Karasal sular
17	243	Doğal bitki örtüsü ile bulunan tarım alanları	**35**	511	Suyolları
18	**3**	**Orman ve yarı doğal alanlar**	**36**	512	Su kütleleri

Tablo 9.14 HD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri

HD							
No	**Kod**	**Arazi kullanımı**	**Hidrolik toprak grubu**	**CN**	**Alan (km^2)**	**Ürün (CNxAlan)**	**Ağırlıklı CN (Toplam ürün/Toplam alan)**
1	131	Mineral çıkarma sahaları	A	77	0.142	10.934	**48.5012**
2	211	Sulanmamis ekilebilir arazi	A	49	4.408	215.992	
3	212	Kalıcı olarak sulanan arazi	A	59	2.133	125.847	
4	231	Meralar	A	49	2.072	101.528	
5	242	Karışık tarım alanları	A	59	15.622	921.698	
6	243	Esasen önemli dogal bitki örtüsüne sahip tarımla işgal edilen arazi	A	49	74.12	3631.88	
7	311	Geniş yapraklı orman	A	36	22.254	801.144	
8	312	İğne yapraklı orman	A	36	1.991	71.676	
9	313	Karışık orman	A	36	2.844	102.384	
10	321	Doğal çayırlar	A	49	203.649	9978.801	
11	324	Bitki değişim alanları (ormanlik-çalı geçiş)	A	35	136.076	4762.66	
12	331	Sahil, kumsal, kumluk	A	63	2.702	170.226	
13	332	Çıplak kayalıklar	A	98	0.955	93.59	
14	333	Seyrek bitki örtüsü alanlar	A	68	93.653	6368.404	
15	512	Su kütleleri	A	0	1.422	0	
Toplam					564.04	27356.8	

Tablo 9.15 SD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri

SD							
No	**Kod**	**Arazi kullanımı**	**Hidrolik toprak grubu**	**CN**	**Alan (km²)**	**Ürün (CNxAlan)**	**Ağırlıklı CN (Toplam ürün/Toplam alan)**
1	112	Sürekli olmayan kentsel yapı	A	81	0.550	44.524	**59.8542**
2	231	Meralar	A	49	0.630	30.879	
3	242	Karışık tarım alanları	A	59	4.853	286.318	
4	243	Esasen önemli doğal bitki örtüsüne sahip tarımla işgal edilen arazi	A	49	1.525	74.718	
5	311	Geniş yapraklı orman	A	36	1.776	63.920	
6	321	Doğal çayırlar	A	49	4.945	242.297	
7	332	Çıplak kayalıklar	A	98	2.742	268.668	
8	333	Seyrek bitki örtüsü alanlar	A	68	0.904	61.463	
Toplam					17.925	1072.787	

Tablo 9.16 ŞD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri

ŞD							
No	**Kod**	**Arazi kullanımı**	**Hidrolik toprak grubu**	**CN**	**Alan (km²)**	**Ürün (CNxAlan)**	**Ağırlıklı CN (Toplam ürün/Toplam alan)**
1	243	Esasen önemli doğal bitki örtüsüne sahip tarımla işgal edilen arazi	A	49	0.566	27.714	**64.7573**
2	311	Geniş yapraklı orman	A	36	3.414	122.894	
3	321	Doğal çayırlar	A	49	2.384	116.793	
4	324	Bitki değişim alanları (ormanlik-çalı geçiş)	A	35	6.171	215.983	
5	332	Çıplak kayalıklar	A	98	4.474	438.470	
6	333	Seyrek bitki örtüsü alanlar	A	68	55.367	3764.942	
Toplam					72.376	4686.796	

Tablo 9.17 MD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri

MD							
No	**Kod**	**Arazi kullanımı**	**Hidrolik toprak grubu**	**CN**	**Alan (km^2)**	**Ürün (CNxAlan)**	**Ağırlıklı CN (Toplam ürün/Toplam alan)**
1	112	Sürekli olmayan kentsel yapı	A	81	0.519	42.001	**64.8345**
2	242	Karışık tarım alanları	A	59	1.037	61.186	
3	243	Esasen önemli doğal bitki örtüsüne sahip tarımla işgal edilen arazi	A	49	10.648	521.770	
4	311	Geniş yapraklı orman	A	36	3.796	136.669	
5	321	Doğal çayırlar	A	49	23.167	1135.190	
6	324	Bitki değişim alanları (ormanlik-çalı geçiş)	A	35	15.908	556.771	
7	332	Çıplak kayalıklar	A	98	28.815	2823.910	
8	333	Seyrek bitki örtüsü alanlar	A	68	51.020	3469.331	
Toplam					134.91	8746.828	

Tablo 9.18 ZD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri

ZD							
No	**Kod**	**Arazi kullanımı**	**Hidrolik toprak grubu**	**CN**	**Alan (km^2)**	**Ürün (CNxAlan)**	**Ağırlıklı CN (Toplam ürün/Toplam alan)**
1	211	Sulanmayan ekilebilir arazi	A	49	16.445	805.798	**51.2926**
2	212	Kalıcı olarak sulanan arazi	A	59	4.929	290.802	
3	231	Meralar	A	49	2.142	104.957	
4	243	Esasen önemli doğal bitki örtüsüne sahip tarımla işgal edilen arazi	A	49	25.635	1256.098	
5	311	Geniş yapraklı orman	A	36	1.935	69.649	
6	321	Doğal çayırlar	A	49	20.660	1012.32	
7	324	Geçiş ormanlık-çali	A	35	18.955	663.437	
8	332	Çıplak kayalıklar	A	98	1.175	115.114	
9	333	Seyrek bitki örtüsü alanlar	A	68	34.986	2379.024	
10	511	Su yolları	A	0	3.708	0.000	
Toplam					130.57	6697.199	

Tablo 9.19 KD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri

KD							
No	**Kod**	**Arazi kullanımı**	**Hidrolik toprak grubu**	**CN**	**Alan (km^2)**	**Ürün (CNxAlan)**	**Ağırlıklı CN (Toplam ürün/Toplam alan)**
1	112	Sürekli olmayan kentsel yapı	A	81	0.954	77.234	**51.8948**
2	211	Sulanmayan ekilebilir arazi	A	49	67.398	3302.504	
3	212	Kalıcı olarak sulanan arazi	A	59	6.900	407.123	
4	231	Meralar	A	49	1.857	90.985	
5	242	Karışık tarım alanları	A	59	1.631	96.229	
6	243	Esasen önemli doğal bitki örtüsüne sahip tarımla işgal edilen arazi	A	49	44.689	2189.784	
7	311	Geniş yapraklı orman	A	36	0.025	0.903	
8	321	Doğal çayırlar	A	49	5.545	271.725	
9	324	Geçiş ormanlık-çali	A	35	1.756	61.476	
10	333	Seyrek bitki örtüsü alanlar	A	68	21.981	1494.701	
11	511	Su yolları	A	0	1.280	0.000	
Toplam					154.01	7992.664	

Tablo 9.20 AD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri

AD							
No	**Kod**	**Arazi kullanımı**	**Hidrolik toprak grubu**	**CN**	**Alan (km²)**	**Ürün (CNxAlan)**	**Ağırlıklı CN (Toplam ürün/Toplam alan)**
1	211	Sulanmayan ekilebilir arazi	A	49	26.447	1295.903	**49.4032**
2	242	Karışık tarım alanları	A	59	1.612	95.127	
3	243	Esasen önemli doğal bitki örtüsüne sahip tarımla işgal edilen arazi	A	49	11.932	584.651	
Toplam					39.991	1975.681	

Tablo 9.21 RD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri

RD							
No	**Kod**	**Arazi kullanımı**	**Hidrolik toprak grubu**	**CN**	**Alan (km²)**	**Ürün (CNxAlan)**	**Ağırlıklı CN (Toplam ürün/Toplam alan)**
1	112	Sürekli olmayan kentsel yapı	A	81	0.084	6.796	**50.0078**
2	211	Sulanmayan ekilebilir arazi	A	49	128.054	6274.656	
3	212	Kalıcı olarak sulanan arazi	A	59	0.447	26.399	
4	231	Meralar	A	49	2.741	134.291	
5	242	Karışık tarım alanları	A	59	6.180	364.643	
6	243	Esasen önemli doğal bitki örtüsüne sahip tarımla işgal edilen arazi	A	49	82.750	4054.751	
7	321	Doğal çayırlar	A	49	8.474	415.20	
8	324	Bitki değişim alanları (ormanlik-çalı geçiş)	A	35	1.258	44.046	
9	331	Sahil, kumsal, kumluk	A	63	4.670	294.225	
10	333	Seyrek bitki örtüsü alanlar	A	68	6.656	452.594	
Toplam					241.314	12067.601	

Tablo 9.22 BD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri

BD							
No	**Kod**	**Arazi kullanımı**	**Hidrolik toprak grubu**	**CN**	**Alan (km^2)**	**Ürün (CNxAlan)**	**Ağırlıklı CN (Toplam ürün/Toplam alan)**
1	112	Sürekli olmayan kentsel yapı	A	81	0.573	46.432	**52.9357**
2	211	Sulanmayan ekilebilir arazi	A	49	112.524	5513.676	
3	221	Üzüm bağları	A	45	0.263	11.852	
4	231	Meralar	A	49	3.424	167.771	
5	242	Karışık tarım alanları	A	59	4.710	277.878	
6	243	Esasen önemli doğal bitki örtüsüne sahip tarımla işgal edilen arazi	A	49	2.634	129.055	
7	321	Doğal çayırlar	A	49	0.883	43.271	
8	332	Çıplak kayalıklar	A	98	1.441	141.20	
9	333	Seyrek bitki örtüsü alanlar	A	68	24.076	1637.152	
Toplam					150.528	7968.287	

Tablo 9.23 ÇD havzasına ait arazi kullanım miktarları, hidrolik toprak grubu ve CN değeri

ÇD							
No	**Kod**	**Arazi kullanımı**	**Hidrolik toprak grubu**	**CN**	**Alan (km²)**	**Ürün (CNxAlan)**	**Ağırlıklı CN (Toplam ürün/Toplam alan)**
1	112	Sürekli olmayan kentsel yapı	A	81	5.438	486.925	
2	211	Sulanmayan ekilebilir arazi	A	49	644.135	37076.313	
3	211	Sulanmayan ekilebilir arazi	D	84	3.451	289.884	
4	212	Kalıcı olarak sulanan arazi	A	59	37.738	2226.563	
5	212	Kalıcı olarak sulanan arazi	D	86	7.459	641.441	
6	221	Üzüm bağları	A	45	0.962	55.105	
7	222	Meyve ağaçları ve meyve tarlaları	A	45	1.336	60.114	
8	231	Meralar	A	49	14.054	856.404	
9	231	Meralar	D	84	1.559	130.915	
10	242	Karışık tarım alanları	A	59	26.572	1845.61	
11	243	Esasen önemli doğal bitki örtüsüne sahip tarımla işgal edilen arazi	A	49	48.463	2503.756	**59.6731**
12	311	Geniş yapraklı orman	A	36	3.785	136.259	
13	321	Doğal çayırlar	A	49	36.521	1832.815	
14	324	Geçiş ormanlık-çali	A	35	23.6	826.013	
15	331	Sahil, kumsal, kumluk	A	63	7.793	490.932	
16	331	Sahil, kumsal, kumluk	D	88	1.559	137.149	
18	333	Seyrek bitki örtüsü alanlar	A	68	41.493	4458.691	
19	411	İç bataklıklar	D	78	0.223	17.366	
Toplam					906.141	54072.255	

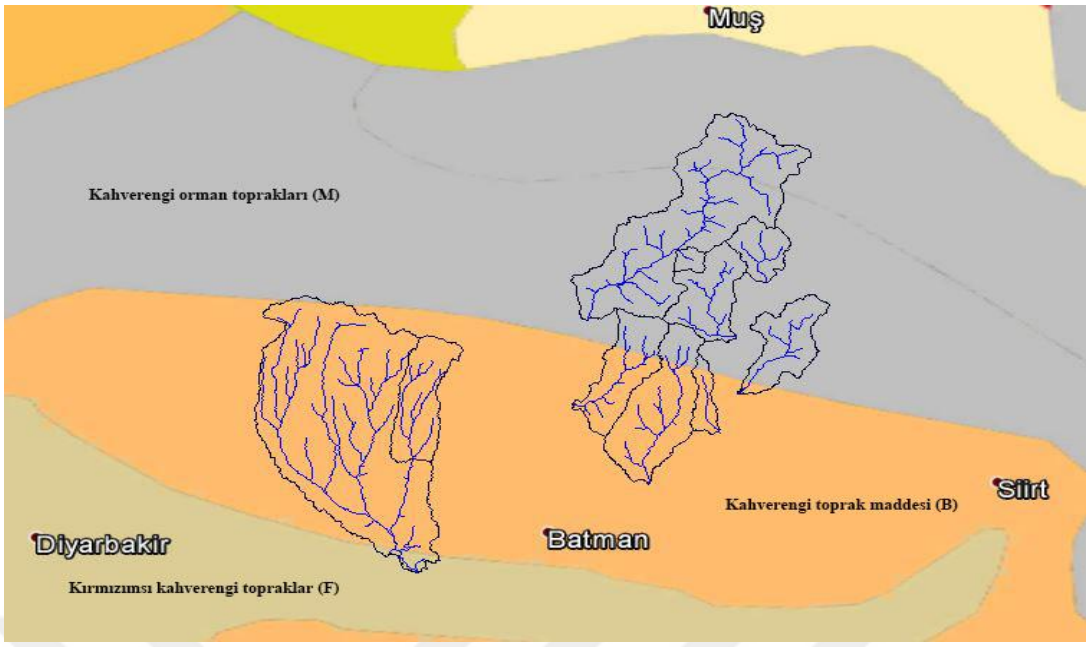
9.3.3 Toprak Dağılımı

Çalışma havzasına ait toprak özelliklerinin belirlenmesi için HMS programı bünyesindeki Global Land Cover haritası kullanılmıştır. Bu harita Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ile ortakları tarafından hazırlanan (GeoNetwork) interaktif haritalar, uydu görüntüleri ve ilgili uzamsal veri tabanlarına internet erişimi sağlamaktadır. Bu veri tabanında toprak yapısına ait; büyük toprak grubu, eğim, toprak bünyesi, arazi kullanım şekli, arazi tipleri gibi özellikler ve bu özelliklerin çeşitli kombinasyonları bulunmaktadır. Bu çalışmada FAO toprak sınıflandırma sistemine göre toprağın özellikleri tayin edilmiştir.

Çalışma alanında yer alan büyük toprak gruplarının dağılımı Tablo 9.24'te ve Şekil 9.16'da verilmiştir. Tablo 9.24'te görüldüğü gibi en baskın toprak grubu kahverengi toprak maddesi (B) olup onu kahverengi orman toprakları (M) takip etmektedir. Çok az bir miktarda ise kırmızımsı kahverengi toprak (F) grubu bulunmaktadır.

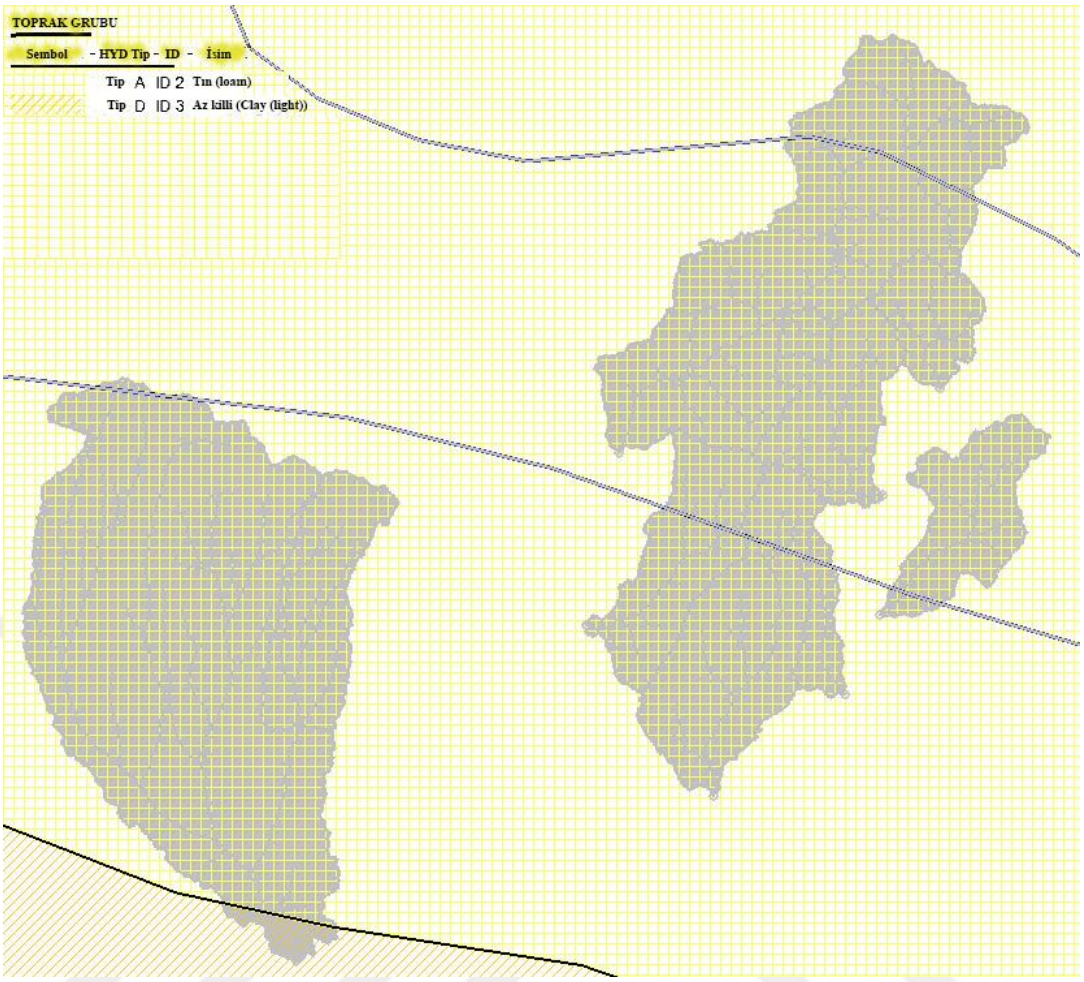
Tablo 9.24 Havzaya ait büyük toprak grupları ve miktarı

Sembol	Büyük toprak grupları	Alan (km^2)
M	Kahverengi orman toprakları	1167.041
B	Kahverengi toprak maddesi	1235.904
F	Kırmızımsı kahverengi topraklar	22.30
Toplam		2425.245



Şekil 9.16 Çalışma alanında yer alan büyük toprak gruplarının dağılımı

Kullanılan harita veri tabanında toprakların yapısı, killi tın (clay loam), tın (loam), az killi (clay (light)), kumlu killi tın (sandy clay loam), kumlu tın (sandy loam), kum (sand) olmak üzere yedi gruptan oluşmaktadır. Çalışma alanın toprak yapısı ise tın (loam) ve az killi (clay (light)) olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. Ayrıca hidrolik toprak grubu olarak da A ve D grubu toprak tipleri mevcuttur. Hidrolik toprak grubu olarak tüm çalışma alanı neredeyse A grubundan oluşmaktadır. Bu tip zeminler geçirimli olduğundan dolayı yağışın yüzeysel akışa geçen kısmı daha azdır. Toprakların yapısı ve büyük toprak gruplarına karşılık gelen hidrolojik toprak grubu Şekilde 9.17'de verilmiştir.



Şekil 9.17 Toprakların yapısı ve büyük toprak gruplarına karşılık gelen hidrolojik toprak grubu

9.3.4 Yağış Enterpolasyonu

Yağış istasyonları arasındaki etki değerleri Thiessen Poligonu yardımıyla hesaplanmış ve bu etki değerleri her alt havza için Tablo 9.25'te verilmiştir. İstasyonların alt havzalardaki dağılımı ve aralarındaki mesafeden dolayı etki değerleri de farklı çıkmaktadır.

Tablo 9.25 Tüm alt havzlar için Thiessen Poligon ağırlıklarının etki değerleri

No	Alt havzalar	İstasyonlar			
		1 (Sason)	2 (Kozluk)	3 (Beşiri)	4 (Batman)
1	Zugut deresi	-	1.0	-	-
2	Rapka deresi	-	0.54127891	0.45872109	
3	Aşağıyankılı deresi	-	1.0	-	-
4	Merga deresi	0.66337042	0.33662958	-	-
5	Küllük deresi	0.1120895	0.62865392	0.25925659	-
6	Şevay deresi	1.0	-	-	-
7	Sevek deresi	1.0	-	-	-
8	Han deresi	1.0	-	-	-
9	Başköy deresi	0.03423849	-	-	0.96576151
10	Çelebiyan deresi	0.0183168	-	-	0.9816832

9.3.5 HMM-HMS Havza Parametreleri ve Alt Havza ile Karşılaştırma

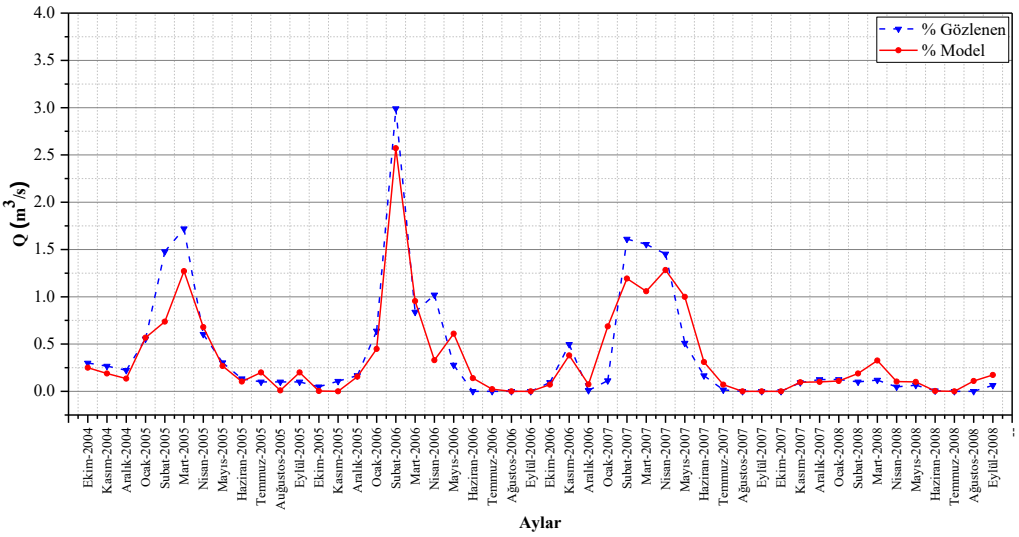
Hidrolojik Model için giriş parametreleri Tablo 5.3'te verilmiştir. SYM haritalarının işlenmesi sonucu elde edilen model parametrelerinin bazıları kayıp ve dönüşüm parametrelerini göstermektedir. Toprak Nemi Muhasebesi (Soil Moisture Accounting (SMA)) parametreleri ile toprak ve bitki örtüsü parametreleri literatürden alınmıştır. Sonuçların hassasiyeti modelin kalitesine, tahmincinin özelliklerine, havza bilgisine, meteorolojik verilerin doğruluğuna ve başka birçok faktöre göre değiştiğinden çıkan sonuçlar mükemmel olarak elde edilememektir.

Modele referans olarak kullanılan Çelebiyan alt havzası en büyük havza alanına (915.93 km^2) sahipken, Başköy alt havzası ise daha küçük drenaj alanına (150.13 km^2) sahiptir. Çelebiyan alt havzası (11 saat 8 dk) boyutu ve şekli nedeniyle, Başköy alt havzasına (6 saat 06 dk) göre yüksek bir konsantrasyon (toplanma) değerine ve gecikme süresine sahiptir. Su toplama havzaları söz konusu olduğunda, büyük su toplama havzalarındaki akımın çıkış noktasına gelmesi için geçen süre (geçiş süresi) küçük su toplama havzalarına göre, daha büyük değerler

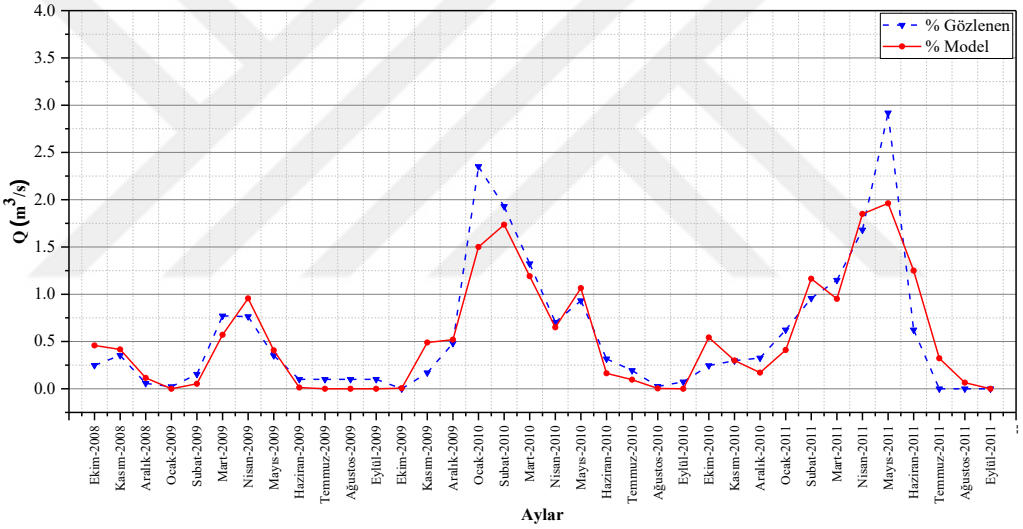
almaktadır. Farklı çalışmalarda da görüleceği gibi, geçirimsizlik ile simüle edilen akış değerleri arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur [158]. Bunun yanı sıra, kayıp değerleri ile havzanın boyutu arasında doğrusal bir ilşki söz konusu değildir. Tablo 5.13'te gözlemlenen havza parametreleri sınır değerler içinde kaldığından bu değerlerin ölçümü olmayan alt havzalara aktarılmasının güvenli olduğu görülmüştür.

9.3.6 Hidrolojik Model Kalibrasyonu ve Doğrulanması

Başköy Alt Havzası içerisinde yer alan Başköy deresinin 2005-2008 yıllarına ait kalibrasyon sonuçları aylık olarak Şekil 9.18'de verilmiştir. Göz önüne alınan yıllar arasında modelin ürettiği değerler gözlemlenen değerlere çok yakın olarak elde edilmiş olup pik değerlerde bir miktar sapma gözlenmiştir. Başköy alt havzası için model sonuçlarına bakıldığında, yağmurun başlangıcında yüksek bir ilk kayıp olduğu ve ilerleyen zamana bağlı olarak ilk kayıpların azalmasından dolayı yüzeysel akıştada bir artışın olduğu görülmektedir. Simüle edilen ve gözlemlenen değerler arasındaki NSE model verimliliği %84 gibi tatmin edici bir değere sahiptir. Bu sonuç Gumindoga vd.'nin (2017) Upper Manyame üzerinde yaptıkları benzer çalışmaya göre daha iyi bir sonuç (NSE=%64) vermiştir [159]. Bağıl Hacim Hatası (BHH) değeri -%24 olarak elde edilmiştir. Ancak BHH'de pozitif ve negatif hatalar birbirini dengeleme eğiliminde olacağından, elde edilen küçük bir değer her zaman modelin iyi olduğunu göstermemektedir. Bundan dolayı, mükemmel bir model sıfıra yakın bir değer verebileceği gibi gerçek hidrografla hiçbir benzerliği olmayan bir modelinde sıfıra yakın değer vermesi mümkündür. [112]. Bu sebepten ötürü BHH değeri kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır. Dört yıllık kalibrasyon dönemi için, simüle edilen ve gözlemlenen hacim ve pik akımlardaki farklar sırasıyla +%14 ve +%16'dır. Başköy alt havzası için, işlem tatmin edici bir şekilde gerçekleştirildiğinde HMM-HMS simülasyon parametrelerinin güvenli olduğunu ve ölçüm verisi olmayan alt havzalara aktarılabileceğini göstermektedir.



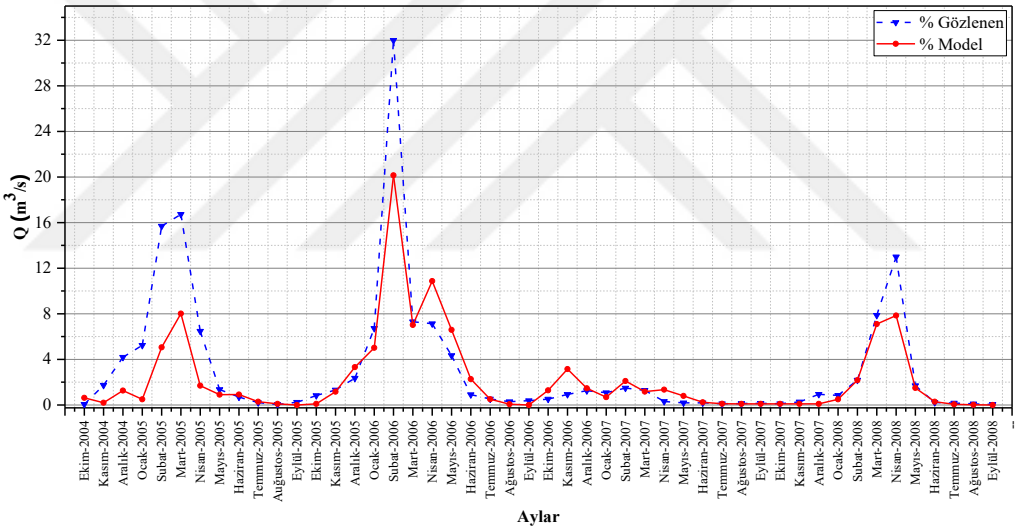
Şekil 9.18 Başköy Deresine ait kalibrasyon sonuçları (2005-2008)



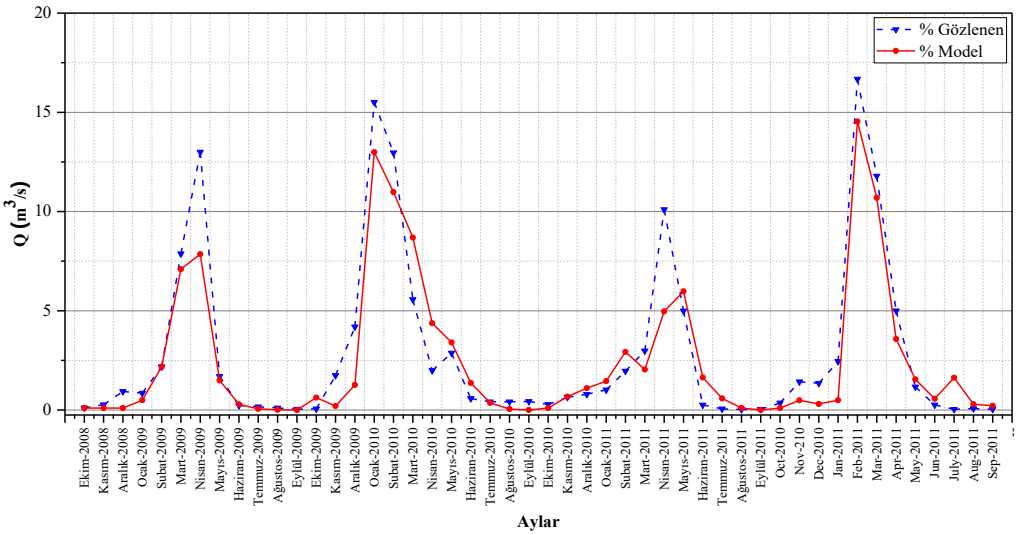
Şekil 9.19 Başköy Deresine ait doğrulama sonuçları (2009-2011)

Başköy deresinin 2009-2011 yıllarındaki doğrulama sonuçları Şekil 9.19'da verilmiştir. Şekil 9.19 incelendiğinde akımın pik zamanlarda (Ocak-2010 ve Mayıs-2011) küçük sapmalar göstermesine karşın diğer aylar için uygun sonuçlar vermiştir. Model 3 yıllık doğrulama sürecinde 631 m^3/s'lik toplam gözlenen değere karşılık toplam 722 m^3/s'lik kabul edilebilir bir seviyede simüle edilmiş bir akım değeri vermektedir. NSE verimliliği %83 olarak elde edilmiş olup BHH miktarı ise -%14 değerini vermektedir.

Çelebiyan alt havzası içerisinde yer alan Çelebiyan Deresi'nin 2005-2008 yıllarına ait aylık kalibrasyon sonuçları Şekil 9.20'de verilmiştir. Model bu dönemde gözlemlenen normal değerleri üretmeyi başarırken, en yoğun süreleri tam olarak yakalayamamıştır. Simüle edilen ve gözlemlenen değerler arasındaki verimliliği belirleyen NSE model verimliliği %72 olarak elde edilmiştir. Bu tatmin edici performans Gumindoga vd.'nin (2017) Upper Manyame üzerinde yaptıkları benzer çalışmaya yakın bir sonuç (NSE=%68) vermiştir [159]. BHH %9.7 değerini vermektedir. Dört yıllık kalibrasyon dönemi için, simüle edilen değerlere göre gözlemlenen hacim ve pik akım değerleri arasındaki fark sırasıyla %0.5 ve %55 daha az olarak elde edilmiştir. Çelebiyan alt havzası için, işlem tatmin edici bir şekilde gerçekleştirildiğinde HMM-HMS simülasyon parametrelerinin güvenli olduğunu ve ölçüm verisi olmayan alt havzalara aktarılabileceğini göstermektedir.



Şekil 9.20 Çelebiyan Deresine ait kalibrasyon sonuçları (2005-2008)



Şekil 9.21 Çelebiyan Deresine ait doğrulama sonuçları (2009-2011)

Çelebiyan Deresi'nin 2009-2011 yıllarına ait doğrulama sonuçları Şekil 9.21'de verilmiştir. Göz önüne alınan yıllar arasında modelin ürettiği değerler gözlemlenen değerlere çok yakın olarak elde edilmiş olup pik değerlerde bir miktar sapma gözlenmiştir. Alt havzalardaki bu simülasyon tutarsızlığı, gözlem istasyonları ile yağış istasyonlarının hataları ve Thiessen poligonları ile genel aralıklı yağış istasyonlarının ağı kullanılarak alansal yağış tahmininden kaynaklanan hatalardan oluşabilmektedir. Buna karşılık model, üç yıllık doğrulama dönemi boyunca gözlenen 3316 m^3/s'lik bir akıma karşılık kabul edilebilir bir seviyede toplam 3295 m^3/s'lik simüle edilmiş bir akım sağlamıştır. NSE verimliliği %71 olarak elde edilmiş olup BHH ise %0.65 değerini vermektedir.

9.3.7 Ölçümü Olmayan Alt Havzalar için Simülasyon Sonuçları

Akım gözlem istasyonu olmayan alt havzalarda akış simülasyonu oluşturmak için hem yağış hem de akış kayıtlarının bulunması ve ayrıca bunları kalibre etmek için mevcut birkaç akış ölçerin kullanılmasını gerekmektedir. Pik değerlerinin büyüklüğü ve zamanlaması, gözlemlenen değerlerle yakından eşleşince, ölçümü olmayan havzalara bu parametreler aktarılabilmektedir. Bu çalışmada, alt havzaların fiziksel parametreleri (alanlar, uzunluklar ve eğimler gibi) ile Clark Birim Hidrograftan elde edilen gecikme süreleri (saat), simülasyonda gözlenen verilerden ayrıştırılmış ve diğer alt havzalara aktarılmıştır.

Başköy ve Çelebiyan alt havzalarının gözlemlenmiş yağış-akış ilişkisi verilerinden hesaplanan parametreler ölçümü olmayan Han Deresi, Sevek Deresi, Şevay Deresi, Merga Deresi, Zugut Deresi, Küllük Deresi, Aşağıyankılı Deresi, Rapka Deresi alt havzalarına aktarılmıştır. Tablo 9.26'de ölçümü olmayan alt havzaların similasyon sonuçlarının pik akım miktarları ve zamanları verilmiştir. Referans havza model similasyonu her bir alt havza için ayrı ayrı uygulanmıştır. 2005-2011 similasyon periyodu boyunca simulen edilen dereler içinde en yüksek pik akım değerine Han Deresi (55.3 m^3/s), en küçük pik akım değerine ise Sevek Deresi (2.2 m^3/s) sahiptir. Pik zamanlarının farklık göstermesi havza fiziksel özelliklerinin (örneğin boyut ve şekil) ve yağış değerlerinin alansal dağılımının yetersiz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 9.26 Ölçümü olmayan alt havzalara ait similasyon pik sonuçları

Yıl	Pik (m^3/s)	Pik zamanı	Pik dönemlerine ait kümülatif akım miktarı (mm)
HD	55.3	27 Aralık 2005	834.18
SD	2.2	4 Şubat 2005	703.32
ŞD	7.0	27 Aralık 2005	703.32
MD	10.8	27 Aralık 2005	571.54
ZD	6.9	10 Mayıs 2011	243.71
KD	7.9	11 Nisan 2011	256.99
AD	8.5	4 Şubat 2005	182.43
RD	10.3	10 Mayıs 2011	190.28

9.4 Hidrometrik Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi

9.4.1 Derelere ait Yüzey Hızı Tahminleri ve Debi Değerleri

Ölçüm yapılmayan/yapılamayan akarsularda akım verisi belirlemek yoğun emek ve zaman gerektiğinden pratik ve ekonomik olmamaktadır. Ayrıca sürekli ve hassas akış ölçmelerine gerek duyulan bu tip durumlarda büyük güçlüklerle karşılaşılmaktadır. Diğer ölçme yöntemlerinin uygulanmadığı durumlarda, daha da önemlisi araştırma amaçlı çalışmalar için veri toplanmasında kullanılan Yüzgeçler Yöntemi ve Pitot Tüpü Yöntemleri kullanılarak debi

hesaplanabilmektedir. Bundan dolayı üzerinde akım gözlem istasyonu bulunmayan bu sekiz adet derenin yağış rejimlerini temsilen üçer aylık periyotlarda (Ocak-Mart, Nisan-Haziran, Temmuz-Eylül ve Ekim-Aralık 2019) anlık debi tahmini yapılmıştır. Bu derelere ait Yüzgeçler Yöntemi ile ölçülmüş yüzeysel hızlar Tablo 9.27'de ve Pitot Tüpü Yöntemiyle ölçülmüş hızlar ise Tablo 9.28'de verilmiştir. Derelere ait kesit alanları Tablo 9.29'da gösterilmiştir. Yüzgeçler ve Pitot Tüpü Yöntemi sonucunda derelere ait hesaplanan debi değerleri Tablo 9.30 ve 9.31'dedir. Seçilen derelere ait tüm ölçüm ve hesaplar ekler A kısmında sunulmuştur.

Tablo 9.27 Yüzgeçler Yöntemiyle ölçülmüş anlık yüzeysel hızlar

No	**Derenin adı**	**Ocak-Mart 2019** V_s **(m/s)**	**Nisan-Haziran 2019** V_s **(m/s)**	**Temmuz-Eylül 2019** V_s **(m/s)**	**Ekim-Aralık 2019** V_s **(m/s)**
1	Han Deresi	1.794	2.333	0.991	1.734
2	Sevek Deresi	1.977	1.633	1.124	1.288
3	Şevay Deresi	2.196	2.460	1.579	1.733
4	Merga Deresi	1.844	1.546	0.357	0.464
5	Zugut Deresi	1.426	0.801	0.045	0.726
6	Küllük Deresi	0.964	0.522	0.037	0.126
7	Aşağıyankılı Deresi	0.706	0.705	0.526	0.431
8	Rapka Deresi	1.397	0.576	0.228	0.775

Tablo 9.28 Pitot Tüpü yöntemiyle ölçülmüş anlık hızlar

No	Derenin adı	Ocak-Mart 2019 V_i (m/s)	Nisan-Haziran 2019 V_i (m/s)	Temmuz-Eylül 2019 V_i (m/s)	Ekim-Aralık 2019 V_i (m/s)
1	Han Deresi	1.795	2.252	1.787	1.932
2	Sevek Deresi	1.261	2.285	0.833	1.208
3	Şevay Deresi	1.951	1.891	1.658	2.070
4	Merga Deresi	1.443	2.277	1.709	1.675
5	Zugut Deresi	1.198	1.803	1.253	1.624
6	Küllük Deresi	1.432	2.331	1.759	1.463
7	Aşağıyankılı Deresi	1.086	1.286	0.674	1.191
8	Rapka Deresi	1.519	2.158	1.102	1.636

Tablo 9.29 Derelere ait ortalama kesit alanları

No	Derenin adı	Ocak-Mart 2019 A (m^2)	Nisan-Haziran 2019 A (m^2)	Temmuz-Eylül 2019 A (m^2)	Ekim-Aralık 2019 A (m^2)
1	Han Deresi	9.80	16.45	5.11	6.97
2	Sevek Deresi	0.62	0.73	0.093	0.5
3	Şevay Deresi	6.45	8.11	1.16	4.27
4	Merga Deresi	5.62	6.82	2.77	3.73
5	Zugut Deresi	4.47	3.52	0.64	2.72
6	Küllük Deresi	2.41	2.23	1.19	1.12
7	Aşağıyankılı Deresi	0.54	0.59	0.036	0.25
8	Rapka Deresi	2.54	4.72	0.26	0.98

Tablo 9.30 Yüzgeçler Yöntemiyle ölçülmüş anlık debi değerleri

No	Derenin adı	Ocak-Mart 2019 Q (m^3/s)	Nisan-Haziran 2019 Q (m^3/s)	Temmuz-Eylül 2019 Q (m^3/s)	Ekim-Aralık 2019 Q (m^3/s)
1	Han Deresi	14.946	32.618	4.306	10.273
2	Sevek Deresi	1.041	1.013	0.088	0.547
3	Şevay Deresi	12.040	16.960	1.556	6.289
4	Merga Deresi	7.760	8.964	0.841	1.470
5	Zugut Deresi	3.489	2.396	0.024	1.678
6	Küllük Deresi	1.974	0.988	0.037	0.119
7	Aşağıyankılı Deresi	0.324	0.353	0.016	0.091
8	Rapka Deresi	3.016	2.310	0.050	0.645

Tablo 9.31 Pitot Tüpü Yöntemiyle ölçülmüş anlık debi değerleri

No	Derenin adı	Ocak-Mart 2019 Q (m^3/s)	Nisan-Haziran 2019 Q (m^3/s)	Temmuz-Eylül 2019 Q (m^3/s)	Ekim-Aralık 2019 Q (m^3/s)
1	Han Deresi	13.195	27.795	6.849	10.104
2	Sevek Deresi	0.585	1.251	0.055	0.453
3	Şevay Deresi	9.438	11.506	1.442	6.630
4	Merga Deresi	6.084	11.648	3.550	4.688
5	Zugut Deresi	4.019	4.761	0.601	3.313
6	Küllük Deresi	2.589	3.899	1.570	1.228
7	Aşağıyankılı Deresi	0.439	0.569	0.019	0.222
8	Rapka Deresi	2.894	7.641	0.206	1.202

Ocak-Mart ayları arasında Yüzgeçler Yöntemi ve Pitot Tüpü Yöntemi ile yapılan debi değerleri arasında genel olarak fazla fark gözükmemektedir. İki ölçüm yöntemi arasındaki fark, yedi derede %25'in altında kalmışken yalnızca Sevek Deresi'nde %43.80'lik bir değer gözlenmiştir.

Nisan-Haziran ayları arasında yapılan ölçümlerde Pitot Tüpü ölçümlerinin Yüzgeçler Yöntemine göre daha fazla değerler verdiği görülmüştür. Bu dönemde

yapılan ölçümlerde minumum fark %32.15 ile Şevay Deresinde maksimum fark ise %294.63 ile Küllük Deresinde elde edilmiştir.

Temmuz-Eylül döneminde Pitot Tüpü ölçüm değerleri Yüzgeçlere göre biraz daha yüksek elde edilmiştir. İki ölçüm yöntemi arasındaki fark incelendiğinde Han Deresi (%59.05), Merga Deresi (%322.11) dışındaki tüm derelerde çok küçük oranda kalmıştır. Ayrıca yapılan arazi çalışmaları sırasında (2019) yağışların olmadığı Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında Zugut, Küllük, Aşağıyankılı ve Rapka Dereleri'nin kuruduğu görülmüştür.

Ekim-Aralık Döneminde Pitot Tüpü ölçüm değerleri yüzgeçlere göre daha yüksek elde edilmiştir. İki ölçüm yöntemi değerleri arasındaki fark Merga Deresi'nde %218.91, Zugut Deresi'nde %97.43 mertebesinde iken diğer derelerde fazla bir fark gözükmemektedir.

Yüzgeçler Yöntemi ve Pitot Tüpü Yöntemi'nin doğrulanması amacıyla referans havza olarak seçilen Başköy ve Çelebiyan Derelerinde de ölçümler yapılmıştır. Bu dereler üzerinde Yüzgeçler Yöntemi ve Pitot Tüpü Yöntemi uygulanarak elde edilen değerler Tablo 9.32'de verilmiştir. Yüzgeçler Yöntemi ve Pitot Tüpü Yöntemi ile elde edilen değerler AGİ'lere ait (2000-2014) ölçüm değerlerinin (Üçer aylık dönem periyotlarına göre) ortalaması alınarak karşılaştırma yapılmıştır (Tablo 9.33).

Tablo 9.32 Başköy ve Çelebiyan Deresine ait anlık ölçülmüş hız, alan ve debi değerleri

Hız Değerleri					
Yöntem	**Derenin adı**	**Ocak-Mart 2019** V_s **(m/s)**	**Nisan-Haziran 2019** V_s **(m/s)**	**Temmuz-Eylül 2019** V_s **(m/s)**	**Ekim-Aralık 2019** V_s **(m/s)**
Yüzgeçler	Başköy Deresi	0.806	0.952	0.345	0.486
	Çelebiyan Deresi	1.604	1.564	1.206	1.561
Pitot Tüpü	Başköy Deresi	1.153	1.414	1.278	1.186
	Çelebiyan Deresi	2.116	2.046	2.284	2.264
Kesit alanları					
Derenin adı		**Ocak-Mart 2019** **A** (m^2)	**Nisan-Haziran 2019** **A** (m^2)	**Temmuz-Eylül 2019** **A** (m^2)	**Ekim-Aralık 2019** **A** (m^2)
Başköy Deresi		0.97	1.29	0.99	0.71
Çelebiyan Deresi		8.56	12.56	6.37	11.85
Debi miktarları					
Yöntem	**Derenin adı**	**Ocak-Mart 2019** **Q** (m^3/s)	**Nisan-Haziran 2019** **Q** (m^3/s)	**Temmuz-Eylül 2019** **Q** (m^3/s)	**Ekim-Aralık 2019** **Q** (m^3/s)
Yüzgeçler	Başköy Deresi	0.664	1.043	0.290	0.486
	Çelebiyan Deresi	11.672	16.698	6.528	15.721
Pitot Tüpü	Başköy Deresi	0.839	1.368	0.949	0.631
	Çelebiyan Deresi	13.588	19.279	10.911	20.125

Tablo 9.33 Başköy ile Çelebiyan Deresine ait anlık ölçülmüş debi değerleri ile AGİ değerlerinin karşılaştırılması

Başköy Deresi			
Aylar	**Yüzgeçler (m^3/s)**	**Pitot Tüpü (m^3/s)**	**AGİ (D26A060) (m^3/s)**
Ocak-Mart	0.664	1.119	1.507
Mayıs-Haziran	1.043	1.824	0.767
Temmuz-Eylül	0.290	1.266	0.045
Ekim-Aralık	0.486	0.842	0.302
ORT	**0.620**	**1.262**	**0.655**
Çelebiyan Deresi			
Aylar	**Yüzgeçler (m^3/s)**	**Pitot Tüpü (m^3/s)**	**AGİ (D26A012) (m^3/s)**
Ocak-Mart	11.672	13.588	10.379
Mayıs-Haziran	16.698	19.279	3.085
Temmuz-Eylül	6.528	10.911	0.228
Ekim-Aralık	15.721	20.125	3.210
ORT	**12.654**	**15.975**	**4.225**

Başköy Deresi'nde, debi değerlerinin ortalaması alınarak değerlendirme yapıldığında, Yüzgeçler Yöntemi ile AGİ değerleri birbirlerine yakın elde edilmesine rağmen Pitot Tüpü Yöntemi ile elde edilen değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Çelebiyan Deresi'nin Ocak-Mart döneminde Pitot Tüpü Yöntemi ile Yüzgeçler Yöntemi arasında %26.24'lük bir fark elde edilmiştir. Yapılan gözlem süresi boyunca Çelebiyan Deresi'ne ait AGİ değerlerinin düşük olmasının nedeni dere yatağının yer değiştirmesine bağlı olarak akım gözlem istasyonun eksik ölçüm yapmasıdır (Şekil 9. 22).



Şekil 9.22 Çelebiyan Deresine ait AGİ (D26A012)

9.4.2 Hidrometrik Ölçümler ile Hidrolojik Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada, akım gözlem istasyonu olmayan bu küçük akarsularda hız esasına dayanan Yüzgeçler ve Pitot Tüpü Yöntemleri yardımıyla anlık debi tahminleri yapılmıştır (Tablo 9.34). Anlık debi tahminleri, bu alt havzalara ait yağış rejimlerini temsilen 2019 yılı içerisinde üç aylık dönemlerde yapılmıştır. Ortalama akım gözlem değerleri (CD-BD, 2005-2011) ve ortalama model sonuçları Tablo 9.35'te verilmiştir. Çalışma yapılan tüm akarsular için model sonuçları, Yüzgeçler

Yöntemi ve Pitot Tüpü Yöntemi kullanılarak elde edilen debilerle karşılaştırılmış ve Şekil 9.23'te sunulmuştur.

Tablo 9.34 Yüzgeçler ve Pitot Tüpü Yöntemleri yardımıyla elde edilen anlık debi değerlerinin ortalaması

No	Dere adı	Tarih (2019)				Yüzgeç-Ortalama (Q m^3/s)	Pitot Tüpü-Ortalama (Q m^3/s)
1	HD	22-Şubat	18-Mayıs	25-Temmuz	13-Aralık	15.353	14.486
2	SD	22-Şubat	18-Mayıs	25-Temmuz	13-Aralık	0.672	0.586
3	ŞD	21-Şubat	20-Mayıs	24-Temmuz	16-Aralık	9.211	7.254
4	MD	20-Şubat	20-Mayıs	24-Temmuz	12-Aralık	4.758	6.492
5	ZD	19-Şubat	19-Mayıs	24-Temmuz	15-Aralık	1.896	3.173
6	KD	20-Şubat	18-Mayıs	25-Temmuz	12-Aralık	0.779	2.321
7	AD	19-Şubat	19-Mayıs	27-Temmuz	15-Aralık	0.196	0.312
8	RD	19-Şubat	19-Mayıs	27-Temmuz	15-Aralık	1.505	2.986
9	BD	22-Şubat	18-Mayıs	26-Temmuz	14-Aralık	0.620	0.947
10	ÇD	20-Şubat	20-Mayıs	26-Temmuz	13-Aralık	12.654	15.976

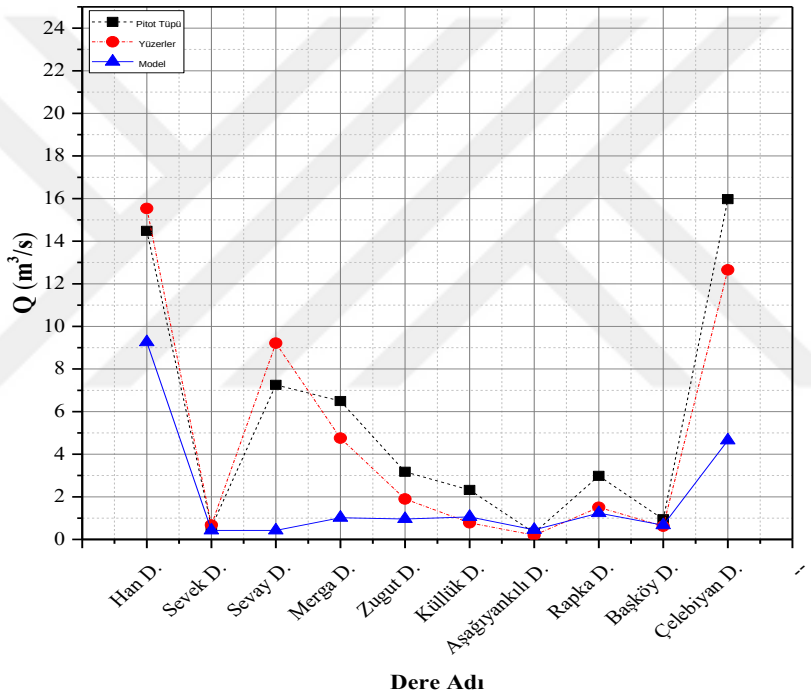
Tablo 9.35 Çelebiyan Deresi ile Başköy Deresine ait akım verileri

Yöntem	BD (m^3/s)	ÇD (m^3/s)	Periyot
Pitot Tüpü Yöntemi	0.946	15.975	2019
Yüzgeçler Yöntemi	0.620	12.654	2019
AGİ Değerleri	0.463	2.595	2005-2011
Model Değerleri	0.555	2.461	2005-2011

Tablo 9.34 ve 9.35 incelendiğinde Pitot Tüpü ile ölçülen debi değerlerinin Yüzgeçler Yöntemine göre ölçülen değerler arasındaki farkın çok az görülmektedir. İki yöntem arasında oluşan bu fark yüzgeçlerin rüzgârdan etkilenmesi, yatakları düzensiz ve küçük akarsularda buz, ot, yüzen cisimler, kaya, kütük vs. engeller nedeniyle hızının azalması ve kullanım şartlarının sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Basınç esasına göre çalışan Pitot Tüpü düşük hızlarda düzgün ölçümler yapmakta zorlanmaktadır [121].

Model sonuçlarından elde edilen değerler yüksek akıma sahip Han Deresi, Şevay Deresi, Merga Deresi ve Çelebiyan Deresi dışındaki tüm derelerde çok iyi sonuçlar

vermiştir. Çelebiyan Deresi'nin yatağını değiştirmesinden dolayı akım gözlem istasyou değerleri hatalı olduğundan modelde elde edilen sonuçlar oldukça farklıdır (Şekil 9.22). Diğer dereler de ise model sonuçlarından elde edilen değerlerin kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir (Şekil 9.23). Fujii vd.'lerinin 2015 yılında Japonya'nın Oita Eyaleti, Beppu şehrindeki altı nehir üzerinde Manning formülü, anlık ölçüm değerleri ve CBS'i kullanarak elde ettikleri su seviyesi, debi ve potansiyel enerji tahmin sonuçlarında; CBS tabanlı debi değerlerinin ölçüm tabanlı debi değerlerine göre bazı derelerde uyumlu bazı derelerde ise yüksek veya düşük olduğunu görmüşlerdir [160].



Şekil 9.23 Anlık debi ölçümleri ile model sonuçlarının karşılaştırılması

9.5 Brüt Hidroenerji Potansiyel Sonuçları ve Değerlendirilmesi

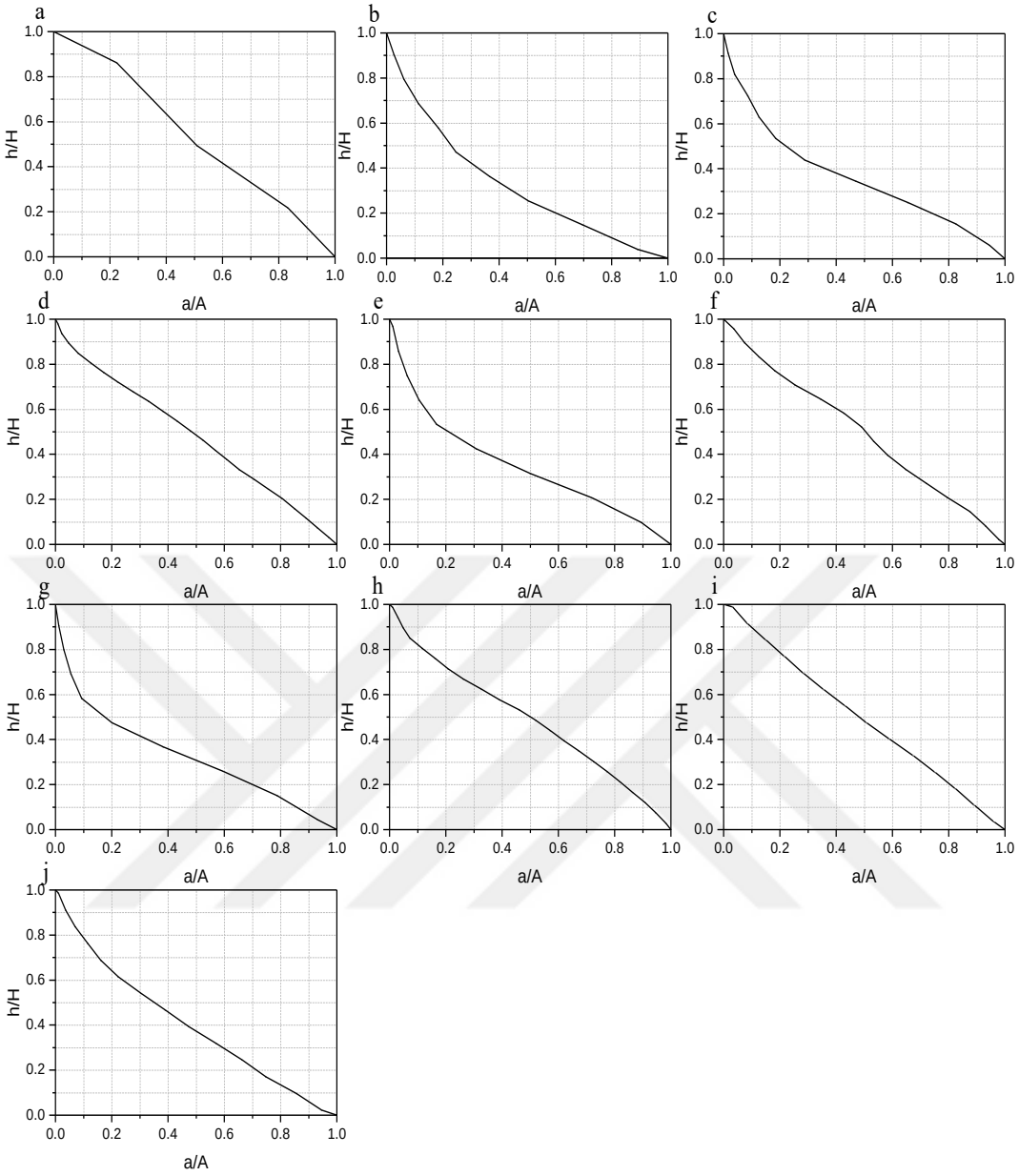
BHP'nin tahmininde kullanılan metodoloji temel olarak iki bölümden oluşur: Birincisi nehir sistemi boyunca debi tahmini, ikincisi ise suyun düşüsüdür. Bu parametreler tahmin edildikten sonra, BHP değeri denklemler kullanılarak hesaplanabilir. Bu işlem tüm alt havzalar için tekrar edildiğinde, her bir havza için

hesaplanan potansiyeller toplandığında toplam potansiyel elde edilir. Bu çalışma kapsamında brüt hidroelektrik potansiyel belirleme yöntemleri olarak HE ve DA Yöntemleri kullanılırken, hidroelektrik fizibilite analizi için ise DSE Yöntemi kullanılmıştır.

9.5.1 HE ve DA Yöntemleri ile BHP Değerlerinin Hesabı

Hipsometrik eğri, apsis boyunca rölatif alan (a/A) ve rölatif yüksekliğe (h/H) göre elde edilir. Rölatif alan, belirli bir konturun üzerinde kalan alanın alt havzanın toplam alanına oranı olarak tanımlanır. Rölatif yükseklik ise, belirli bir konturun yüksekliğinin (h) taban düzleminden maksimum yüksekliğe (H) oranı olarak ifade edilir [161]. CBS kullanılarak on alt havzanın hipsometrik eğrileri elde edilmiştir (Şekil 9.24). Tüm alt havzalara ait Yükseklik-Alan grafikleri ayrıca verilmiştir (Ek B).

HI, sıfırdan bire kadar bir yüzde veya aralık olarak ifade edilir, burada yüksek değer gençlik aşamasını, düşük değer ise yaşlı aşamayı temsil eder[161]. Tablo 9.36 on alt havzanın hipsometrik integral değerlerini göstermektedir.



Şekil 9.24 Alt havzalara ait Hipsografik Eğriler (a. Aşağıyankılı Havzası, b. Başköy Havzası, c. Çelebi Havzası, d. Han Havzası, e. Kulluk Havzası, f. Merga Havzası, g. Rapka Havzası, h. Sevay Havzası, i. Sevek Basin, j. Zugut Basin)

Tablo 9.36 Tüm alt havzalara ait Hipsometrik İntegral (HI) değerleri

No	Dere adı	Alan (km^2)	Max yükseklik (m)	Min yükseklik (m)	Ortalama yükseklik (m)	Hipsometrik integral (HI)	Hipsometrik eğri şekli
1	Han deresi	563.54	2615	658	1450	0.343	Olgun
2	Sevek deresi	17.92	2147	784.5	1309	0.384	Olgun
3	Şevay deresi	72.37	2961	774.5	1803	0.469	Olgun
4	Merga deresi	134.91	2232	633.5	1404	0.480	Olgun
5	Zugut deresi	130.57	1929	580.5	950	0.273	Yaşlı
6	Küllük deresi	154.02	1490	570.5	756	0.201	Yaşlı
7	Aşağıyankılı deresi	39.99	834	562	707	0.531	Olgun
8	Rapka deresi	241.24	1439	513.5	707	0.208	Yaşlı
9	Başköy deresi	150.53	1536	610.5	831	0.238	Yaşlı
10	Çelebiyan deresi	915.93	1545	510.5	755	0.232	Yaşlı

Hidroelektrik potansiyel tahmini, nehir boyunca potansiyel su yükünün hesaplanmasını gerektirir. Her bir alt havza için potansiyel yükseklik hesaplanmalıdır. Akarsu boyunca yüksekliği tahmin etmek için sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. HE Yönteminde, BHP değerleri Yüzgeçler, Pitot Tüpü ve HM debi değerlerine göre hesaplanırken DA Yönteminde ise, BHP değerleri Yüzgeçler, Pitot Tüpü ve HM debi değerlerine göre hesaplanmıştır. Akış gözlem istasyonu olmayan akarsularda giriş debi değerleri olmadığından, çıkış debisinin yarısı giriş debisi olarak göz önüne alınmıştır.

HE ve DA Yöntemi için, BHP değerleri Yüzgeçler debi sonuçlarına (Tablo 9.37), Pitot Tüpü debi sonuçlarına (Tablo 9.38) ve HM debi sonuçlarına (Tablo 9.39) göre ayrı ayrı verilmiştir. BHP değerleri incelendiğinde, HE Yöntemine göre elde edilenlerin DA Yönteminden göre elde edilenlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Her iki Yöntemde ortalama debi kullanılırken, DA Yönteminde yükseklik farkları için akarsuların başlangıç ve bitiş yükseklikleri, HE Yönteminde ise havza ortalama yüksekliği kullanılmaktadır.

Tablo 9.37 HE ve DA Yöntemleri için, Yüzgeçler debi sonuçlarına göre BHP değerleri

Dere adı	P (kW)		E (MWh)	
	HE	DA	HE	DA
Han Deresi	209471.5	149121.7	1834970.6	1306306.8
Sevek Deresi	6219.8	4491	54485.9	39341.3
Şevay Deresi	145253.5	98785.9	1272421.1	865365.1
Merga Deresi	55287.6	37305.7	484320.2	326798.6
Zugut Deresi	15977.1	12540.8	139960.2	109858.1
Küllük Deresi	4222.1	3513.4	36986.4	30777.4
Aşağıyankılı Deresi	400.8	261.4	3511.8	2290.6
Rapka Deresi	8260.4	6832.0	72361.8	59848.8
Başköy Deresi	3485.1	2814.5	30529.4	24655.3
Çelebiyan Deresi	79384.8	64209.2	695410.8	562472.6
Toplam	**527963.3**	**379876.1**	**4624958.6**	**3327715.1**

Tablo 9.38 HE ve DA Yöntemleri için, Pitot Tüpü debi sonuçlarına göre BHP değerleri

Dere adı	P (kW)		E (MWh)	
	HE	DA	HE	DA
Han Deresi	195326.9	139047.5	1711064.3	1218056.5
Sevek Deresi	5423.8	3914.6	47513	34291.9
Şevay Deresi	114392.4	77797.5	1002078.2	681506.7
Merga Deresi	75436.6	50907.3	660825.3	445948.2
Zugut Deresi	26738.2	20989.1	234226.6	183864.7
Küllük Deresi	12579.8	10469.1	110199.7	91710
Aşağıyankılı Deresi	638.1	417.2	5590.2	3655.1
Rapka Deresi	16389.2	13554	143569.7	118733.4
Başköy Deresi	5323.2	4296.7	46631.3	37639.1
Çelebiyan Deresi	100225.3	81064.5	877974.1	710125.1
Toplam	**552474**	**402457.8**	**4839672.8**	**3525530**

Tablo 9.39 HE ve DA Yöntemleri için, HM debi sonuçlarına göre BHP değerleri

Dere adı	P (kW)		E (MWh)	
	HE	DA	HE	DA
Han Deresi	169303.1	120526.1	1483095.6	1055808.7
Sevek Deresi	4924	3555.3	43134.6	31145.2
Şevay Deresi	22660.8	15411.5	198509.3	135004.8
Merga Deresi	24367	16441.8	213455.1	144030.4
Zugut Deresi	11510.1	9035.2	100836.3	79148.8
Küllük Deresi	7999.9	6656.9	70079.6	58315.1
Aşağıyankılı Deresi	1176	767.1	10302.6	6720.1
Rapka Deresi	9627.1	7962.4	84334	69750.7
Başköy Deresi	4182.1	3377.4	36635.3	29586.4
Çelebiyan Deresi	32283.4	26111.9	282802.6	228740.6
Toplam	**288034.8**	**209846**	**2523185.3**	**1838251.2**

Dört farklı debi için hesaplanan BHP değerleri Tablo 9.40'da verilmiştir. Bu sonuçlar referans havzalar için de değerlendirildiğinde benzer şekilde, HE Yöntemi DA Yöntemine göre daha yüksek BHP değerleri vermiştir.

Tablo 9.40 Başköy ve Celebiyan Dereleri için, dört farklı debi değerine göre BHP değerleri

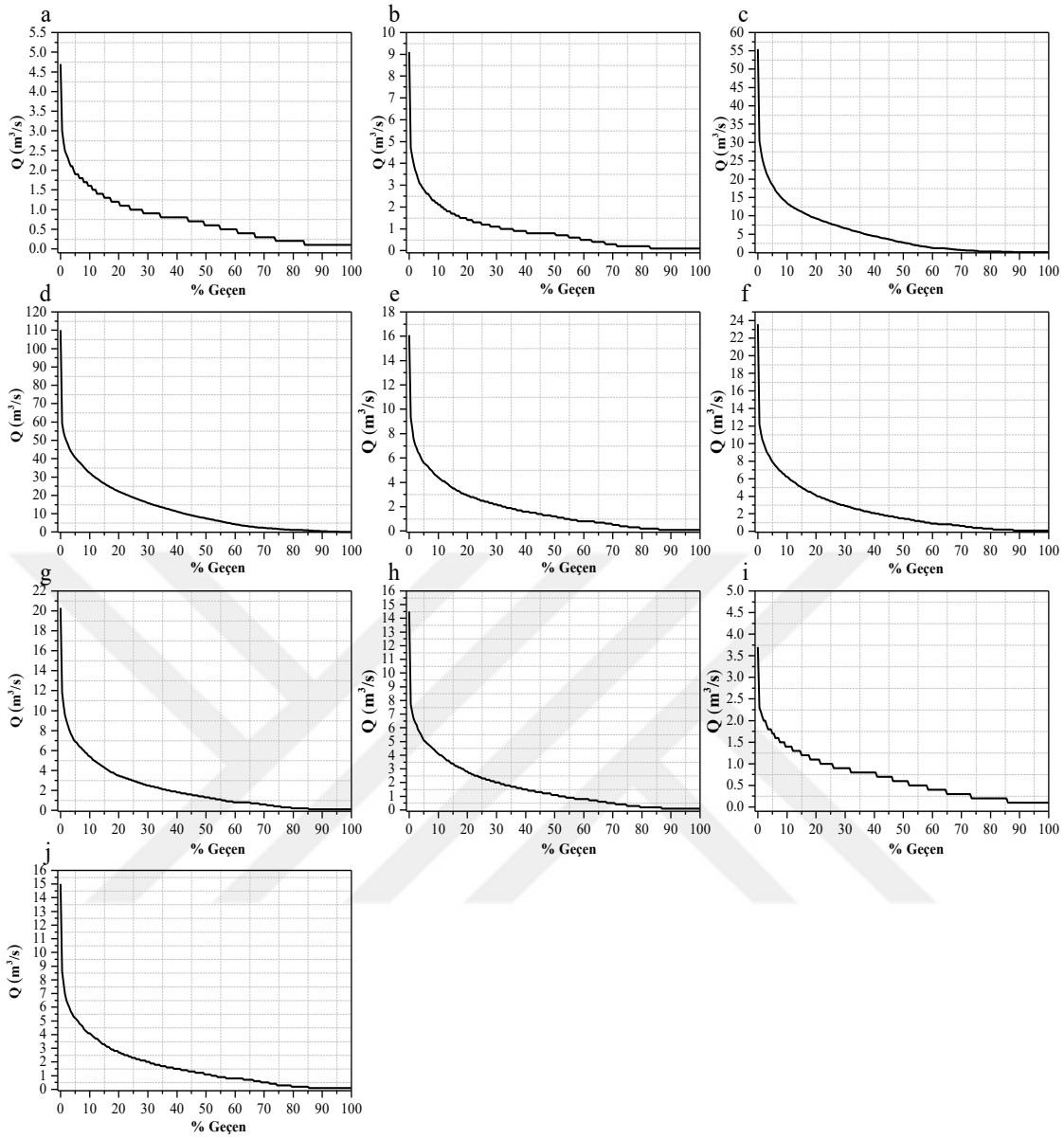
Başköy Deresi					
Yöntem	**Periyot**	**P (kW)**		**E (MWh)**	
		HE	**DA**	**HE**	**DA**
Pitot tüpü	2019	5323.2	4296.7	46631.3	37639.1
Yüzgeçler	2019	3485.1	2814.5	30529.4	24655.3
Model	2005-2011	3760.5	3036.9	32942.2	26603.1
AGİ	2005-2011	3563.7	2878.1	31218.8	25212.1
Çelebiyan Deresi					
Pitot tüpü	2019	100225.3	81064.5	877974.1	710125.1
Yüzgeçler	2019	79384.8	64209.2	695410.8	562472.6
Model	2005-2011	29171.7	23595.1	255544.5	206693.3
AGİ	2005-2011	20388.8	16491.2	178606.4	144463.1

9.5.2 Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi ile BHP Değerlerinin Hesabı

DSE Yöntemine göre hesaplanan tüm akımların enerji miktarı Tablo 9.41'de verilmiştir. DSE Yöntemi uzun yıllar debi verilerini kullandığından, bu yöntemde Yüzgeçler ve Pitot Tüpü akım ölçümleri kullanılamaz. Her bir dereye ait DSE'ler Şekil 9.24'te verilmiştir.

Tablo 9.41 DSE Yöntemi için, HM ve AGİ debi sonuçlarına göre BHP değerleri

Dere adı	**P (kW)**		**E (MWh)**	
	HM	**AGİ**	**HM**	**AGİ**
Han Deresi	6035	-	21834	-
Sevek Deresi	808	-	2923	-
Şevay Deresi	392	-	1545	-
Merga Deresi	1128	-	4081	-
Zugut Deresi	811	-	2934	-
Küllük Deresi	890	-	3220	-
Aşağıyankılı Deresi	413	-	1761	-
Rapka Deresi	989	-	3578	-
Başköy Deresi	468	281	1844	1016
Çelebiyan Deresi	2364	455	7787	1343
Toplam	**14298**	**736**	**51507**	**138.6**



Şekil 9.25 Alt havzalara ait DSE'ler (a. Aşağıyankılı Deresi, b. Başköy Deresi, c. Çelebi Deresi, d. Han Deresi, e. Kulluk Deresi, f. Merga Deresi, g. Rapka Deresi, h. Sevay Deresi, i. Sevek Deresi, j. Zugut Deresi)

9.5.3 BHP Yöntemleri ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma alanındaki akarsu ölçümlerinin sayısı ve debi kayıtları çok sınırlıdır. Bu nedenle, veri toplama için kullanılan araçların yöntemleri ve türleri yukarıda belirtilmiştir. Akarsularda debinin doğru olarak belirlenmesi model kalibrasyonu ve modelin doğrulanması için çok önemlidir. Bu gibi durumlar model

performanslarını da etkilemektedir. Çalışma alanında bulunan kayıtların uzunluğu ve ölçü aletlerinin sayısının yanı sıra, verileri toplama ve işleme yöntemi de dikkate alınması gereken çok ciddi faktörlerdir. Bu nedenle, alternatif olarak bölgesel havza modelini ve referans havza sürecini kullanmak etkili bir yoldur [162], [163]. Çalışmada, debiler kendi içerisinde değerlendirildiğinde, anlık olarak ölçülen debi değerleri HM sonuçlarından daha yüksek çıkmıştır. HM modeli Başköy ve Çelebiyan AGİ verilerine dayanmasından dolayı, model parametrelerinin fiziksel olarak havzayı birebir karşılayamamasından kaynaklanmaktadır.

Benzer hidrolojik koşullar altında farklı drenaj havzaları için hipsometrik eğrinin şeklini karşılaştırmak, havza tarihinde toprak hareketi hakkında rölatif bir fikir verir [164]. Böylece, hipsometrik eğrinin şekli, orijinal havzanın eğimindeki zamansal değişiklikleri açıklar [136]. Hipsometrik eğriler, alt havzaların hidroelektrik potansiyeli açısından birbirinden önemli ölçüde farklı olmadığını göstermiştir. Çünkü on alt havzadan beşi, diseksiyonun olgun jeolojik aşaması kategorisine girmektedir (Tablo 9. 36). Tüm alt havzalar yukarı doğru beş adet içbükey havza ve beş adet S şeklinde havzadan oluşmaktadır (Şekil 9.24). Havza alanındaki HI değerleri (Tablo 9.36) havzaların yaşlı ve olgun olmak üzere iki aşamalı olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, HI değerinin alt havzaların ortalama, minimum ve maksimum yüksekliğinden etkilendiği için HI değerinin alt havzaların alanından bağımsız olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, geniş bir yükselti aralığına sahip küçük alanlara (Sevek, Şevay ve Merga) sahip alt havzalar, dar bir yükselti aralığına sahip alt havzaya göre daha yüksek bir HI değerine sahip olabilmektedirler [165]. Bu nedenle hipsometrik analiz, hidroelektrik potansiyeli olan bölgeler için uygun konumların önerilmesine yardımcı olmaktadır.

HE Yönteminde bir havza için ağırlıklı ortalama yükseklik ve ortalama debi hesaplanmakta ve daha sonra bu debi ve yükseklik değerleri BHP hesabı için kullanılmaktadır. Bu Yöntem, tam üç boyutlu havza yerine iki boyutlu bir genel eğim profili ile çalışarak havzayı önemli ölçüde basitleştirmektedir [166]. HE Yöntemi, basit olması ve değerleri ölçülemeyen havzalar için uygulanabilir olmasına karşın, DA Yöntemi HE Yöntemine göre daha iyi sonuç vermektedir. Bu

nedenle, havza alanındaki morfolojik değişiklikler, HE hesaplanırken dikkate alınmamaktadır. Çıkış noktasındaki akarsuyun maksimum debisi hesaplanırken havzanın ortalama yüksekliği göz önüne alındığından havza alanı fiziksel olarak tam değerlendirilmemiş olmaktadır.

DA Yöntemi, BHP değerlerini iki nokta arasındaki yükseklik farkı ile ortalama debinin bir fonksiyonu olarak hesaplamaktadır. DA Yöntemi iki istasyon arasındaki akım değişiklikleri doğrusal olarak kabul edildiğinden ve alt havzalar olmadan tüm havzayı tek bir bir su havzası olarak kabul ettiğinden HE Yöntemine göre daha kesin sonuçlar vermektedir. Bu varsayım, akış alanı ve akış mesafesi arasındaki gerçek ilişkiyi yansıtmadığı ve daha az görsel kapasiteye sahip olduğu anlamına gelmektedir [5]. Bu nedenle, yükseklik farklılıkları gibi morfolojik parametreleri değerlendirmeye almamaktadır.

Buna karşılık, bu iki yöntem (HE-DA), alt havzalar dikkate alınmadan havza bir bütün olarak göz önüne alındığında üretilebilecek teorik brüt gücün hesaplanmasındaki değerler daha doğru olmaktadır. Alashan ve arkadaşları çalışmalarında (2016) [19], Murat Nehri için gerçek verilerle brüt hidroelektrik enerji miktarının hesaplanmasında HE Yönteminin DA Yöntemine göre daha yüksek sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Hidroelektrik fizibilite analizi için DSE Yöntemi nispeten basit ve hızlı olma avantajına sahip olduğundan günlük akış verilerini kullanarak güç çıkışını hesaplamak için ekonomik olarak kullanılabilir [167]. Ancak bu yöntemde uzun vadeli akış miktarlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, HM ve AGİ akım değerleri hidroelektrik fizibilite analizi için kullanılmıştır (Tablo 9.41). Bu yöntemde proje tasarımında %10 ile %90 aşılma olasılığı dışındaki akımlar kararsız olduğundan değerlendirme dışı kalmaktadır [24]. Nehir tipi KHES'ler için proje debisi olarak %30 ile %90 arasındaki debiler seçilmektedir. Bir tesisten yıl boyunca sabit bir enerji elde edilmek istenildiğinde, işletme debisi olarak akarsuda gözlenmiş akımlardan minumum debi seçilirken, orta ve yüksek debilerden yararlanılamamaktadır. Çok büyük debilerin seçilmesi halinde ise ilk yatırım maliyeti fazla olacağından tesisten temin edilecek enerjinin birim maliyeti

artacaktır. Bundan dolayı enerji birim maliyetini minumum yapacak debi değerinin seçilmesi için optimizasyon çalışmasının yapılması gerekmektedir. Ayrıca proje debisi seçiminde, ekonomik faktörlerin yanında öngörülen santralin baz santral olarak mı yoksa puant santral olarak mı kullanılacağı belirleyici olmaktadır. Türkiye'de puant santral olarak planlanan biriktirmeli santraller yanında doğal akışlı hidroelektrik santrallerin de pik yüke katkı sağlamaları amaçlanabilmektedir. Yukardaki sebeplerden dolayı tüm akarsularda aynı debilerin aşılma olasılığında çalışabilmek için %30 aşılma olasığı olan debi değeri kullanılmıştır. Bu çalışmada hesaplanan miktarlar teknik hidroelektrik potansiyelini tahmin etmek için yeterli olsa da (Tablo 9.41), mevcut potansiyeli tahmin etmek için sistem verimliliğinin ve türbin tipinin bir tahminiyle birlikte DSE'nin sahaya özgü analizi gerekecektir. Sonuçların hidroelektrik kaynağının planlanmasında yalnızca teknik hidroelektrik potansiyelin bir tahmini olarak ve hidroelektrik planlamasının ilk adımı olarak kullanıldığında faydalı olması gerektiğine inanılmaktadır [167].

9.6 KHES Projeleri için Maliyet Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

SMART Mini Idro Tool yazılımı, hidroloji verilerinin girilmesi ile DSE oluşturarak tasarım debisini belirlemektedir. Tasarım debisi hem enerji hem de güç kapasitesini ve KHES projesinin maliyetini belirlediğinden temel parametre olarak kabul edilir. Tasarım debisi azaldığında, hem güç kapasitesi hem de proje maliyet değeri azalır. Çalışma alanımız için debiler (Q_{30}) sabit olarak kabul edilmiş olup bölgedeki arazi topografyası göz önüne alındığında her dere için havza eğimleri farklılık gösterdiğinden tüm akarsular için aynı düşü yüksekliklerinde çalışabilmek amacıyla bir düşü yükseklik aralığı seçilmiştir. Havza eğimi düşük olan havzalarda düşü yüksekliği az olmakta eğimi yüksek olan havzalarda düşü yüksekliği fazla olmaktadır. Tüm akarsularda aynı düşü yükseklik aralıklarında çalışabilmek amacıyla düşü yükseklikleri 15-100 m aralığında seçilmiştir. Çalışma alanında diğer önemli parametre ise, tasarım debisi ile ilişkili olan türbin tipinin seçimidir. Seçilen türbinin spesifik karakteristiklerini bilirlemek için türbin üreticisinin

çizelgelerini, grafiklerini ve karakteristiklerini elde etmek gerekir. KHES projelerinde Kaplan türbinlerinin kullanımı daha uygun görülmektedir. Çünkü verilen enerjideki artış, fayda-maliyet oranındaki düşüşten daha fazladır.

Program düşü için girelen değeri kullanarak cebri boru çapını hesapladığından cebri boru çapının değiştrilmesi mümkün olmamaktadır. Tasarım parametreleri olarak tüm senaryolar için cebri boru uzunlukları ve pürüzlülük katsayıları sabit olarak göz önüne alınmıştır. Yazılım seçilen bu değerlere göre cebri boru çapını belirlemektedir. Cebri boru tasarım parameterleri Tablo 9.42'de verilmiştir.

Tablo 9.42 Tüm dereler için cebri boru tasarım parametreleri

No	Dere Adı	Cebri boru uzunluğu (m)	Strickler pürüzlülük katsatısı ($m^{1/2}/s$)	Cebri borunun çapı (m)
1	Han Deresi	150	80	1.950
2	Sevek Deresi	150	80	0.5
3	Şevay Deresi	150	80	0.7
4	Merga Deresi	150	80	0.85
5	Zugut Deresi	150	80	0.7
6	Küllük Deresi	150	80	0.75
7	Aşağıyankılı Deresi	150	80	0.5
8	Rapka Deresi	150	80	0.8
9	Başköy Deresi	150	80	0.5
10	Çelebiyan Deresi	150	80	1.25

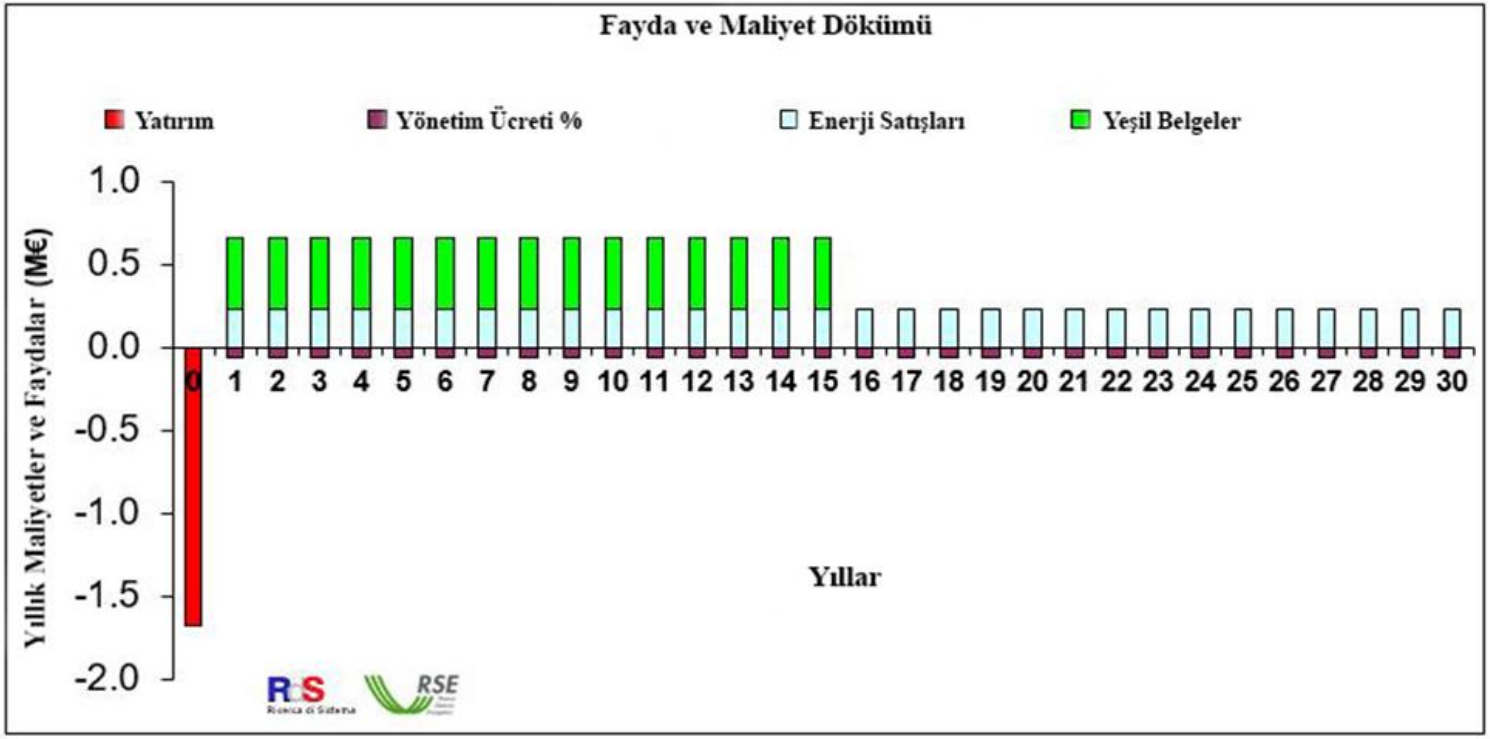
Başköy ve Çelebiyan Derelerinin dışında kalan sekiz adet dereye ait maliyet tabloları, fayda-maliyet dökümleri ve birikimli net akış grafikleri elde edilmiştir(Ek C). Tüm derelere ait brüt 100 m'deki maksimum toplam fayda-maliyet oranları ve KHES'lere ait kapasite faktörü değerleri Tablo 9.45'te verilmiştir. Yapılan senaryolarda debi ve düşü miktarlarının üretilen güç üzerinde ciddi bir etkisinin olduğu görülmektedir. Düşü değerlerinin artmasıyla fayda-maliyet oranları değişiklik göstermektedir. Fayda-maliyet değeri 1'in üstüne çıktığında yapılacak

yatırım anlamlı hale gelirken fayda-maliyet değeri 1'in altına düştüğü zaman KHES değerlendirme dışı kalmaktadır.

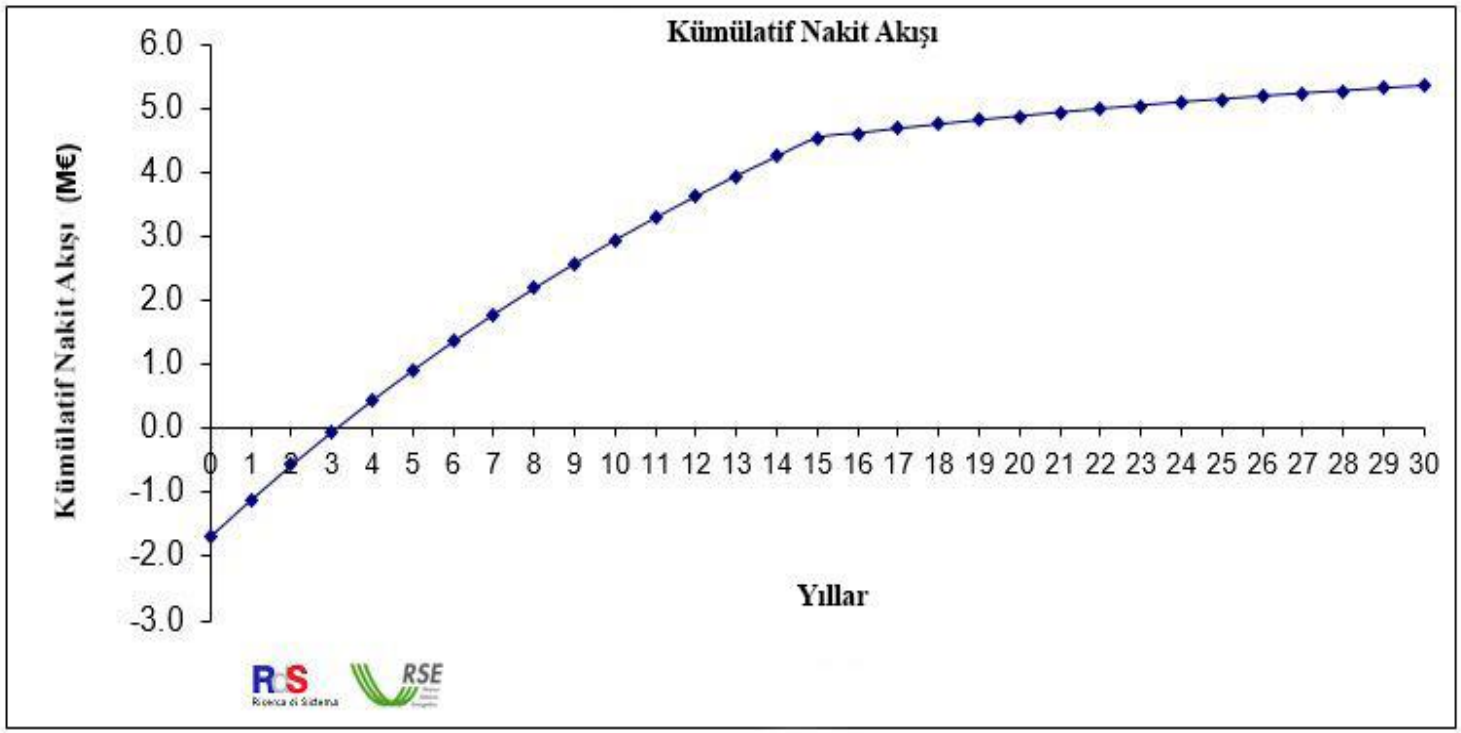
Başköy Deresine ait maliyet tablosunda (Tablo 9.43) fayda maliyet oranına bakıldığında 30 m'lik düşüye karşılık 1.01 değeri elde edilmiştir. 30 m ve üzerindeki düşü yükseklikleri için fayda maliyet oranları 1'den büyük değerler ede edildiğinden Başköy Deresinde yapılacak KHES'ler için 30 m ve üzerindeki düşüler uygundur. 30 m'nin aldında düşü yüksekliğine sahip KHES'ler fizibil olmamaktadır. Ayrıca bu dereye ait fayda maliyet grafiği (Şekil 9.26) ve kümülatif nakit akış grafiği (Şekil 9.27) birlikte incelendiğinde bu dere üzerine yapılacak KHES'lerin 3 yıl içinde kedisini finanse edeceği ve 3 yıldan sonra kar sağlayacığı görülmektedir.

Tablo 9.43 Başköy Deresi'ne ait KHES için maliyet tablosu

Alternatif no	Brüt düşü (m)	Net düşü (m)	Max kW	MWh	Operasyon gün sayısı	Yatırım maliyeti (€)	Yıllık maliyet (€)	Toplam maliyet (€)	Geri ödeme periyodu (Yıl)	Fayda-maliyet oranı
1	15	5.08	44	229	219	1,155,288	35,159	1,190,447	-330.84	0.34
2	20	10.0.8	88	402	219	1,185,999	36,574	1,222,573	62.10	0.57
3	25	15.08	131	575	219	1,216,718	37,989	1,254,707	29.19	0.80
4	30	20.08	175	749	219	1,247,444	39,404	1,286,848	19.41	1.01
5	35	25.08	219	922	219	1,278,178	40,819	1,318,997	14,71	1.21
6	40	30.08	262	1095	219	1,308,919	42,234	1,351,153	11.96	1.40
7	45	35.08	306	1269	219	1,339,667	43,650	1,383,317	10.15	1.58
8	50	40.08	349	1442	219	1,370,423	45,065	1,415,488	8.86	1.75
9	55	45.08	393	1615	219	1,401,186	46.482	1,401,232	7.91	1.91
10	60	50.08	437	1788	219	1,431,957	47,898	1,479,855	7.17	2.06
11	80	70.08	611	2482	219	1,555,113	53,565	1,608,678	5.36	2.61
12	100	90.08	785	3175	219	1,678,387	59,236	1,737,623	4.41	3.06



Şekil 9.26 Başköy Deresi KHES'ine ait fayda ve maliyet döküm grafiği

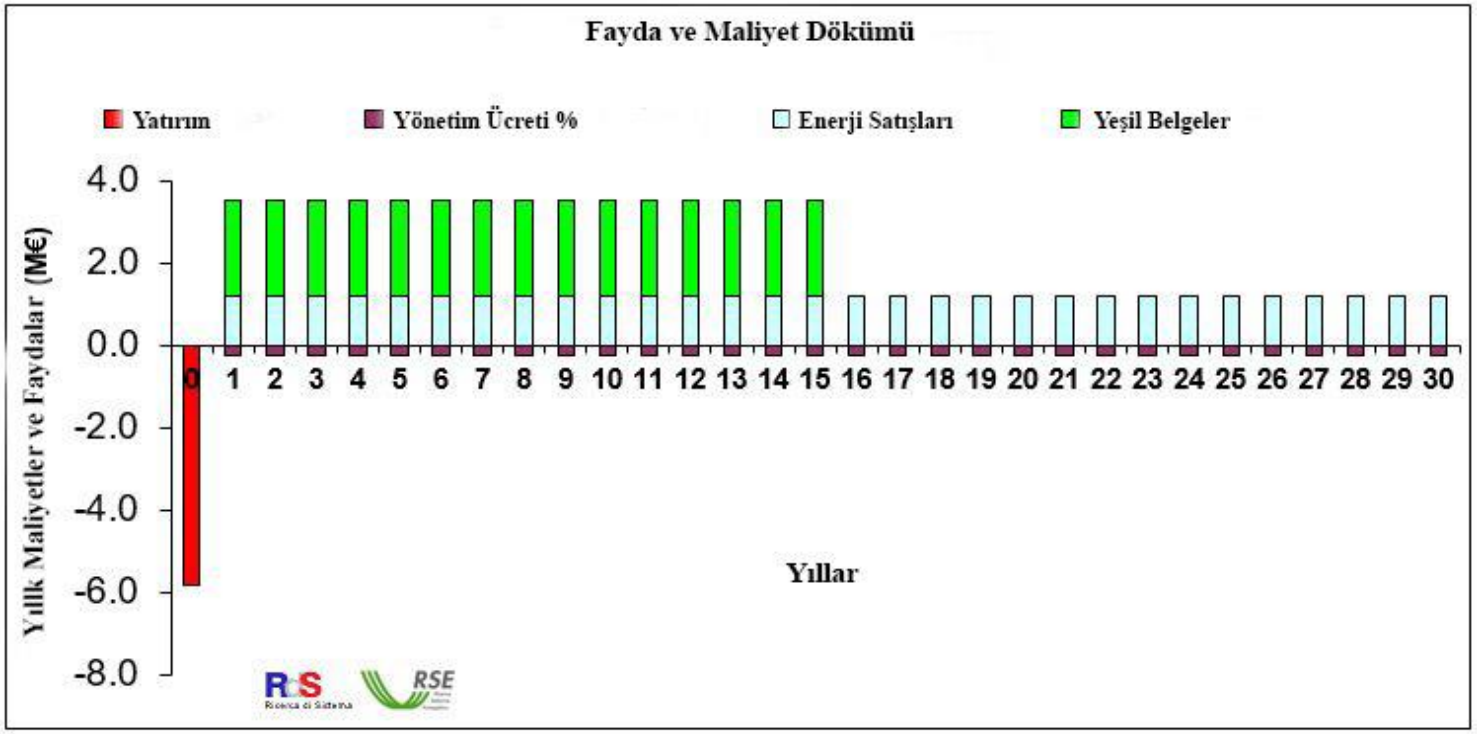


Şekil 9.27 Başköy Deresi KHES'ine ait kümülatif nakit akış grafiği

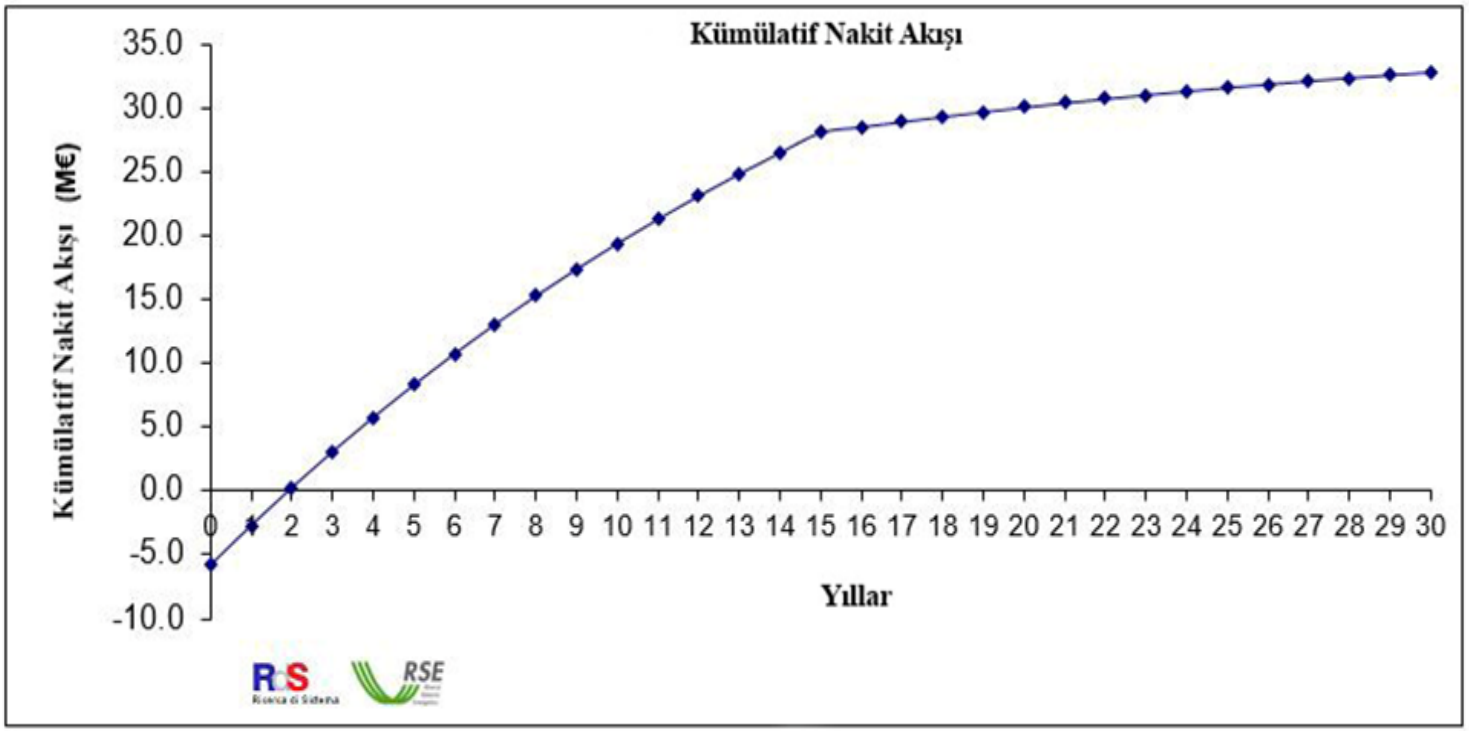
Çelebiyan Deresine ait maliyet tablosunda (Tablo 9.44) fayda maliyet oranına bakıldığında 15 m'lik düşüye karşılık 1.34 değeri elde edilmiştir. 15 m ve üzerindeki düşü yükseklikleri için fayda maliyet oranları 1'den büyük değerler ede edildiğinden Çelebiyan Deresinde yapılacak KHES'ler için 15 m ve üzerindeki düşüler uygundur. 15 m'nin aldındaki düşü yükseklikleri için hesap yapılmamıştır. Ayrıca bu dereye ait fayda maliyet grafiği (Şekil 9.28) ve kümülatif nakit akış grafiği (Şekil 9.29) birlikte incelendiğinde bu dere üzerine yapılacak KHES'lerin 2 yıl içinde kedisini finanse edeceği ve 2 yıldan sonra kar sağlayacığı görülmektedir.

Tablo 9.44 Çelebiyan Deresi'ne ait KHES için maliyet tablosu

Alternatif no	Brüt düşü (m)	Net düşü (m)	Max kW	MWh	Operasyon gün sayısı	Yatırım maliyeti (€)	Yıllık maliyet (€)	Toplam maliyet (€)	Geri ödeme periyodu (Yıl)	Fayda-maliyet oranı
1	15	11.84	624	2121	183	2,637,516	86,181	2,723,697	12,70	1.34
2	20	16.84	887	2991	183	2,823,746	94,747	2,918,493	8.84	1.75
3	25	21.84	1150	3860	183	3,010,245	103,321	3,113,566	6.98	2.10
4	30	26.84	1414	4729	183	3,197,015	111,904	3,308,919	5.89	2.40
5	35	31.84	1677	5598	183	3,384,053	120,494	3,504,547	5.17	2.67
6	40	36.84	1940	6467	183	3,571,362	129,092	3,700,454	4.66	2.91
7	45	41.84	2204	7336	183	3,758,939	137,699	3,896,638	4.28	3.12
8	50	46.84	2467	8205	183	3,946,787	146,313	4,093,100	3.99	3.31
9	55	51.84	2730	9074	183	4,134,904	154,936	4,289,840	3.75	3.48
10	60	56.84	2994	9943	183	4,323,291	163,566	4,486,857	3.56	3.63
11	80	76.84	4047	13420	183	5,079,534	198,170	5,277,704	3.06	4.13
12	100	96.84	5100	16896	183	5,840,090	232,903	6,072,993	2.77	4.48



Şekil 9.28 Çelebiyan Deresi KHES'ine ait fayda ve maliyet döküm grafiği



Şekil 9.29 Çelebiyan Deresi KHES'ine ait kümülatif nakit akış grafiği

Tablo 9.45 Tüm dereler için maliyet analiz tablosu

Dere adı	Brüt düşü (m)	Net düşü (m)	Max kW	MWh	Operasyon gün sayısı	Yatırım maliyeti (€)	Yıllık maliyet (€)	Toplam maliyet (€)	Geri ödeme periyodu (Yıl)	Fayda-maliyet oranı	Kapasite faktörü (%)
Han Deresi	100	98	6035	21834	201	12,547,746	518,090	13,065,836	2,28	5.29	0.41
Sevek Deresi	100	92.99	808	2923	219	1,572,763	54,891	1,627,654	4.79	3.65	0.41
Şevay Deresi	100	94.26	392	1545	201	2,390,149	88,733	2,478,882	3.56	2.70	0.44
Merga Deresi	100	95.63	1128	4081	201	3,074,985	117,190	3,192,175	3.18	4.01	0.41
Zugut Deresi	100	94.28	811	2934	201	2,388,434	88,662	2,477,096	3,56	3.65	0.41
Küllük Deresi	100	95.13	890	3220	201	2,556,046	95,612	2,651,658	3.42	3.78	0.41
Aşağıyankılı Deresi	100	93.13	413	1761	237	1,567,056	54,655	1,621,711	4.55	2.99	0.48
Rapka Deresi	100	95.57	989	3578	201	2,775,599	104,729	2,880,328	3.32	3.87	0.41
Başköy Deresi	100	90.08	468	1844	219	1,678,387	59,236	1,737,623	4.41	3.06	0.44
Çelebiyan Deresi	100	96.84	2364	7787	183	5,840,090	232,903	6,072,993	2.77	4.48	0.37

Tüm dereler için maliyet analiz tablosu (Tablo 9.45) incelendiğinde kapasite faktörlerinin bütün dereler için birbirlerine yakın olduğu ve değerlerin %0.37 ile %0.48 arasında değiştiği görülmektedir. Türkiye ortalaması olarak verilen %0.42'lik kapasite faktörü dikkate alındığında çalışma yapılan tüm dereler için kapasite faktörlerinin uyumlu olduğu ve bu dereler üzerine yapılacak KHES'lerin uygun olabileceği görülmüştür.

Han Deresine ait maliyet tablosunda (Tablo C.1) fayda maliyet oranına bakıldığında 15 m'lik düşüye karşılık 2.09 değeri elde edilmiştir. 15 m ve üzerindeki düşü yükseklikleri için fayda maliyet oranları 1'den büyük değerler elde edildiğinden Han Deresinde yapılacak KHES'ler için 15 m ve üzerindeki düşüler uygundur. 15 m'nin aldındaki düşü yükseklikleri için hesap yapılmamıştır. Ayrıca bu dereye ait fayda maliyet grafiği (Şekil C.1) ve kümülatif nakit akış grafiği (Şekil C.2) birlikte incelendiğinde bu dere üzerine yapılacak KHES'lerin ortalma 2 yıl içinde kedisini finanse edeceği ve 2 yıldan sonra kar sağlayacığı görülmektedir.

Sevek Deresine ait maliyet tablosunda (Tablo C.2) fayda maliyet oranına bakıldığında 35 m'lik düşüye karşılık 1.16 değeri elde edilmiştir. 35 m ve üzerindeki düşü yükseklikleri için fayda maliyet oranları 1'den büyük değerler ede edildiğinden Sevak Deresinde yapılacak KHES'ler için 35 m ve üzerindeki düşüler uygundur. 35 m'nin aldındaki düşü yüksekliğine sahip KHES'ler fizibil olmamaktadır. Ayrıca bu dereye ait fayda maliyet grafiği (Şekil C.3) ve kümülatif nakit akış grafiği (Şekil C.4) birlikte incelendiğinde bu dere üzerine yapılacak KHES'lerin ortalama 5 yıl içinde kedisini finanse edeceği ve 5 yıldan sonra kar sağlayacığı görülmektedir.

Şevay Deresine ait maliyet tablosunda (Tablo C.3) fayda maliyet oranına bakıldığında 25 m'lik düşüye karşılık 1.26 değeri elde edilmiştir. 25 m ve üzerindeki düşü yükseklikleri için fayda maliyet oranları 1'den büyük değerler ede edildiğinden Şevay Deresinde yapılacak KHES'ler için 25 m ve üzerindeki düşüler uygundur. 25 m'nin aldındaki düşü yüksekliğine sahip KHES'ler fizibil olmamaktadır. Ayrıca bu dereye ait fayda maliyet grafiği (Şekil C.5) ve kümülatif

nakit akış grafiği (Şekil C.6) birlikte incelendiğinde bu dere üzerine yapılacak KHES'lerin ortalama 3 yıl içinde kedisini finanse edeceği ve 3 yıldan sonra kar sağlayacığı görülmektedir.

Merga Deresine ait maliyet tablosunda (Tablo C.4) fayda maliyet oranına bakıldığında 20 m'lik düşüye karşılık 1.26 değeri elde edilmiştir. 20 m ve üzerindeki düşü yükseklikleri için fayda maliyet oranları 1'den büyük değerler ede edildiğinden Merga Deresinde yapılacak KHES'ler için 20 m ve üzerindeki düşüler uygundur. 20 m'nin aldındaki düşü yüksekliğine sahip KHES'ler fizibil olmamaktadır. Ayrıca bu dereye ait fayda maliyet grafiği (Şekil C.6) ve kümülatif nakit akış grafiği (Şekil C.7) birlikte incelendiğinde bu dere üzerine yapılacak KHES'lerin ortalama 3 yıl içinde kedisini finanse edeceği ve 3 yıldan sonra kar sağlayacığı görülmektedir.

Zugut Deresine ait maliyet tablosunda (Tablo C.5) fayda maliyet oranına bakıldığında 25 m'lik düşüye karşılık 1.26 değeri elde edilmiştir. 25 m ve üzerindeki düşü yükseklikleri için fayda maliyet oranları 1'den büyük değerler ede edildiğinden Zugut Deresinde yapılacak KHES'ler için 25 m ve üzerindeki düşüler uygundur. 25 m'nin aldındaki düşü yüksekliğine sahip KHES'ler fizibil olmamaktadır. Ayrıca bu dereye ait fayda maliyet grafiği (Şekil C.9) ve kümülatif nakit akış grafiği (Şekil C.10) birlikte incelendiğinde bu dere üzerine yapılacak KHES'lerin ortalama 3 yıl içinde kedisini finanse edeceği ve 3 yıldan sonra kar sağlayacığı görülmektedir.

Küllük Deresine ait maliyet tablosunda (Tablo C.6) fayda maliyet oranına bakıldığında 20 m'lik düşüye karşılık 1.08 değeri elde edilmiştir. 20 m ve üzerindeki düşü yükseklikleri için fayda maliyet oranları 1'den büyük değerler ede edildiğinden Küllük Deresinde yapılacak KHES'ler için 20 m ve üzerindeki düşüler uygundur. 20 m'nin aldındaki düşü yüksekliğine sahip KHES'ler fizibil olmamaktadır. Ayrıca bu dereye ait fayda maliyet grafiği (Şekil C.11) ve kümülatif nakit akış grafiği (Şekil C.12) birlikte incelendiğinde bu dere üzerine yapılacak KHES'lerin ortalama 3 yıl içinde kedisini finanse edeceği ve 3 yıldan sonra kar sağlayacığı görülmektedir.

Aşağıyankılı Deresine ait maliyet tablosunda (Tablo C.7) fayda maliyet oranına bakıldığında 30 m'lik düşüye karşılık 1.03 değeri elde edilmiştir. 30 m ve üzerindeki düşü yükseklikleri için fayda maliyet oranları 1'den büyük değerler ede edildiğinden Aşağıyankılı Deresinde yapılacak KHES'ler için 30 m ve üzerindeki düşüler uygundur. 30 m'nin aldındaki düşü yüksekliğine sahip KHES'ler fizibil olmamaktadır. Ayrıca bu dereye ait fayda maliyet grafiği (Şekil C.13) ve kümülatif nakit akış grafiği (Şekil C.14) birlikte incelendiğinde bu dere üzerine yapılacak KHES'lerin ortalama 4 yıl içinde kedisini finanse edeceği ve 4 yıldan sonra kar sağlayacığı görülmektedir.

Rapka Deresine ait maliyet tablosunda (Tablo C.8) fayda maliyet oranına bakıldığında 20 m'lik düşüye karşılık 1.03 değeri elde edilmiştir. 20 m ve üzerindeki düşü yükseklikleri için fayda maliyet oranları 1'den büyük değerler ede edildiğinden Rapka Deresinde yapılacak KHES'ler için 20 m ve üzerindeki düşüler uygundur. 20 m'nin aldındaki düşü yüksekliğine sahip KHES'ler fizibil olmamaktadır. Ayrıca bu dereye ait fayda maliyet grafiği (Şekil C.15) ve kümülatif nakit akış grafiği (Şekil C.16) birlikte incelendiğinde bu dere üzerine yapılacak KHES'lerin ortalama 3 yıl içinde kedisini finanse edeceği ve 3 yıldan sonra kar sağlayacığı görülmektedir.

10
SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiyede şu anda küçük ölçekli hidroelektrik enerjinin ekonomik olarak geliştirilebileceği faydalı bir enerji kaynağı olduğu düşünülmektedir. Bu tez çalışması, çalışma alanında KHES'in mevcut potansiyelini belirlemek ve uygulanabilecek potansiyel güç üretimini tahmin etmek için basitleştirilmiş bir yöntem önermeyi amaçlamıştır. Bu çalışma, bir akarsu havzasının hidroelektrik potansiyelinin, bir CBS çerçevesi içinde bir dijital yükseklik modeli, akarsu ağı verileri ve HEC modeli gibi bir hidrolojik model kullanılarak doğru bir şekilde değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Beşiri, Kozluk ve Sason yağış istasyonlarındaki eksik yağış verileri hidrolojik modelde kullanılmak üzere YSA yöntemiyle tamamlanmıştır. Gözlenen kesintisiz değerler (1985-1989 ve 2014-2017) ile model sonucunda elde edilen değerler dikkate alınarak tüm periyot (1985-2017) için kolerasyon katsayısı karşılaştırıldığında, Batman-Beşiri istasyonları arasında 0.018, Batman-Kozluk istasyonları arasında 0.051 ve Batman-Sason istasyonları arasında ise 0.016'lık oldukça küçük farklar elde edilmiştir. Bu da bize Batman ile diğer istasyonlar arasında uygulanan modelin başarı oranın oldukça yüksek olduğunu göstermiştir.

Başköy ve Çelebiyan Derelerine ait parametreler vasıtasıyla AGİ istasyonu bulunmayan sekiz adet akarsuya ait debi değerleri Hidrolojik Model kurularak, Havza Modelleme Sistemi arayüzü ile yağış-akış ilşikisini simule eden HMM-HMS programı birlikte kullanılarak elde edilmiştir. Hidrolojik modelin kalibrasyonundan (Basköy NSE=%84, BHH=-%24; Celebiyan NSE=%72, BHH=%9.7) ve doğrulama periyotlarından (Basköy NSE=%83, BHH=-%14; Celebiyan NSE=%71, BHH=%0.65), modelden elde edilen debi değerlerinin ölçülmüş debi değerlerine oldukça yakın olduğu ve modelin iyi tahmin edilebildiğini göstermiştir.

Daha sonra modelin kalibrasyon değerleri ölçümü olmayan alt havzalara aktarılarak yağış-akış ilişkileri simüle edilmiştir. Simule edilen hidrograflar mükemmel olmasa da, elde edilen akım değerleri özellikle potansiyeli bulunan küçük havzalar için değerlendirme fırsatı sunmuştur.

Debi değerleri bulunmayan akarsularda, hız ölçme esasına dayanan Yüzgeçler Yöntemi ve Pitot Tüpü Yöntemi kullanılarak üçer aylık periyotları temsil edecek şekilde ölçümler yapılarak anlık debi değerleri hesaplanmıştır.

Hidrolojik modelden elde edilen debiler ile ölçüm yapılarak bulunan debi değerleri karşılaştırılmış ve yüksek akışlı Han Deresi, Şevay Deresi, Merga Deresi ve Çelebiyan Deresi dışındaki tüm derelerde sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Yüksek akışlı Han Deresi, Şevay Deresi, Merga Deresi ve Çelebiyan Deresinde debiler arasındaki sapmalar modelde referans havza olarak alınan Çelebiyan Deresi'nin yatağını değiştirmesinden dolayı akım gözlem istasyonunun ölçüm yapmamasıdır.

Her alt havza için Hipsometrik Eğriler CBS yardımıyla elde edilmiş olup bu havzaların yukarı doğru beşi içbükey (yaşlı) havza ve beşi de S (olgun) şeklinde havzadan oluştuğu belirlenmiş ve bu da alt havzaların hidroelektrik potansiyeli açısından birbirinden önemli ölçüde farklı olmadığını göstermiştir.

Elde edilen enerji miktarları karşılaştırıldığında HE yöntemi, basitliği ve ölçüm değerleri olmayan havzalarda uygulanabilmesine karşın, havza alanının morfolojik değişikliklerini göz önüne almadığından DA yöntemine oranla daha ortalama sonuçlar vermektedir.

DSE yöntemi ile hesaplanan enerji değerleri teknik hidroelektrik potansiyelini tahmin etmek için yeterli olsa da, mevcut potansiyeli tahmin etmek için sistem verimliliği, türbin tipi seçimi ve çalışma alanı için DSE'nin sahaya özgü analizi (debiler önemli ölçüde azaldığından/dereler tamamen kuruduğundan) gerekmektedir.

SMART Mini Idro Tool yazılımı yardımıyla çalışma alanı için yaklaşık bir maliyet analizi yapılmıştır. Yazılımda, tasarım parametreleri olarak, santral debisi Q_{30},

türbin tipi Kaplan tübini, cebri borunun uzunlukları, pürüzlülük katsayıları sabit olarak göz önüne alınmış ve düşü yükseklikleri 15 ila 100 m arasında farklı yükseklikler için fayda maliyet oranlarına ait tablo ve grafikler elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen fayda maliyet oranları tablo ve grafiklerinden göz önüne alınan havzalarda KHES'lerin uygunluğu araştırılmış ve havza özelliklerine göre düşü yüksekliği 15 ila 35 m değerinden daha yüksek düşülerde fizibil olduğu belirlenmiştir. Göz önüne alınan havzalardaki akarsular üzerinde planlanacak KHES'lerin düşüm yüksekliklerine ve fayda-maliyet oranlarına göre en kısa 2 ila 5 yıl aralığında en uzun ise 7 ila 19 yıl arasında kendisini finanse edeceği belirlenmiştir. Çalışma alanındaki tüm dereler üzerinde planlanan KHES'lerin kapasite faktörlerinin Türkiye ortalamasına yakın olduğu tespit edilmiştir.

Öneriler

Bu çalışma KHES projeleri için fayda maliyet oranını belirlemek için yapılmıştır. Her nekadar fayda-maliyet oranlarına göre KHES'lerin yapımına karar verilse de, bu tesislerin hidrolik olarak yapılabilirliği de araştırılmalıdır.

YSA modeli sadece yağış parametresiyle oldukça iyi performans göstermelerinden dolayı ölçümün yapılamadığı, ölçüm sisteminin arızalı olduğu veya yağış verilerinin eksik olduğu durumlarda yağış tahminlerinde kullanılabir.

Birçok ölçümü olmayan alt havzalarda akışı tahmin etmek için HMM-HMS programı gibi yağış-akış modelleri kullanılabilir. Bu da potansiyeli bulunmayan küçük alt havzalar için araştırmalarda oldukça zor ve maliyeti yüksek iş yükünden kurtarır.

Gelecekte yapılacak yağış-akış modellemeleri, her zaman saha tabanlı ölçümlerden elde edilebilen veriler ile desteklenmelidir.

Bu çalışma yöntemleri farklı doğal ve sosyal koşullara sahip farklı bölgeler için de uygulayarak, bu bölgelere ait KHES tesisleri için umut verici yerler belirlenebilir.

KAYNAKÇA

[1] G. Andiç, “Akım ölçümleri yetersiz havzalarda aylık akımların ve hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.

[2] Eurelectric, “Study on the importance of harnessing the hydropower resources of the world, Union of the Electric Industry (Eurelectric)”, 1997.

[3] Ü. Ö. T. Baran, Y. Dalkılıç, Y. Özdemir, “Türkiye’nin su kuvvet potansiyelini belirlenmesindeki aşamalar ve gelişmeler”, içinde *10. Dünya Enerji Kongresi*, 2006, ss. 10–20.

[4] (E.C.E.) U.N., “The first ten years 1947 - 1957 (extension of the general study to Turkey, Economic Commission for Europe)”, Geneve, United Nations, 1957.

[5] S. Alashan, “Nehir hidroelektrik enerji potansiyelinin hesaplanmasinda yeni bir yaklaşım (enerji ağaci yöntemi) ve Murat nehri örneği”, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2016.

[6] Ü. Öziş, “Die hydroenergie in der entwicklung der Turkei”, Technische Hochsule München, München, Germany, 1961.

[7] V. Öziş, Ü. Kargı, Y. Akıncı, “1963 Hidroelektrik yıllığı”, Ankara, Türkiye, 1965.

[8] Ü. Öziş, “Türkiye’nin hidroelektrik potansiyeli”, içinde *İnsaat Mühendisligi III. Teknik Kongresi*, 1966, s. 13.

[9] O. Cöntürk, H., Bayar, “Türkiye’nin brüt hidroelektrik potansiyeli”, Ankara, Türkiye, 1969.

[10] Ü. Öziş, “Akışlılık katsayıları vasıtasıyla ortalama ve düşük akımların tayini, güvenilir su kuvveti potansiyelinin hesaplanması”, İzmir, Türkiye, 1971.

[11] H. Erke, “Türkiye’nin hidroelektrik enerji potansiyeli”, içinde *Türkiye 3. Genel Enerji Kongresi*, 1978, ss. 292–375.

[12] T. Öziş, Ü., Tatlıoğlu, E., Baran, “Türkiye’nin brüt su kuvveti potansiyelinin 1967-1980 süresindeki akışlılık degisimine göre gözden geçirilmesi”, İzmir, Türkiye, 1985.

[13] Ü. Ö. T. Baran, İ. Durnabaş, “Türkiye’nin su kuvveti potansiyeli”, içinde *IX. Teknik Kongre*, 1987, ss. 49–63.

[14] DSİ, “DSİ teknik bülteni 50. yıl özel sayısı”, Ankara, Türkiye, 2005.

[15] M. Balat, “Current hydropower potential in Turkey and sustainability of hydropower for Turkey ’ s energy demand”, *Energy Explor. Exploit.*, c. 23, sayı 1, ss. 1–18, 2005.

[16] A. Demirbaş, “Sustainable developments of hydropower energy in Turkey”,

Energy Sources, c. 24, sayı 1, ss. 27–40, 2002, doi: 10.1080/00908310252712280.

[17] S. Alashan, Z. F. Toprak, ve Z. Şen, "Nehir enerji kapasitesinin 'enerji ağacı yöntemi' ile belirlenmesi", içinde *III Türkiye İklim Değişikliği Kongresi*, 2013, ss. 323–334.

[18] S. Alashan, Z. F. Toprak, ve Z. Şen, "Advances of energy tree method in calculation of gross hydro-power potential", içinde *Icocee – Cappadocia*, 2015, sayı May 2017, ss. 1–7.

[19] S. Alashan, Z. Şen, ve Z. F. Toprak, "Hydroelectric energy potential of Turkey: a refined calculation method", *Arab. J. Sci. Eng.*, c. 41, sayı 4, ss. 1511–1520, 2016, doi: 10.1007/s13369-015-1982-5.

[20] F. Heitz, L., "Hydrologic evaluation methods for hydropower studies", University of Idaho Graduate School, 1981.

[21] R. G. Quimpo, A. A. Alejandrino, ve T. A. McNally, "Regionalized flow duration for Philippines", *J. Water Resour. Plan. Manag.*, c. 109, sayı 4, ss. 320–330, 1983, doi: 10.1061/(asce)0733-9496(1983)109:4(320).

[22] H. K. Cığızoğlu, "Debi süreklilik çizgisinin matematik modelleri", İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1997.

[23] P. S. Yu ve T. C. Yang, "Using synthetic flow duration curves for rainfall-runoff model calibration at ungauged sites", *Hydrol. Process.*, c. 14, sayı 1, ss. 117–133, 2000, doi: 10.1002/(SICI)1099-1085(200001)14:1<117::AID-HYP914>3.0.CO;2-Q.

[24] B. Yanık, "Doğal akışlı hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde bölgesel analiz yaklaşımı", İstabul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2004.

[25] J. C. Perry, C. A. Wolock, D. M. Artma, "Estimates of flow duration, mean flow, and peak-discharge frequency values for Kansas stream locations", Kansas, ABD, 2004. [Çevrimiçi]. Available at: https://books.google.com/books?id=RVWvbGDXVDoC&pgis=1.

[26] H. N. Karaaslan, "Estimation of specific flow duration curves using basin characteristics of rivers in Solaklı and Karadere basins", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.

[27] A. Castellarin, "Regional prediction of flow-duration curves using a three-dimensional kriging", *J. Hydrol.*, c. 513, ss. 179–191, 2014, doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.03.050.

[28] K. W.J., "Sustainable implementation of microhydro to eradicate poverty in Africa". [Çevrimiçi]. Available at: http://www.worldenergy.org/documents/congresspapers/330.pdf.

[29] ESHA, "Guide on How to Develop a Small hydropower Plant", 2004. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.esha.be/ fileadmin/esha files/documents/publications/GUIDES/GUIDESHP/GUIDE SHP EN.pdf.

[30] O. Paish, “Small hydro power : technology and current status”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 6, ss. 537–556, 2002.

[31] P. Action, “Technical information on micro-hydropower”, Warwickshire, United Kingdom.

[32] C. S. Kaunda, “Energy situation , potential and application status of small-scale hydropower systems in Malawi”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 26, ss. 1–19, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.05.034.

[33] I. Yuksel, “Hydropower in Turkey for a clean and sustainable energy future”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 12, ss. 1622–1640, 2008, doi: 10.1016/j.rser.2007.01.024.

[34] I. H. A. IHA, “The role of hydropower in sustainable development”, 2003.

[35] A. O. Yılmaz, “Renewable energy and coal use in Turkey”, *Renew. Energy*, c. 33, sayı 2008, ss. 950–959, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2007.04.022.

[36] O. Yuksek, M. I. Komurcu, I. Yuksel, ve K. Kaygusuz, “The role of hydropower in meeting Turkey ’ s electric energy demand”, *Energy Policy*, c. 34, ss. 3093–3103, 2006, doi: 10.1016/j.enpol.2005.06.005.

[37] MENR, “Energy report of Turkey in 2008”, 2008.

[38] DPT, “Ninth development plan 2007–2013”, Ankara, Türkiye, 2006.

[39] MEF, “First national communication of Turkey on climate change”, Ankara, Türkiye, 2007.

[40] TEIAS, “Short history of electrical energy development in Turkey”, 2009. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.teias.gov.tr.

[41] EIE, “Renewable energy activities of the EIE”, 2009. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.eie.gov.tr.

[42] K. Kaygusuz ve A. Kaygusuz, “Renewable energy and sustainable development in Turkey”, *Renew. Energy*, c. 25, ss. 431–453, 2002.

[43] K. Kaygusuz, “Bioenergy as a clean and sustainable fuel”, *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, sayı October 2014, ss. 37–41, 2009, doi: 10.1080/15567030801909839.

[44] I. Yuksel ve K. Kaygusuz, “Renewable energy sources for clean and sustainable energy policies in Turkey”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 15, sayı 8, ss. 4132–4144, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.07.007.

[45] IEA, “World energy outlook 2009”, Paris, 2009.

[46] M. S. Celiktas ve G. Kocar, “A quadratic helix approach to evaluate the Turkish renewable energies”, *Energy Policy*, c. 37, sayı 11, ss. 4959–4965, 2009, doi: 10.1016/j.enpol.2009.06.061.

[47] IEA, “Supply generation”, *International Energy Agency*, 2020. https://www.iea.org/data-and statistics?country=TURKEY&fuel=Energy supply&indicator=Electricity generation by source.

[48] IEA, “Energy policies of IEA countries”, Paris, 2009.

[49] MENR, “Energy statistics of Turkey in2010”, 2010. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.enerji.gov.tr.

[50] TEIAS, “Turkish electricity statistics in 2010”, 2010. [Çevrimiçi]. Available at: www.teias.gov.tr.

[51] WECTNC, “Energy situation of Turkey in 2010”, 2010.

[52] EIE, “Hydroelectric power plant projects carried out by EIE”, 2010.

[53] IEA, “Energy consumption”, *International Energy Agency*, 2020. https://www.iea.org/data-andstatistics?country=TURKEY&fuel=Energy consumption&indicator=Electricity final consumption by sector.

[54] IEA, “Consumption”, *International Energy Agency*, 2020. https://www.iea.org/data-and-statistics?country=TURKEY&fuel=Energy consumption&indicator=Electricity consumption.

[55] K. Kaygusuz, “The Sustainable Energy Future Hydropower in Turkey : The Sustainable Energy Future”, *Energy Sources, Part B Econ. Planning, Policy*, sayı December 2014, ss. 37–41, 2009, doi: 10.1080/15567240701423928.

[56] I. Yuksel, “Energy production and sustainable energy policies in Turkey”, *Renew. Energy*, c. 35, ss. 1469–1476, 2010, doi: 10.1016/j.renene.2010.01.013.

[57] TUBITAK, “Proceedings of the vision 2023 technology project”, 2003.

[58] I. Yuksel, “South-eastern Anatolia Project (GAP) factor and energy management in Turkey”, *Energy Reports*, c. 1, ss. 151–155, 2015, doi: 10.1016/j.egyr.2015.06.002.

[59] DSI, “Hydroelectric power in Turkey”, 2010. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.dsi.gov.tr.

[60] B. Alboyaci ve B. Dursun, “Electricity restructuring in Turkey and the share of wind energy production”, *Renew. Energy*, c. 33, ss. 2499–2505, 2008, doi: 10.1016/j.renene.2008.02.008.

[61] DSİ, “Turkey water report”, Ankara, Türkiye, 2009.

[62] DSİ, “Stratejik plan 2014”, 2014.

[63] DSİ, “Hydroelectric energy”, 2015.

[64] N. N. Bakır, “Turkey’s hydropower potential and review on electricity generetion policies from EU perspective”, 2005. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.ere.com.tr/pdf/HIDRO-POT-AB-EN.pdf.

[65] UNIDO, “World small hydropower development report 2016”, 2016.

[66] EMRA, “Progress report 2015”, 2015. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.epdk.gov.tr/index.php/13-icerik/elektrik-icerik/1127- proje-ilerleme-durumu.

[67] DSİ, “DSİ”, *Devlet Su İşleri*, 2015. http://en.dsi.gov.tr.

[68] DSİ, “Hydropower potential in Turkey”, 2007.

[69] EIE, “Hydroelectric power activities of the EIE”, 2004. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.eie.gov.tr.

[70] P. Punys, “Small hydropower in the New EU Member States”, *Hidroenergia*, c. 04.

[71] W. Bank, “Private sector renewable energy and energy efficiency project for Turkey”. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.worldbank.org/projects/P112578/private-sector-renewable-energyenergy- efficiency-project?lang=en.

[72] DSİ, “2018 Yılı resmi su kaynakları istatistikleri”, *Devlet Su İşleri*, 2020. http://www.dsi.gov.tr/dsi-resmi-istatistikler/resmi-i-statistikler-2018/2018-yılı-verileri.

[73] E. ACAR, “Avrupa Birliği’nin GAP ve su sorununa yaklaşımı çerçevesinde Fırat ve Dicle Nehirlerinin yönetimi üzerine tartışmalar”, *Güvenlik Strat. Derg.*, c. 02, sayı 04, ss. 67–101, 2006, doi: 10.17752/gsd.70144.

[74] ÇŞB, “Batman ili 2018 yılı çevre durum raporu”, 2019.

[75] MGM, “Resmi istatistikler”, *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*, 2020. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BATMAN.

[76] DSİ, “İşletmedeki tesisler”, *2020*. http://bolge10.dsi.gov.tr/isletmedekitesisler.

[77] DSİ, “Akım gözlem yıllıkları”, *Devlet Su İşleri*, 2020. http://www.dsi.gov.tr/faaliyetler/akim-gozlem-yilliklari.

[78] D. R. Nayak, M. Amitav, ve M. Pranati, “A Survey on rainfall prediction using artificial neural network”, *Int. J. Comput. Appl.*, c. 72, sayı 16, ss. 32–40, 2013, doi: 10.5120/12580-9217.

[79] Z. Şen, *Yapay sinir ağları*. İstanbul: Suvakfı Yayınları, 2004.

[80] K. C. Turgay Partal, Ercan Kahya, “Yağış verilerinin yapay sinir ağları ve dalgacık dönüşümü yöntemleri ile tahmini”, *İtü Derg. Mühendislik*, c. 7, sayı 3, ss. 73–85, 2008.

[81] A. R. Akgün, “Namazgâh barajında meteorolojik veriler kullanılarak yapay sinir ağları ile akışın tahmin edilmesi”, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2019.

[82] S. Haykin, *Neural networks- a comprehensive foundation*. Macmillan Coll Div, 1999.

[83] Ç. Elmas, *Yapay sinir ağları*. Ankara: Seçkin Yayıncılık, 2003.

[84] E. Öztemel, *Yapay sinir ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık, 2003.

[85] Ö. Terzi, “Eğirdir gölü’ne ait buharlaşma modellerinin geliştirilmesi ve

uygulanması", Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2004.

[86] E. Çevik, "Yapay sinir ağları metodu ile yağış tahmini", Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2009.

[87] A. Randrianasolo, M. H. Ramos, ve V. Andréassian, "Hydrological ensemble forecasting at ungauged basins: Using neighbour catchments for model setup and updating", *Adv. Geosci.*, c. 29, ss. 1–11, 2011, doi: 10.5194/adgeo-29-1-2011.

[88] H. A. G. A. Wale, T. H. M. Rientjes, A. S. M. Gieske, "Ungauged catchment contributions to Lake Tana's water balance", *Hydrol. Process.*, c. 23, ss. 3682–3693, 2009, doi: 10.1002/hyp.7284.

[89] M. Hrachowitz *vd.*, "A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)-a review", *Hydrol. Sci. J.*, c. 58, sayı 6, ss. 1198–1255, 2013, doi: 10.1080/02626667.2013.803183.

[90] S. Patil ve M. Stieglitz, "Controls on hydrologic similarity: role of nearby gauged catchments for prediction at an ungauged catchment", *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, c. 8, ss. 9323–9355, 2011, doi: 10.5194/hessd-8-9323-2011.

[91] M. Sivapalan *vd.*, "IAHS Decade on predictions in ungauged basins (PUB), 2003-2012: shaping an exciting future for the hydrological sciences", *Hydrol. Sci. J.*, c. 48, sayı 6, ss. 857–880, 2003, doi: 10.1623/hysj.48.6.857.51421.

[92] A. Adib, M. Salarijazi, ve K. Najafpour, "Evaluation of synthetic outlet runoff assessment models", *J. Appl. Sci. Environ. Manag.*, c. 14, sayı 3, ss. 3–18, 2010, doi: 10.4314/jasem.v14i3.61450.

[93] V. Lakshmi, "The role of satellite remote sensing in the prediction of ungauged basins", *Hydrol. Process.*, c. 18, ss. 1029–1034, 2004, doi: 10.1002/hyp.5520.

[94] G. Moretti ve A. Montanari, "Inferring the flood frequency distribution for an ungauged basin using a spatially distributed rainfall-runoff model", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, c. 12, sayı 4, ss. 1141–1152, 2008, doi: 10.5194/hess-12-1141-2008.

[95] R. Srinivasan, X. Zhang, ve J. Arnold, "SWAT ungauged: Hydrological budget and crop yield predictions in the upper Mississippi River basin", *Trans. ASABE*, c. 53, sayı 5, ss. 1533–1546, 2010, doi: 10.13031/2013.34903.

[96] M. Yadav, T. Wagener, ve H. Gupta, "Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins", *Adv. Water Resour.*, c. 30, sayı 8, ss. 1756–1774, 2007, doi: 10.1016/j.advwatres.2007.01.005.

[97] M. Şahin, "Karadeniz bölgesindeki yağış-akış ilişkisinin farklı yapay sinir ağları metotlarıyla belirlenmesi", İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul,

Türkiye, 2007.

[98] I. G. Pechlivanidis, B. M. Jackson, N. R. Mcintyre, ve H. S. Wheater, "Catchment scale hydrological modelling: A review of model types, calibration approaches and uncertainty analysis methods in the context of recent developments in technology and applications", *Glob. Nest J.*, c. 13, sayı 3, ss. 193–214, 2011, doi: 10.30955/gnj.000778.

[99] G. K. Devia, B. P. Ganasri, ve G. S. Dwarakish, "A Review on hydrological models", *Aquat. Procedia*, c. 4, sayı Icwrcoe, ss. 1001–1007, 2015, doi: 10.1016/j.aqpro.2015.02.126.

[100] H. Moradkhani ve S. Sorooshian, "General review of rainfall-runoff modeling: model calibration, data assimilation, and uncertainty analysis", içinde *Hydrological Modelling and the Water Cycle*, 2008, ss. 1–24.

[101] R. L. Baird, A. J., & Wilby, *Eco-hydrology: plants and water in terrestrial and aquatic environments*. USA:Psychology Press, 1999.

[102] A. A. Kumanlioğlu, "Kavramsal Bir Hidrolojik Modele Yapay Zeka Entegrasyonu", Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2011.

[103] V. P. Singh ve D. A. Woolhiser, "Mathematical modeling of watershed hydrology", *J. Hydrol. Eng.*, c. 7, sayı 4, ss. 270–292, 2002, doi: 10.1061/(asce)1084-0699(2002)7:4(270).

[104] B. D. Kikine, "Hydrological Modeling and Forecasting Using HEC-HMS Soil Moisture Accounting for a Snow Dominated Basin in Turkey", Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2017.

[105] T. V. De Vries, J.J., Hromadka II, "Computer models for surface water", içinde *Handbook of Hydrology*, D. R. Maidment, Ed. McGraw-Hill, 1993.

[106] M. Beyazıt, *Hidrolojik modeller*, 1.Baskı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 1998.

[107] T. Wagener, H. S. Wheater, N. S. F. Stc, ve R. Areas, "Identification and evaluation of watershed models", içinde *Calibration of Watershed Models Water Science and Applications*, Washington, DC: American Geophysical Union, 2003, ss. 29–47.

[108] J. C. Refsgaard, "Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models", *J. Hydrol.*, c. 198, sayı 1–4, ss. 69–97, 1997, doi: 10.1016/S0022-1694(96)03329-X.

[109] CORINE, "Resmi web sitesi", *Copernicus Arazi İzleme Servisi*, 2020. .

[110] J. v. Nash, J.E. and Sutcliffe, "River flow forecasting through conceptual models.Part I: a discussion of principles", *J. Hydrol.*, c. 10, ss. 282–290, 1970, doi: 10.1080/00750770109555783.

[111] H. C. Winsemius, B. Schaefli, A. Montanari, ve H. H. G. Savenije, "On the calibration of hydrological models in ungauged basins: A framework for integrating hard and soft hydrological information", *Water Resour. Res.*, c.

45, sayı 1, 2009, doi: 10.1029/2009WR007706.

[112] C. W. Dawson, R. J. Abrahart, ve L. M. See, “HydroTest: A web-based toolbox of evaluation metrics for the standardised assessment of hydrological forecasts”, *Environ. Model. Softw.*, c. 22, sayı 7, ss. 1034–1052, 2007, doi: 10.1016/j.envsoft.2006.06.008.

[113] V. KlemeŠ, “Operational testing of hydrological simulation models”, *Hydrol. Sci. J.*, c. 31, sayı 1, ss. 13–24, 1986, doi: 10.1080/02626668609491024.

[114] J. C. Refsgaard, B. Storm, ve A. Refsgaard, “Validation and applicability of distributed hydrological models”, *IAHS-AISH Publ.*, sayı 231, ss. 387–397, 1995.

[115] B. W., *Hydometry*, Ihe Delft. Taylor & Francis Press, 2005.

[116] Mehmet Ardıçlıoğlu; Serkan Özdin; Ercan Gemici, “Küçük akarsu debilerinin belirlenmesinde farklı yöntemlerin karşılaştırılması”, *J. Eng. Technol. Sci.*, c. 1, sayı 1, ss. 46–65, 2013.

[117] M. Beyazıt, *Hidroloji*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2013.

[118] C. C.L. ve C. A. Said, “Modeling of maximum velocity in open-channel flow”, *J. Hydraul. Eng.*, c. 121, sayı 1, ss. 26–34, 1995.

[119] S. Ardıçlıoğlu, M., Özdin, “Determining agricultural water demand from natural streams using the entropy concept”, *African J. Agric. Res.*, c. 6, sayı 6, ss. 1330–1336, 2011.

[120] M. P. Wanielista, *Streamflow measurements*, Third edit. Taylor & Francis Press, 2008.

[121] N. Özyuvacı, “Derelerde akış ölçmeleri”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Derg.*, c. XXIV, sayı II, 1974.

[122] J. P. Michaud ve M. Wierenga, “Estimating discharge and stream Flows. a guide for sand and gravel operators”, 2005.

[123] E. Dağdelen, “Debi ölçümü”, 2012. .

[124] K. Özal, *Akarsu yapıları*. İstanbul: Bahar Yayınevi.

[125] R. Bakiş ve A. Demirbaş, “Sustainable development of small hydropower plants (SHPs)”, *Energy Sources*, c. 26, sayı 12, ss. 1105–1118, 2004, doi: 10.1080/00908310390265932.

[126] A. T. Y. Zhou, M. Hejazi, S. Smith, J. Edmonds, H. Li, L. Clarke, K. Calvina, “A comprehensive view of global potential for hydro-generated electricity”, *Energy Environ. Sci.*, sayı 9, ss. 2622–2633, 2015, doi: 10.1039/x0xx00000x.

[127] Veysel Özkök, “Hidroelektrik potansiyel belirleme metotları ve uygulamaları”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstabul, Türkiye, 2006.

[128] N. Arefiev, O. Nikonova, N. Badenko, T. Ivanov, ve V. Oleshko, “Development of automated approaches for hydropowerpotential

estimations and prospective hydropower plants siting", içinde *International Scientific and Practical Conference*, 2015, c. 2, ss. 41–50, doi: 10.17770/etr2015vol2.260.

[129] N. Ağıralioğlu ve C. Erkek, *Su kaynakları mühendisliği*, 7. Baskı. İstanbul: Beta Yayınevi, 2013.

[130] N. Arefiev, N. Badenko, T. Ivanov, S. Kotlyar, O. Nikonova, ve V. Oleshko, "Hydropower Potential Estimations and Small Hydropower Plants Siting: Analysis of World Experience", *Appl. Mech. Mater.*, c. 725–726, ss. 285–292, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.725-726.285.

[131] Ü. Öziş, *Su kuvveti tesislerinin planlama esasları*. Dokuz Eylül Üniversitesi, 1991.

[132] B. Lehner, G. Czisch, ve S. Vassolo, "The impact of global change on the hydropower potential of Europe: A model-based analysis", *Energy Policy*, c. 33, sayı 7, ss. 839–855, 2005, doi: 10.1016/j.enpol.2003.10.018.

[133] Ü. Öziş, "Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli ve enerji üretimi", 1985.

[134] Y. Öziş, Ü., Baran, T., Durnabaş, İ., Şeker, S., Özdemir, "Türkiye akarsularının su ve su kuvveti potansiyeli", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, c. 391, sayı 5, ss. 17–26, 1998.

[135] S. A. Schumm, "Evolution of Drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey", *Geol. Soc. Am. Bull.*, c. 67, sayı 5, ss. 597–646, 1956, doi: 10.1130/0016-7606(1956)67.

[136] A. N. Strahler, "Hypsometric (area–altitude) analysis of erosional topography", *Geol. Soc. Am. Bull.*, c. 67, ss. 1117–1142, 1952, doi: 10.1130/0016-7606(1952)63.

[137] M. P. Bishop, J. F. Shroder, R. Bonk, ve J. Olsenholler, "Geomorphic change in high mountains: A western Himalayan perspective", *Glob. Planet. Change*, c. 32, sayı 4, ss. 311–329, 2002, doi: 10.1016/S0921-8181(02)00073-5.

[138] R. J. Pike ve S. E. Wilson, "Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis", *Bull. Geol. Soc. Am.*, c. 82, sayı 4, ss. 1079–1084, 1971, doi: 10.1130/0016-7606(1971)82[1079:ERHIAG]2.0.CO;2.

[139] A. Castellarin, G. Galeati, L. Brandimarte, A. Montanari, ve A. Brath, "Regional flow-duration curves: Reliability for ungauged basins", *Adv. Water Resour.*, c. 27, sayı 10, ss. 953–965, 2004, doi: 10.1016/j.advwatres.2004.08.005.

[140] E. S. Han ve A. goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, "Flow-duration curves i: new interpretation and confidence intervals", *J. Water Resour. Plan. Manag.*, c. 120, sayı 4, ss. 485–504, 1994.

[141] J. K. SEARCY, "Flow duration curve", 1959. doi: 10.1201/b19113-16.

[142] C. Warnick, C., *Hydropower engineering*. Englewood Cliffs, New Jersey:

Prentice-Hall Inc, 1984.

[143] O. S. University, “Analysis Techniques: Flow Duration Analysis. Streamflow Evaluations for Watershed Restoration Planning and Design”, *Oregon State University (OSU)*, 2014. http://streamflow.engr.oregonstate.edu/analysis/flow.

[144] U. ACE, “Hydropower engineering and design”, Washington, D.C., 1985.

[145] ETG, “Small hydropower technology and market assessment 2009”, 2009.

[146] ESCAP, “Singh Asian and Pacific centre for transfer of technology under United Nations Economic and Social Commission for Asia and Pacific”, 2009.

[147] O. Paish, “Micro-hydropower: status and prospects”, *J. Power Energy*, c. 216, sayı 1, ss. 31–40, 2002, doi: 10.1142/9789812776488_0034.

[148] D. K. Okot, “Review of small hydropower technology”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 26, ss. 515–520, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.05.006.

[149] N. L. Panwar, S. C. Kaushik, ve S. Kothari, “Role of renewable energy sources in environmental protection: A review”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 15, sayı 3, ss. 1513–1524, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2010.11.037.

[150] Y. Keawsuntia, “Electricity generation from micro hydro turbine: A case study of crossflow turbine”, 2011, doi: 10.1109/ICUEPES.2011.6497731.

[151] I. Loots, M. Van Dijk, B. Barta, S. J. Van Vuuren, ve J. N. Bhagwan, “A review of low head hydropower technologies and applications in a South African context”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 50, sayı 2015, ss. 1254–1268, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.05.064.

[152] F. Forouzbakhsh, S. M. H. Hosseini, ve M. Vakilian, “An approach to the investment analysis of small and medium hydro-power plants”, *Energy Policy*, c. 35, sayı 2, ss. 1013–1024, 2007, doi: 10.1016/j.enpol.2006.02.004.

[153] S. M. H. Hosseini, F. Forouzbakhsh, ve M. Rahimpoor, “Determination of the optimal installation capacity of small hydro-power plants through the use of technical, economic and reliability indices”, *Energy Policy*, c. 33, sayı 15, ss. 1948–1956, 2005, doi: 10.1016/j.enpol.2004.03.007.

[154] M. Nazari-Heris ve B. Mohammadi-Ivatloo, “Design of small hydro generation systems, distributed generation systems”, içinde *CHAPTER 6*, 2017, ss. 301–332.

[155] A. E. Julio Alterach, “Customızed tools (software) for the identification and evaluatıon of potential sites for shp implementation”, 2011.

[156] A. Moldoveanu ve D. Popescu, “Optimized Implementation of small hydropower plants on a river, case study”, içinde *EPE 2018 - Proceedings of the 2018 10th International Conference and Expositions on Electrical And Power Engineering*, 2018, sayı December, ss. 806–811, doi:

10.1109/ICEPE.2018.8559661.

[157] S. K. Singal, R. P. Saini, ve C. S. Raghuvanshi, “Analysis for cost estimation of low head run-of-river small hydropower schemes”, *Energy Sustain. Dev.*, c. 14, sayı 2, ss. 117–126, 2010, doi: 10.1016/j.esd.2010.04.001.

[158] B. M. McEnroe, “Guidelines for continuous simulation of streamflow in Johnson County, Kansas, with HEC-HMS”, 2010.

[159] W. Gumindoga, D. T. Rwasoka, I. Nhapi, ve T. Dube, “Ungauged runoff simulation in Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: Application of the HEC-HMS model”, *Phys. Chem. Earth*, c. 100, ss. 371–382, 2017, doi: 10.1016/j.pce.2016.05.002.

[160] M. Fujii, S. Tanabe, M. Yamada, T. Mishima, T. Sawadate, ve S. Ohsawa, “Assessment of the potential for developing mini/micro hydropower: A case study in Beppu City, Japan”, *J. Hydrol. Reg. Stud.*, c. 11, ss. 107–116, 2017, doi: 10.1016/j.ejrh.2015.10.007.

[161] M. J. Ritter D, Kochel R, *Process geomorphology*, 3rd Ed. William C Brown Pub, 1995.

[162] I. A. Guiamel ve H. S. Lee, “Watershed modelling of the mindanao river basin in the philippines using the SWAT for water resource management”, *Civ. Eng. J.*, c. 6, sayı 4, ss. 626–648, 2020, doi: 10.28991/cej-2020-03091496.

[163] T. H. M. Rientjes, B. U. J. Perera, A. T. Haile, P. Reggiani, ve L. P. Muthuwatta, “Regionalisation for lake level simulation - The case of Lake Tana in the Upper Blue Nile, Ethiopia”, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, c. 15, sayı 4, ss. 1167–1183, 2011, doi: 10.5194/hess-15-1167-2011.

[164] O. Singh ve A. Sarangi, “Hypsometric analysis of the lesser Himalayan watersheds using geographical information system”, *Indian J. Soil Conserv.*, c. 36, sayı 3, ss. 148–154, 2008.

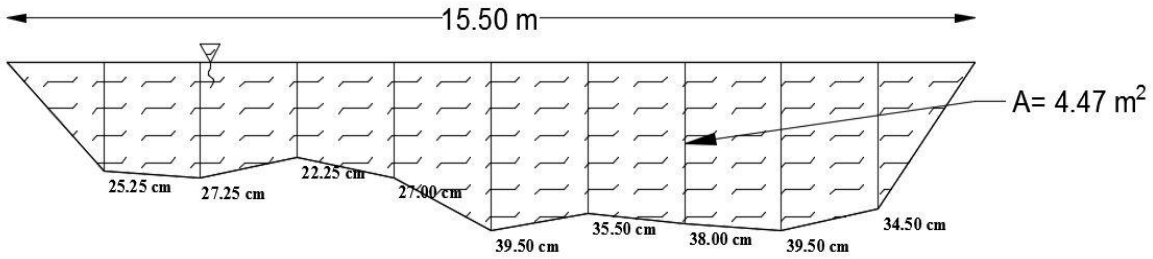
[165] W. Yousaf *vd.*, “Erosion potential assessment of watersheds through GIS-based hypsometric analysis: a case study of Kurram Tangi Dam”, *Arab. J. Geosci.*, c. 11, sayı 22, 2018, doi: 10.1007/s12517-018-4059-4.

[166] W. Luo ve J. M. Harlin, “A theoretical travel time based on watershed hypsometry”, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, c. 39, sayı 4, ss. 785–792, 2003, doi: 10.1111/j.1752-1688.2003.tb04405.x.

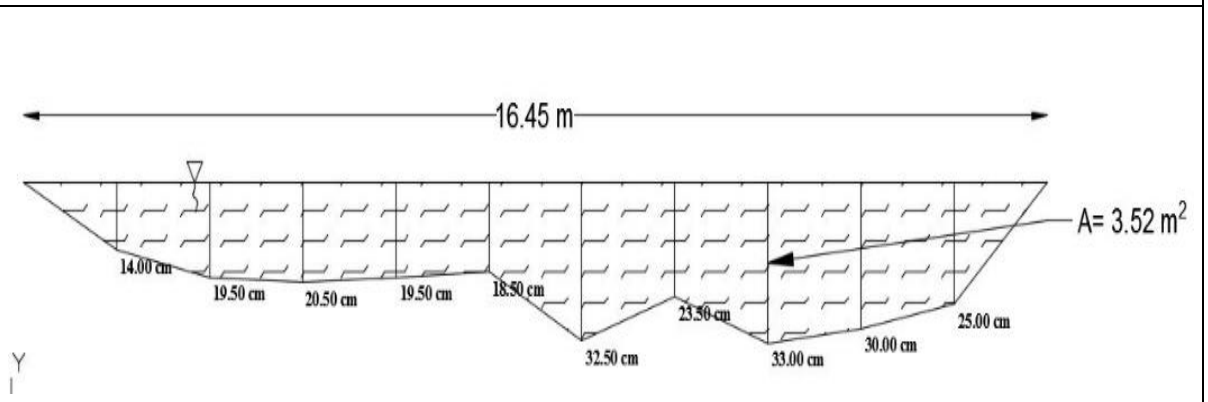
[167] T. Porarinsdottir, “Development of a methodology for estimation of technical hydropower potential in Iceland using high resolution hydrological modeling”, 2012.

A
HİDROMEKTRİK ÖLÇÜM TABLOLARI

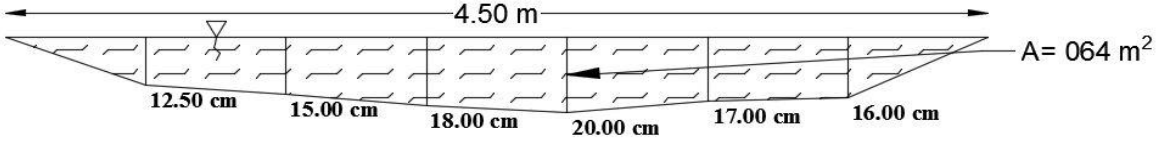
Tablo A.1 Zugut Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi miktarları (19 Şubat 2019)

<table>
<tr><td>Memba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td rowspan="2">32</td><td rowspan="2">18.5</td><td rowspan="2">25.25</td><td rowspan="2">15.5</td><td rowspan="2">16</td><td rowspan="2">17.5</td><td rowspan="2">16.33</td><td>Memba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>4.47</td></tr>
<tr><td>Vs</td><td colspan="3">1.426</td><td>15</td><td>16</td><td>15.50</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>32</td><td>22.5</td><td>27.25</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 3.489</td></tr>
<tr><td>25</td><td>20.5</td><td>22.75</td><td colspan="9" rowspan="7">
</td></tr>
<tr><td>25</td><td>29</td><td>27</td></tr>
<tr><td>47</td><td>32</td><td>39.5</td></tr>
<tr><td>34</td><td>37</td><td>35.5</td></tr>
<tr><td>34</td><td>42</td><td>38</td></tr>
<tr><td>32</td><td>47</td><td>39.5</td></tr>
<tr><td>32</td><td>37</td><td>34.5</td></tr>
</table>

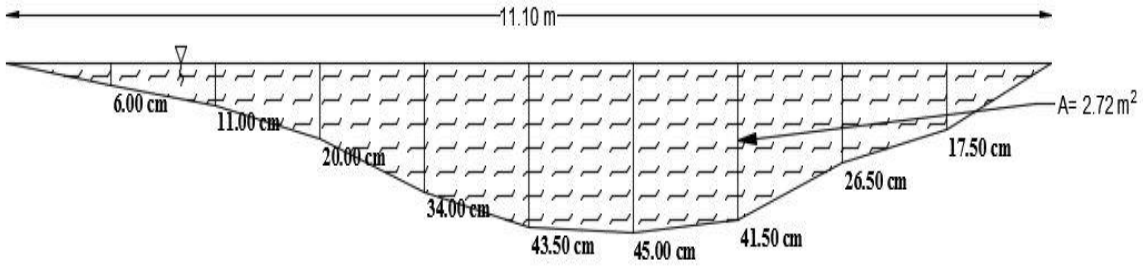
Tablo A.2 Zugut Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (19 Mayıs 2019)

Memba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin genişliği (m)**			**Menba-mansap arası mesafe (m)**	15
17	11	14		18.26	17	18.6	18.73	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin kesit alanı (m^2)**	3.52
24	15	19.5	**Vs**	0.801				14.2	18.7	16.45	**Düzeltme kat sayısı (α)**	0.85
17	24	20.5	**Q=VsxAxα (m^3/s)=** 2.396									
21	18	19.5										
24	13	18.5										
28	37	32.5										
35	12	23.5										
42	24	33										
30	30	30										
24	26	25										

Tablo A.3 Zugut Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (24 Temmuz 2019)

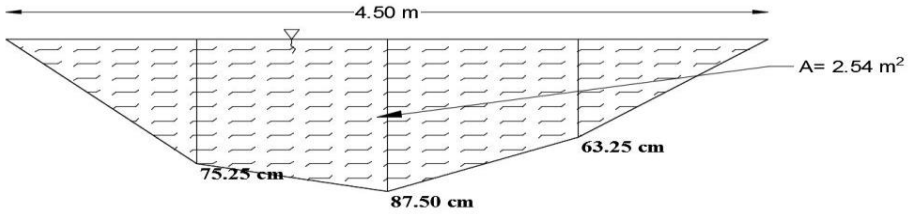
<table>
<tr><td>Memba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>15</td><td>10</td><td>12.5</td><td>303</td><td>310</td><td>388</td><td>333.67</td><td>Memba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>0.64</td></tr>
<tr><td>18</td><td>12</td><td>15</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.045</td><td>3.4</td><td>5.7</td><td>4.55</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>21</td><td>15</td><td>18</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) =0.024</td></tr>
<tr><td>22</td><td>18</td><td>20</td><td colspan="9" rowspan="3">
</td></tr>
<tr><td>19</td><td>15</td><td>17</td></tr>
<tr><td>19</td><td>13</td><td>16</td></tr>
</table>

Tablo A.4 Zugut Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (15 Aralık 2019)

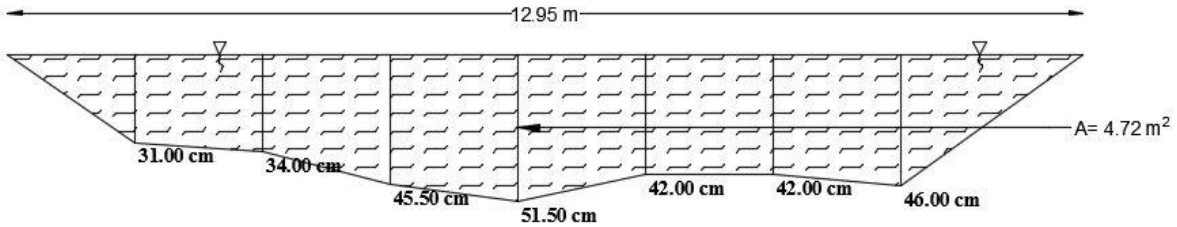
<table>
<tr><td>Memba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>20.1</td><td>20</td><td>21.9</td><td>20.67</td><td>Memba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>2.72</td></tr>
<tr><td>10</td><td>12</td><td>11</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.726</td><td>10</td><td>12.2</td><td>11.1</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) =1.678</td></tr>
<tr><td>38</td><td>30</td><td>34</td><td colspan="9" rowspan="7">
</td></tr>
<tr><td>52</td><td>35</td><td>43.5</td></tr>
<tr><td>55</td><td>35</td><td>45</td></tr>
<tr><td>53</td><td>30</td><td>41.5</td></tr>
<tr><td>28</td><td>25</td><td>26.5</td></tr>
<tr><td>10</td><td>25</td><td>17.5</td></tr>
</table>

Tablo A.5 Rapka Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (19 Şubat 2019)

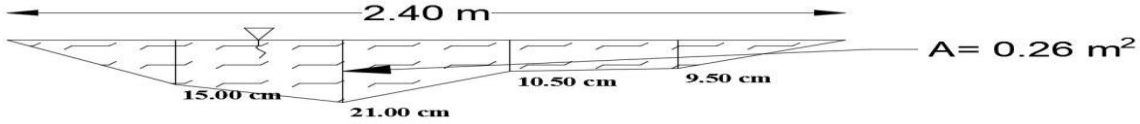
Menba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin genişliği (m)**			**Menba-mansap arası mesafe (m)**	15
72.5	78	75.25		10.06	11.45	10.7	10.74	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin kesit alanı (m^2)**	2.54
102.5	72.5	87.5	**Vs**	1.397				4.3	4.7	4.5	**Düzeltme kat sayısı (α)**	0.85
82.5	44	63.25	**Q=VsxAxα (m^3/s)=** 3.016									



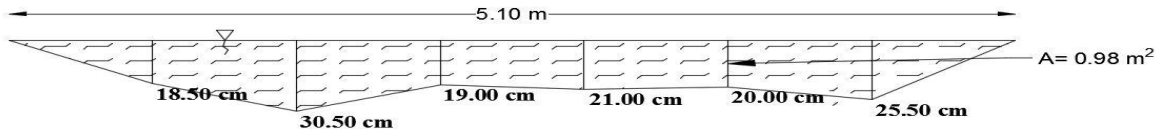
Tablo A.6 Rapka Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (19 Mayıs 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>26</td><td>36</td><td>31</td><td>26.86</td><td>25.07</td><td>26.21</td><td>26.05</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>4.72</td></tr>
<tr><td>24</td><td>44</td><td>34</td><td>Vs</td><td colspan="4">1.426</td><td>14.4</td><td>11.5</td><td>12.95</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>40</td><td>51</td><td>45.5</td><td colspan="10">Q=VsxAxα (m³/s) =2.310</td></tr>
<tr><td>46</td><td>57</td><td>51.5</td><td colspan="10" rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td>35</td><td>49</td><td>42</td></tr>
<tr><td>45</td><td>39</td><td>42</td></tr>
<tr><td>55</td><td>37</td><td>46</td></tr>
</table>

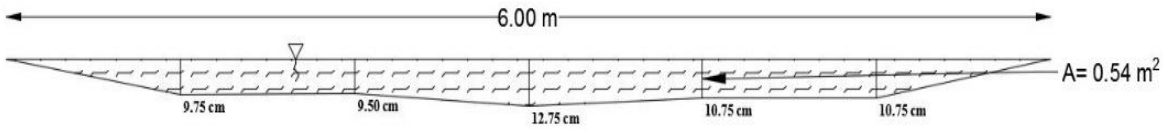
Tablo A.7 Rapka Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (27 Temmuz 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>10.6</td></tr>
<tr><td>14</td><td>16</td><td>15</td><td>44.71</td><td>47.61</td><td>46.9</td><td>46.41</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>0.26</td></tr>
<tr><td>28</td><td>14</td><td>21</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.228</td><td>2.2</td><td>2.6</td><td>2.4</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>12</td><td>9</td><td>10.5</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 0.050</td></tr>
<tr><td>14</td><td>5</td><td>9.5</td><td colspan="9" rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
</table>

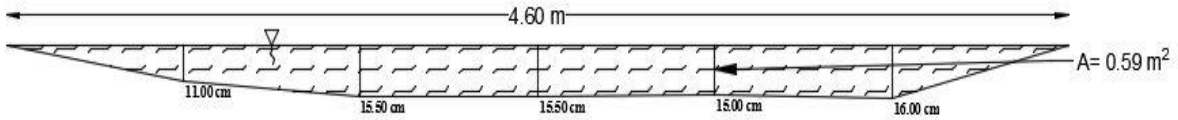
Tablo A.8 Rapka Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (19 Aralık 2019)

Menba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin genişliği (m)**			**Menba-mansap arası mesafe (m)**	15
23	14	18.5		19.18	19.7	19.22	19.37	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin kesit alanı (m^2)**	0.98
45	16	30.5	**Vs**	0.775				5	5.2	5.1	**Düzeltme kat sayısı (α)**	0.85
21	17	19	**Q=VsxAxα (m^3/s)** = 0.645									
25	17	21										
25	15	20										
21	30	25.5										

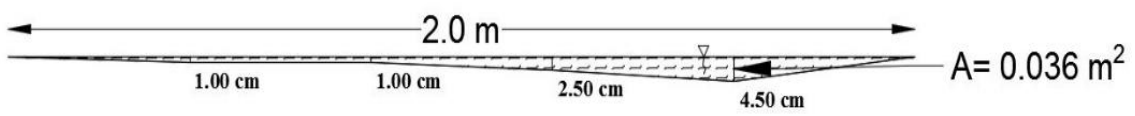
Tablo A.9 Aşağıyankılı Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (19 Şubat 2019)

Menba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin genişliği (m)**			**Menba-mansap arası mesafe (m)**	15
10	9.5	9.75		21.5	21.1	21.1	21.23	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin kesit alanı (m^2)**	0.54
9.5	9.5	9.5	**Vs**	0.706				6.1	6.1	6.1	**Düzeltme kat sayısı (α)**	0.85
11.5	14	12.75	**Q=VsxAxα (m^3/s)** = 0.324									
10.5	11	10.75										
9.5	12	10.75										

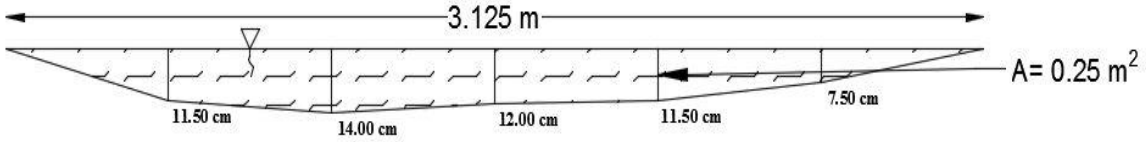
Tablo A.10 Aşağıyankılı Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (19 Mayıs 2019)

Menba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin Genişliği (m)**			**Menba-mansap arası mesafe (m)**	15
10	12	11		23.02	22.67	21.1	21.27	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin kesit alanı (m^2)**	0.59
13	18	15.5	**Vs**	0.705				3.1	6.1	4.6	**Düzeltme kat sayısı (α)**	0.85
16	15	15.5	**Q=VsxAxα (m^3/s)** = 0.353									
16	14	15										
21	11	16										

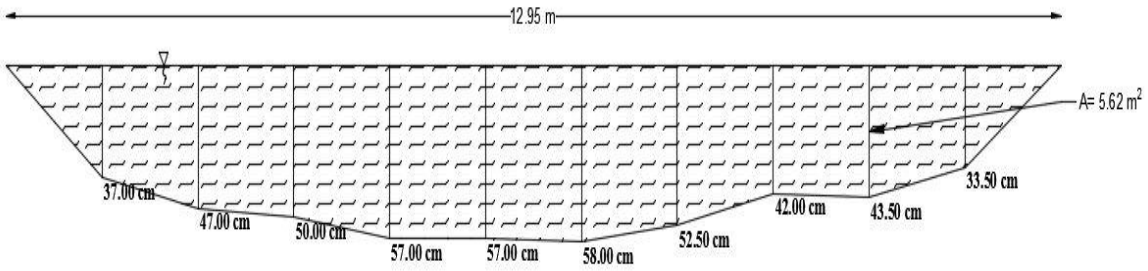
Tablo A.11 Aşağıyankılı Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (27 Temmuz 2019)

Menba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin Genişliği (m)**			**Menba-Mansap Arası Mesafe (m)**	7
1	1	1		13.5	13.29	13.1	13.30	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin Kesit Alanı (m^2)**	0.036
1	1	1	**Vs**	**0.526**				2	2	2	**Düzeltme Kat Sayısı (α)**	0.85
3	2	2.5	**Q=VsxAxα (m^3/s) =0.016**									
4	5	4.5										

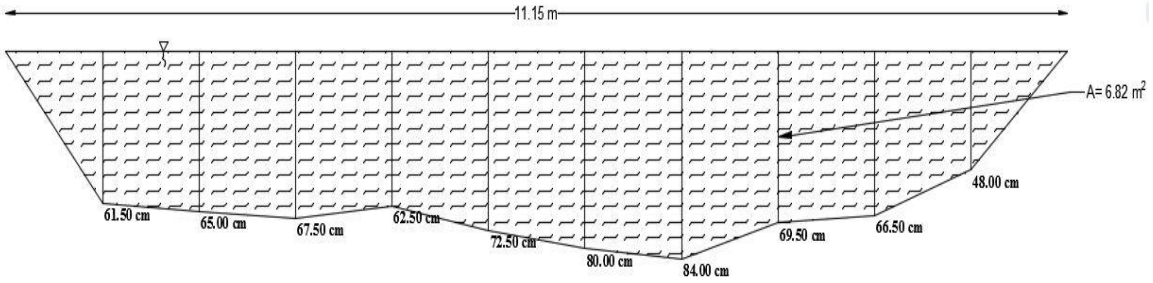
Tablo A.12 Aşağıyankılı Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (15Aralık 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>13</td><td>10</td><td>11.5</td><td>34.92</td><td>35</td><td>34.46</td><td>34.79</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>0.25</td></tr>
<tr><td>11</td><td>17</td><td>14</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.431</td><td>3.4</td><td>2.85</td><td>3.125</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>15</td><td>9</td><td>12</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 0.091</td></tr>
<tr><td>15</td><td>8</td><td>11.5</td><td colspan="9" rowspan="3">
</td></tr>
<tr><td>9</td><td>6</td><td>7.5</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
</table>

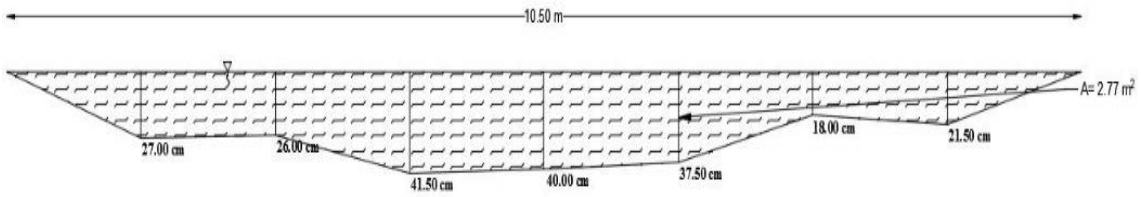
Tablo A.13 Merga Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (20 Şubat 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>27</td><td>47</td><td>37</td><td>9.5</td><td>9.25</td><td>8.95</td><td>9.23</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>5.62</td></tr>
<tr><td>47</td><td>47</td><td>47</td><td>Vs</td><td colspan="4">1.625</td><td>11.7</td><td>14.2</td><td>12.95</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>53</td><td>47</td><td>50</td><td colspan="8">Q=VsxAxα (m³/s) = 7.760</td></tr>
<tr><td>62</td><td>52</td><td>57</td><td colspan="8" rowspan="7">
</td></tr>
<tr><td>64</td><td>50</td><td>57</td></tr>
<tr><td>64</td><td>52</td><td>58</td></tr>
<tr><td>63</td><td>42</td><td>52.5</td></tr>
<tr><td>42</td><td>42</td><td>42</td></tr>
<tr><td>42</td><td>45</td><td>43.5</td></tr>
<tr><td>35</td><td>32</td><td>33.5</td></tr>
</table>

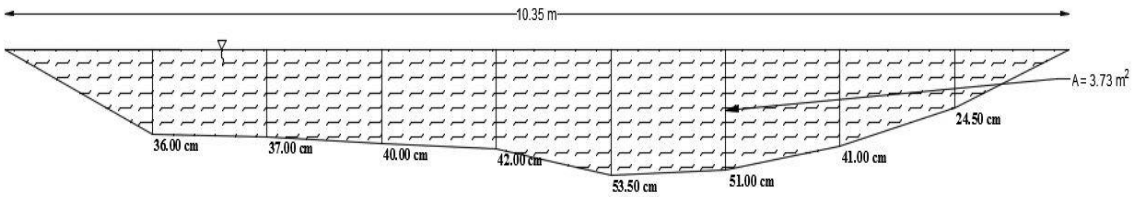
Tablo A.14 Merga Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (20 Mayıs 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>38</td><td>85</td><td>61.5</td><td>8.83</td><td>10.23</td><td>10.04</td><td>9.70</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>6.82</td></tr>
<tr><td>60</td><td>70</td><td>65</td><td>Vs</td><td colspan="4">1.625</td><td>12.1</td><td>10.2</td><td>11.15</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>65</td><td>70</td><td>67.5</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 7.760</td></tr>
<tr><td>50</td><td>75</td><td>62.5</td><td colspan="9" rowspan="8">
</td></tr>
<tr><td>70</td><td>75</td><td>72.5</td></tr>
<tr><td>85</td><td>75</td><td>80</td></tr>
<tr><td>100</td><td>68</td><td>84</td></tr>
<tr><td>80</td><td>59</td><td>69.5</td></tr>
<tr><td>65</td><td>68</td><td>66.5</td></tr>
<tr><td>38</td><td>58</td><td>48</td></tr>
</table>

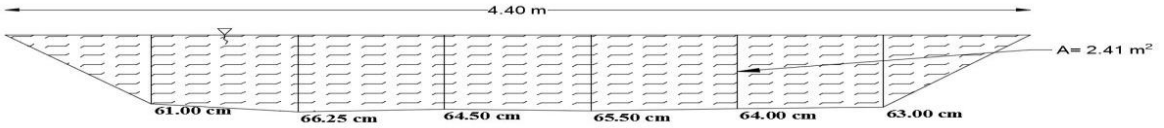
Tablo A.15 Merga Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (24 Temmuz 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>11</td><td>43</td><td>27</td><td>43.6</td><td>41.1</td><td>41.2</td><td>41.97</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>2.77</td></tr>
<tr><td>14</td><td>38</td><td>26</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.357</td><td>11</td><td>10</td><td>10.5</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>43</td><td>40</td><td>41.5</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 0.841</td></tr>
<tr><td>44</td><td>36</td><td>40</td><td colspan="9" rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td>40</td><td>35</td><td>37.5</td></tr>
<tr><td>16</td><td>20</td><td>18</td></tr>
<tr><td>20</td><td>23</td><td>21.5</td></tr>
</table>

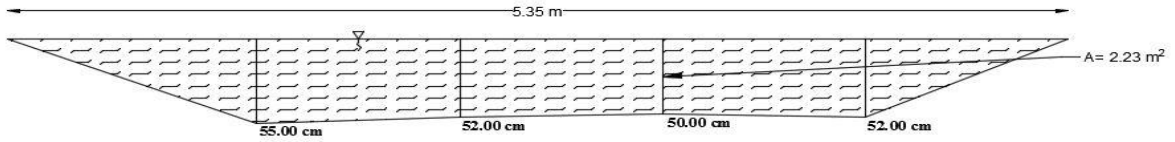
Tablo A.16 Merga Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (12 Aralık 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>22</td><td>50</td><td>36</td><td>32</td><td>32</td><td>33</td><td>32.33</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>3.73</td></tr>
<tr><td>18</td><td>56</td><td>37</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.464</td><td>11</td><td>9.7</td><td>10.35</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>16</td><td>64</td><td>40</td><td colspan="8">Q=VsxAxα (m³/s) = 1.470</td></tr>
<tr><td>16</td><td>68</td><td>42</td><td colspan="8" rowspan="5">
</td></tr>
<tr><td>32</td><td>75</td><td>53.5</td></tr>
<tr><td>41</td><td>61</td><td>51</td></tr>
<tr><td>50</td><td>32</td><td>41</td></tr>
<tr><td>26</td><td>23</td><td>24.5</td></tr>
</table>

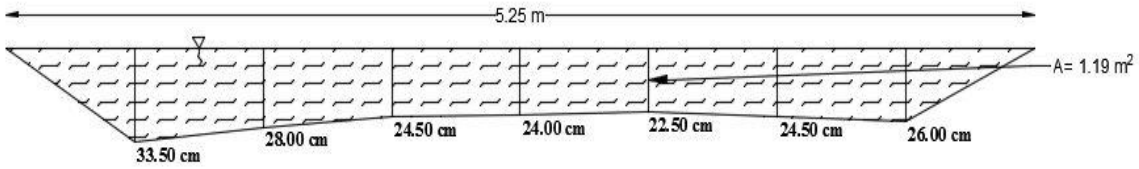
Tablo A.17 Küllük Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (19 Şubat 2019)

Menba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin genişliği (m)**			**Menba-mansap arası mesafe (m)**	15
72	50	61		15.16	15.03	16.5	15.56	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin kesit alanı (m^2)**	2.41
76	56.5	66.25	**Vs**	0.964				4.5	4.3	4.4	**Düzeltme kat sayısı (α)**	0.85
72	57	64.5	**Q=VsxAx α (m^3/s)** = 1.974									
71	60	65.5										
69	59	64										
67	59	63										

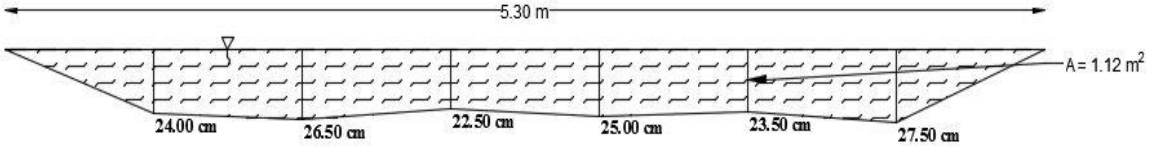
Tablo A.18 Küllük Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (19 Mayıs 2019)

Menba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin genişliği (m)**			**Menba-mansap arası mesafe (m)**	7
55	55	55		29.36	27.03	29.86	28.75	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin kesit alanı (m^2)**	2.23
57	47	52	**Vs**	0.522				5.5	5.2	5.35	**Düzeltme kat sayısı (α)**	0.85
55	45	50	**Q=VsxAxα (m^3/s)** = 0.998									
58	46	52										

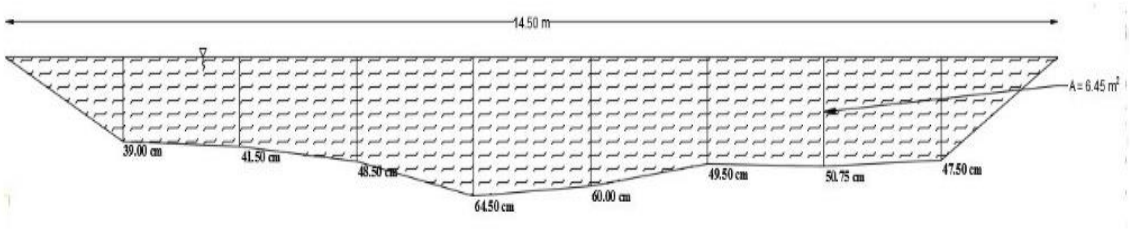
Tablo A.19 Küllük Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (27 Temmuz 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>32</td><td>35</td><td>33.5</td><td>415</td><td>404</td><td>410</td><td>409.67</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>1.19</td></tr>
<tr><td>29</td><td>27</td><td>28</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.037</td><td>5.4</td><td>5.1</td><td>5.25</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>27</td><td>22</td><td>24.5</td><td colspan="8">Q=VsxAxα (m³/s) =0.037</td></tr>
<tr><td>27</td><td>21</td><td>24</td><td colspan="8" rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td>25</td><td>20</td><td>22.5</td></tr>
<tr><td>27</td><td>22</td><td>24.5</td></tr>
<tr><td>32</td><td>20</td><td>26</td></tr>
</table>

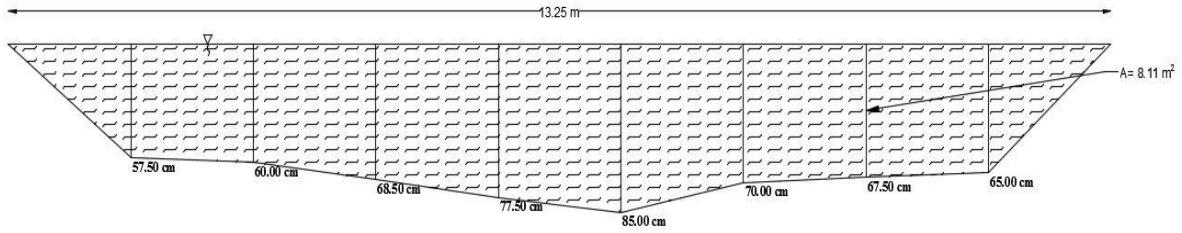
Tablo A.20 Küllük Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (15 Aralık 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>21</td><td>27</td><td>24</td><td>120</td><td>122</td><td>116</td><td>119.33</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>1.12</td></tr>
<tr><td>28</td><td>25</td><td>26.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.126</td><td>5.3</td><td>5.3</td><td>5.3</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>25</td><td>20</td><td>22.5</td><td colspan="8">Q=VsxAxα (m³/s) = 0.119</td></tr>
<tr><td>31</td><td>19</td><td>25</td><td colspan="8" rowspan="3">
</td></tr>
<tr><td>27</td><td>20</td><td>23.5</td></tr>
<tr><td>30</td><td>25</td><td>27.5</td></tr>
</table>

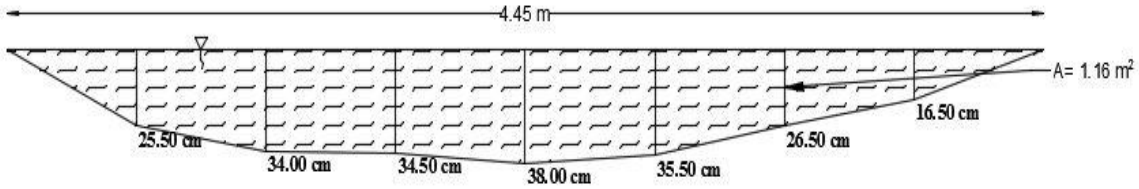
Tablo A.21 Şevay Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (21 Şubat 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>40</td><td>38</td><td>39</td><td>6.6</td><td>6.73</td><td>7.16</td><td>6.83</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>6.45</td></tr>
<tr><td>45</td><td>38</td><td>41.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">2.196</td><td>14</td><td>15</td><td>14.5</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>57</td><td>40</td><td>48.5</td><td colspan="8">Q=VsxAxα (m³/s) = 12.040</td></tr>
<tr><td>85</td><td>44</td><td>64.5</td><td colspan="8" rowspan="5">
</td></tr>
<tr><td>78</td><td>42</td><td>60</td></tr>
<tr><td>57</td><td>42</td><td>49.5</td></tr>
<tr><td>44.5</td><td>57</td><td>50.75</td></tr>
<tr><td>30</td><td>65</td><td>47.5</td></tr>
</table>

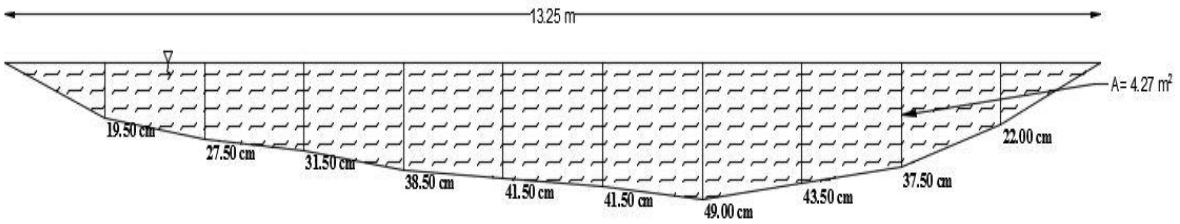
Tablo A.22 Şevay Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (20 Mayıs 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>60</td><td>55</td><td>57.5</td><td>6.05</td><td>6.24</td><td>6</td><td>6.10</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>8.11</td></tr>
<tr><td>65</td><td>55</td><td>60</td><td>Vs</td><td colspan="4">2.460</td><td>12.5</td><td>14</td><td>13.25</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>77</td><td>60</td><td>68.5</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 16.960</td></tr>
<tr><td>90</td><td>65</td><td>77.5</td><td colspan="9" rowspan="5">
</td></tr>
<tr><td>95</td><td>75</td><td>85</td></tr>
<tr><td>75</td><td>65</td><td>70</td></tr>
<tr><td>65</td><td>70</td><td>67.5</td></tr>
<tr><td>60</td><td>70</td><td>65</td></tr>
</table>

Tablo A.23 Şevay Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (24 Temmuz 2019)

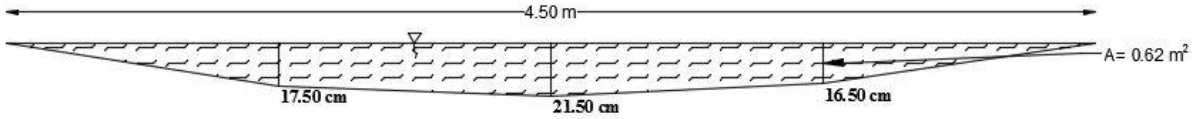
<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>27</td><td>24</td><td>25.5</td><td>9</td><td>9.5</td><td>10</td><td>9.50</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>1.16</td></tr>
<tr><td>38</td><td>30</td><td>34</td><td>Vs</td><td colspan="4">1.579</td><td>4.5</td><td>4.4</td><td>4.45</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>32</td><td>37</td><td>34.5</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 1.556</td></tr>
<tr><td>38</td><td>38</td><td>38</td><td colspan="9" rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td>32</td><td>39</td><td>35.5</td></tr>
<tr><td>21</td><td>32</td><td>26.5</td></tr>
<tr><td>10</td><td>23</td><td>16.5</td></tr>
</table>

Tablo A.24 Şevay Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (16 Aralık 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>12.5</td></tr>
<tr><td>18</td><td>21</td><td>19.5</td><td>8.05</td><td>5.59</td><td>8</td><td>7.21</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>4.27</td></tr>
<tr><td>21</td><td>34</td><td>27.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">1.733</td><td>13.7</td><td>12.8</td><td>13.25</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>26</td><td>37</td><td>31.5</td><td colspan="8">Q=VsxAxα (m³/s) = 6.289</td></tr>
<tr><td>42</td><td>35</td><td>38.5</td><td colspan="8" rowspan="7">
</td></tr>
<tr><td>45</td><td>38</td><td>41.5</td></tr>
<tr><td>45</td><td>44</td><td>44.5</td></tr>
<tr><td>48</td><td>50</td><td>49</td></tr>
<tr><td>47</td><td>40</td><td>43.5</td></tr>
<tr><td>42</td><td>33</td><td>37.5</td></tr>
<tr><td>32</td><td>12</td><td>22</td></tr>
</table>

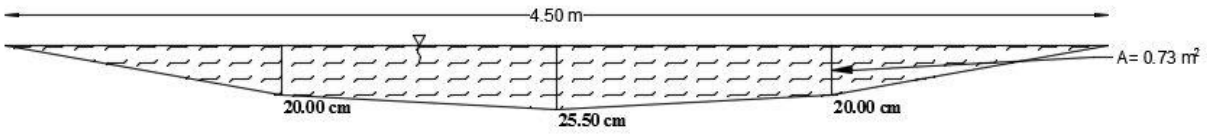
Tablo A.25 Sevek Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (22 Şubat 2019)

Menba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin genişliği (m)**			**Menba-Mansap arası mesafe (m)**	12
17	18	17.5		6.46	6	5.75	6.07	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin kesit alanı (m^2)**	0.62
21	22	21.5	**Vs**	1.977				4.5	4.5	4.5	**Düzeltme kat sayısı (α)**	0.85
17	16	16.5	**Q=VsxAx α (m^3/s)** = 1.041									

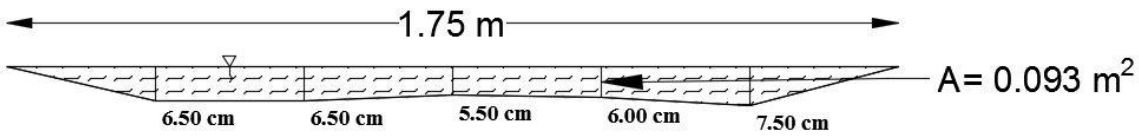


Tablo A.26 Sevek Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (18 Şubat 2019)

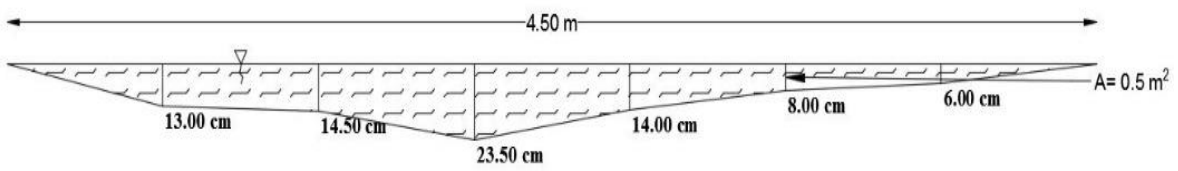
Menba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin genişliği (m)**			**Menba-mansap arası mesafe (m)**	12
25	15	20		7.85	7.19	7	7.35	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin kesit alanı (m^2)**	0.73
33	18	25.5	**Vs**	1.633				4.5	4.5	4.5	**Düzeltme kat sayısı (α)**	0.85
25	15	20	**Q=VsxAxα (m^3/s)** = 1.013									



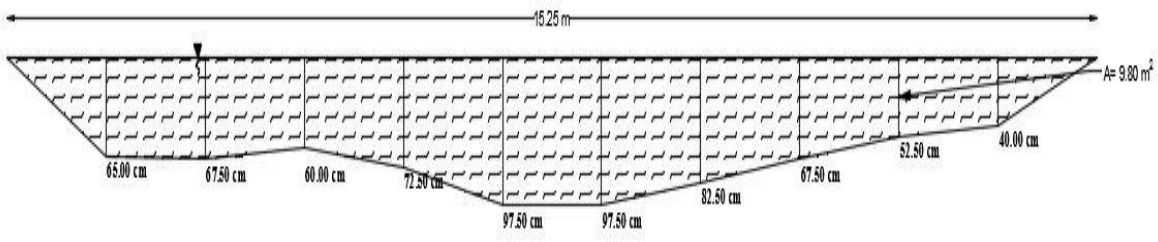
Tablo A.27 Sevek Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (25 Temmuz 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>12</td></tr>
<tr><td>8</td><td>5</td><td>6.5</td><td>10.95</td><td>10.79</td><td>10.3</td><td>10.68</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>0.093</td></tr>
<tr><td>7</td><td>6</td><td>6.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">1.124</td><td>2</td><td>1.5</td><td>1.75</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>5</td><td>6</td><td>5.5</td><td colspan="8">Q=VsxAxα (m³/s) = 0.088</td></tr>
<tr><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td colspan="8" rowspan="3">
</td></tr>
<tr><td>10</td><td>5</td><td>7.5</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
</table>

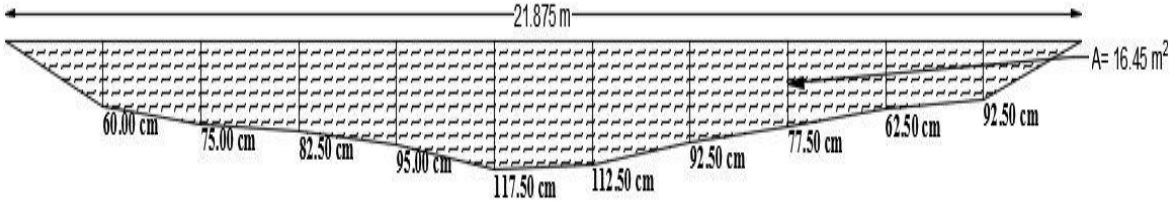
Tablo A.28 Sevek Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (13 Aralık 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>6</td><td>20</td><td>13</td><td>10</td><td>8.31</td><td>9.65</td><td>9.32</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>8</td><td>21</td><td>14.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">1.288</td><td>4.5</td><td>4.5</td><td>4.5</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>23</td><td>24</td><td>23.5</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 0.547</td></tr>
<tr><td>16</td><td>12</td><td>14</td><td colspan="9" rowspan="3">
</td></tr>
<tr><td>8</td><td>8</td><td>8</td></tr>
<tr><td>6</td><td>6</td><td>6</td></tr>
</table>

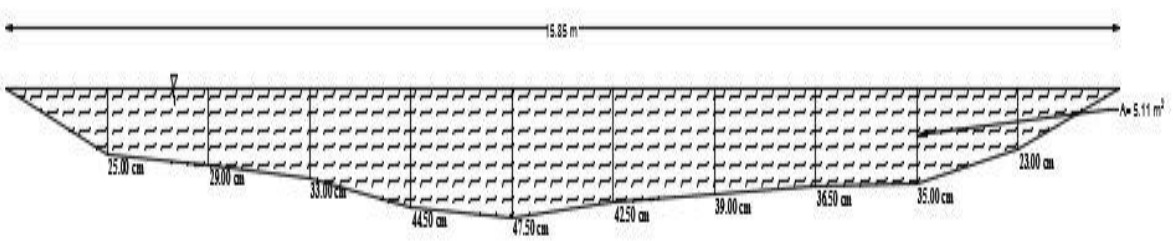
Tablo A.29 Han Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (22 Şubat 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>70</td><td>60</td><td>65</td><td>8.25</td><td>8.33</td><td>8.5</td><td>8.36</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>9.80</td></tr>
<tr><td>70</td><td>65</td><td>67.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">1.794</td><td>15.5</td><td>15</td><td>15.25</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>60</td><td>60</td><td>60</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 14.946</td></tr>
<tr><td>75</td><td>70</td><td>72.5</td><td colspan="9" rowspan="7">
</td></tr>
<tr><td>95</td><td>100</td><td>97.5</td></tr>
<tr><td>100</td><td>95</td><td>97.5</td></tr>
<tr><td>80</td><td>85</td><td>82.5</td></tr>
<tr><td>70</td><td>65</td><td>67.5</td></tr>
<tr><td>50</td><td>55</td><td>52.5</td></tr>
<tr><td>45</td><td>45</td><td>45</td></tr>
</table>

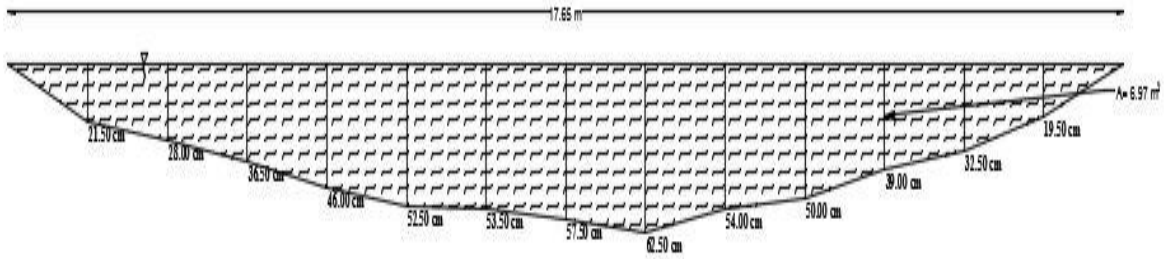
Tablo A.30 Han Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (18 Mayıs 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>60</td><td>60</td><td>60</td><td>6.27</td><td>6.32</td><td>6.7</td><td>6.43</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>16.45</td></tr>
<tr><td>75</td><td>75</td><td>75</td><td>Vs</td><td colspan="4">2.333</td><td>16.75</td><td>26</td><td>21.875</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>85</td><td>80</td><td>82.5</td><td colspan="8">Q=VsxAxα (m³/s) = 32.618</td></tr>
<tr><td>105</td><td>85</td><td>95</td><td colspan="8" rowspan="7">
</td></tr>
<tr><td>120</td><td>115</td><td>117.5</td></tr>
<tr><td>115</td><td>110</td><td>112.5</td></tr>
<tr><td>95</td><td>90</td><td>92.5</td></tr>
<tr><td>80</td><td>75</td><td>77.5</td></tr>
<tr><td>60</td><td>65</td><td>62.5</td></tr>
<tr><td>50</td><td>55</td><td>52.5</td></tr>
</table>

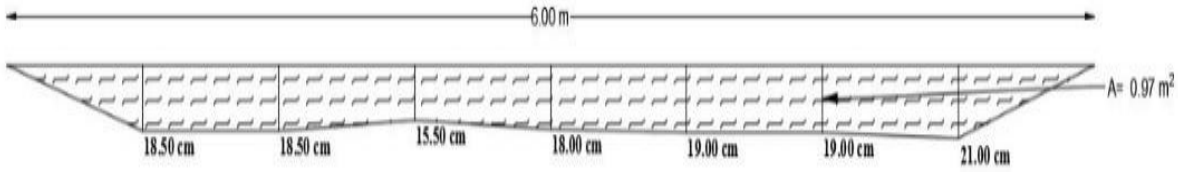
Tablo A.31 Han Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (25 Temmuz 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>20</td><td>30</td><td>25</td><td>14.15</td><td>16.05</td><td>15.19</td><td>15.13</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>5.11</td></tr>
<tr><td>25</td><td>33</td><td>29</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.991</td><td>15.7</td><td>16</td><td>15.85</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>30</td><td>36</td><td>33</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 4.306</td></tr>
<tr><td>44</td><td>45</td><td>44.5</td><td colspan="9" rowspan="7">
</td></tr>
<tr><td>51</td><td>44</td><td>47.5</td></tr>
<tr><td>45</td><td>40</td><td>42.5</td></tr>
<tr><td>40</td><td>38</td><td>39</td></tr>
<tr><td>35</td><td>38</td><td>36.5</td></tr>
<tr><td>35</td><td>35</td><td>35</td></tr>
<tr><td>25</td><td>21</td><td>23</td></tr>
</table>

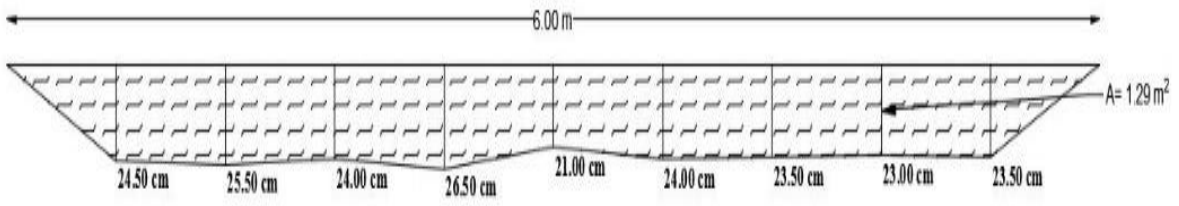
Tablo A.32 Han Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (13 Aralık 2019)

Menba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin genişliği (m)**			**Menba-mansap arası mesafe (m)**	15
15	28	21.5		9	8.37	8.58	8.65	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin kesit alanı (m²)**	6.97
20	36	28	**Vs**	1.734				17.8	17.5	17.65	**Düzeltme kat sayısı (α)**	0.85
28	45	36.5	**Q=VsxAxα (m³/s)** = 10.273									
43	49	46										
50	55	52.5										
53	54	53.5										
58	57	57.5										
60	65	62.5										
53	55	54										
50	50	50										
44	34	39										
35	30	32.5										
25	14	19.5										

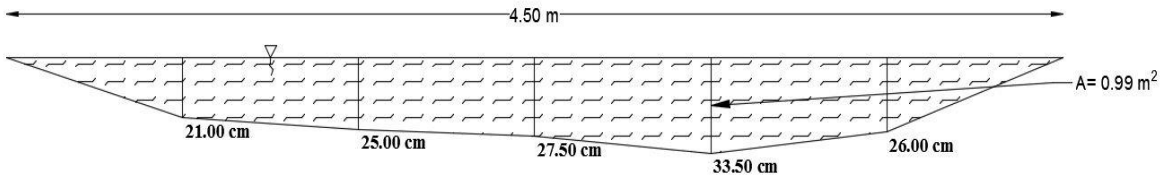
Tablo A.33 Başköy Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (26 Şubat 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>8</td></tr>
<tr><td>17</td><td>20</td><td>18.5</td><td>10.8</td><td>9.34</td><td>9.62</td><td>9.92</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>0.97</td></tr>
<tr><td>16</td><td>21</td><td>18.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.806</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>17</td><td>14</td><td>15.5</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 0.664</td></tr>
<tr><td>17</td><td>22</td><td>18</td><td colspan="9" rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td>15</td><td>23</td><td>19</td></tr>
<tr><td>18</td><td>20</td><td>19</td></tr>
<tr><td>18</td><td>24</td><td>21</td></tr>
</table>

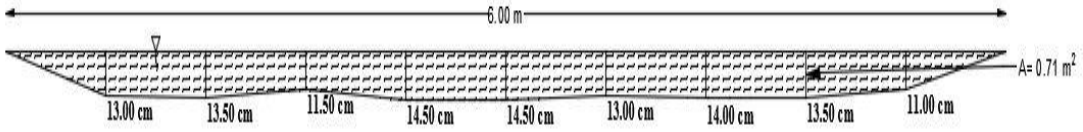
Tablo A.34 Başköy Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (14 Mayıs 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>8</td></tr>
<tr><td>25</td><td>24</td><td>24.5</td><td>8.1</td><td>8.25</td><td>8.86</td><td>8.40</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>1.29</td></tr>
<tr><td>26</td><td>25</td><td>25.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.952</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>24</td><td>24</td><td>24</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 1.043</td></tr>
<tr><td>26</td><td>27</td><td>26.5</td><td colspan="9" rowspan="5">
</td></tr>
<tr><td>20</td><td>22</td><td>21</td></tr>
<tr><td>24</td><td>24</td><td>24</td></tr>
<tr><td>23</td><td>24</td><td>23.5</td></tr>
<tr><td>23</td><td>23</td><td>23</td></tr>
<tr><td>22</td><td>25</td><td>23.5</td></tr>
</table>

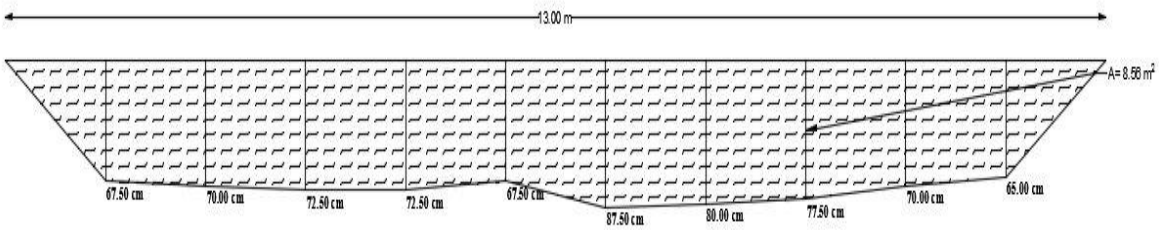
Tablo A.35 Başköy Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (26 Temmuz 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>34</td><td>8</td><td>21</td><td>42.75</td><td>43.55</td><td>44</td><td>43.43</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>0.99</td></tr>
<tr><td>33</td><td>17</td><td>25</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.345</td><td>4.2</td><td>4.8</td><td>4.5</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>36</td><td>19</td><td>27.5</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 0.290</td></tr>
<tr><td>50</td><td>17</td><td>33.5</td><td colspan="9" rowspan="3">
</td></tr>
<tr><td>41</td><td>11</td><td>26</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
</table>

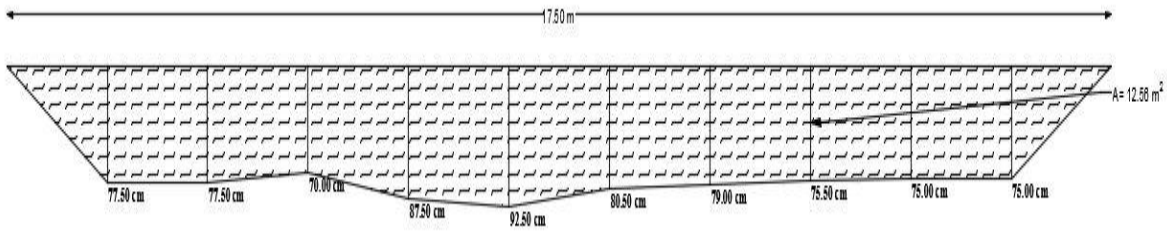
Tablo A.36 Başköy Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (14 Aralık 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>8</td></tr>
<tr><td>15</td><td>11</td><td>13</td><td>10.8</td><td>9.34</td><td>9.62</td><td>9.92</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>0.71</td></tr>
<tr><td>13</td><td>14</td><td>13.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">0.806</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>Düzeltme kat kayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>11</td><td>12</td><td>11.5</td><td colspan="10">Q=VsxAxα (m³/s) = 0.486</td></tr>
<tr><td>16</td><td>13</td><td>14.5</td><td colspan="10" rowspan="6">
</td></tr>
<tr><td>16</td><td>13</td><td>14.5</td></tr>
<tr><td>16</td><td>10</td><td>13</td></tr>
<tr><td>17</td><td>11</td><td>14</td></tr>
<tr><td>17</td><td>10</td><td>13.5</td></tr>
<tr><td>16</td><td>6</td><td>11</td></tr>
</table>

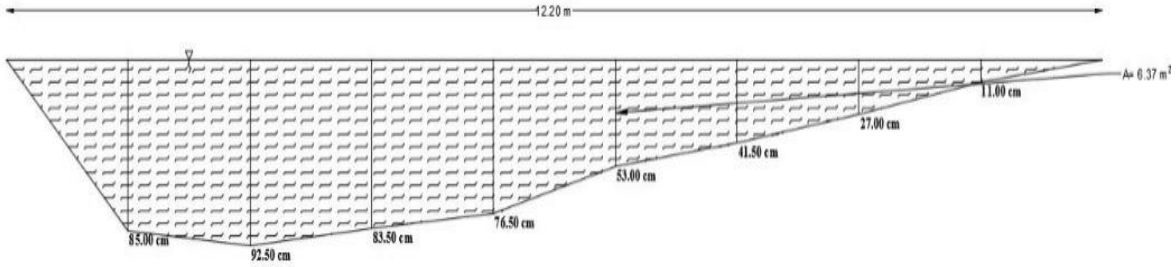
Tablo A.37 Çelebiyan Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (26 Şubat 2019)

Menba (cm)	**Mansap (cm)**	**Ort (cm)**	**Hız (sn)**	**1**	**2**	**3**	**Ort**	**Derenin genişliği (m)**			**Menba-mansap arası mesafe (m)**	15
70	65	67.5		9.45	9.5	9.1	9.35	**Menba**	**Mansap**	**Ort**	**Derenin kesit alanı (m²)**	8.56
70	70	70	**Vs**	1.604				12	14	13	**Düzeltme kat sayısı (α)**	0.85
75	70	72.5	**Q=VsxAxα (m³/s)** = 11.672									
70	75	72.5										
65	70	67.5										
85	80	82.5										
75	85	80										
80	75	77.5										
70	70	70										
70	60	65										

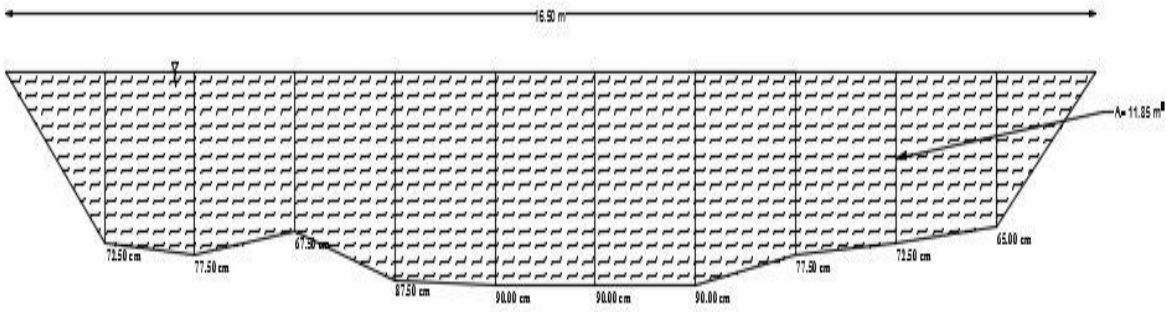
Tablo A.38 Çelebiyan Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (13 Mayıs 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>80</td><td>75</td><td>77.5</td><td>9.65</td><td>9.7</td><td>9.42</td><td>9.59</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>12.56</td></tr>
<tr><td>75</td><td>80</td><td>77.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">1.564</td><td>18</td><td>17</td><td>17.5</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>70</td><td>70</td><td>70</td><td colspan="8">Q=VsxAxα (m³/s) = 16.698</td></tr>
<tr><td>85</td><td>90</td><td>87.5</td><td colspan="8" rowspan="7">
</td></tr>
<tr><td>90</td><td>95</td><td>92.5</td></tr>
<tr><td>76</td><td>85</td><td>80.5</td></tr>
<tr><td>78</td><td>80</td><td>79</td></tr>
<tr><td>76</td><td>75</td><td>75.5</td></tr>
<tr><td>75</td><td>75</td><td>75</td></tr>
<tr><td>75</td><td>75</td><td>75</td></tr>
</table>

Tablo A.39 Çelebiyan Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (26 Temmuz 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>80</td><td>90</td><td>85</td><td>12.25</td><td>12.91</td><td>12.16</td><td>12.44</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>6.37</td></tr>
<tr><td>95</td><td>90</td><td>92.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">1.206</td><td>12.4</td><td>12</td><td>12.2</td><td>Düzeltme kat Sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>90</td><td>77</td><td>83.5</td><td colspan="8">Q=VsxAxα (m³/s) = 6.528</td></tr>
<tr><td>77</td><td>76</td><td>76.5</td><td colspan="8" rowspan="5">
</td></tr>
<tr><td>50</td><td>56</td><td>53</td></tr>
<tr><td>43</td><td>40</td><td>41.5</td></tr>
<tr><td>28</td><td>26</td><td>27</td></tr>
<tr><td>15</td><td>7</td><td>11</td></tr>
</table>

Tablo A.40 Çelebiyan Deresine ait ölçülmüş yüzeysel hız değerleri ve hesaplanmış debi değerleri (13 Aralık 2019)

<table>
<tr><td>Menba (cm)</td><td>Mansap (cm)</td><td>Ort (cm)</td><td rowspan="2">Hız (sn)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>Ort</td><td colspan="3">Derenin genişliği (m)</td><td>Menba-mansap arası mesafe (m)</td><td>15</td></tr>
<tr><td>70</td><td>75</td><td>72.5</td><td>9.65</td><td>9.5</td><td>9.68</td><td>9.61</td><td>Menba</td><td>Mansap</td><td>Ort</td><td>Derenin kesit alanı (m²)</td><td>11.85</td></tr>
<tr><td>75</td><td>80</td><td>77.5</td><td>Vs</td><td colspan="4">1.561</td><td>17</td><td>16</td><td>16.5</td><td>Düzeltme kat sayısı (α)</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>65</td><td>70</td><td>67.5</td><td colspan="9">Q=VsxAxα (m³/s) = 15.721</td></tr>
<tr><td>90</td><td>85</td><td>87.5</td><td colspan="9" rowspan="7">
</td></tr>
<tr><td>95</td><td>85</td><td>90</td></tr>
<tr><td>90</td><td>90</td><td>90</td></tr>
<tr><td>85</td><td>95</td><td>90</td></tr>
<tr><td>75</td><td>80</td><td>77.5</td></tr>
<tr><td>70</td><td>75</td><td>72.5</td></tr>
<tr><td>60</td><td>70</td><td>65</td></tr>
</table>

Tablo A.41 Zugut Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Şubat 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.02	0.02		0.05	0.626	0.626		0.990	0.80
	2	0.05	0.04		0.11	0.990	0.886		1.469	
	3	0.07	0.05		0.13	1.172	0.990		1.597	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.1	0.08		0.15	1.401	1.253		1.716	
	5		0.1				1.401			
	6		0.12				1.534			4.47
	7		0.14				1.657			
	8		0.15				1.716			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.16				1.772			
	10		0.18				1.879			9.81
	Ort					1.287				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.198
	1	0.02	0.01		0.02	0.626	0.443		0.626	
	2	0.05	0.02		0.05	0.990	0.626		0.990	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.07	0.04		0.08	1.172	0.886		1.253	
	4	0.08	0.06		0.1	1.253	1.085		1.401	
	5		0.08				1.253			
	6		0.1				1.401			
	7		0.12				1.534			**4.019**
	8		0.14				1.657			
	9		0.16				1.772			
	10		0.18				1.879			
	Ort					1.110				

Tablo A.42 Zugut Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Mayıs 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.1	0.02		0.12	1.401	0.626		1.534	0.80
	2	0.15	0.04		0.22	1.716	0.886		2.078	
	3	0.18	0.06		0.3	1.879	1.085		2.426	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.2	0.07		0.38	1.981	1.172		2.730	
	5		0.08				1.253			
	6		0.11				1.469			3.52
	7		0.13				1.597			
	8		0.16				1.772			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.19				1.931			
	10		0.22				2.078			9.81
	Ort					1.774				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.803
	1	0.1	0.03		0.18	1.401	0.767		1.879	
	2	0.13	0.04		0.26	1.597	0.886		2.259	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.19	0.06		0.35	1.931	1.085		2.620	
	4	0.21	0.07		0.38	2.030	1.172		2.730	
	5		0.09				1.329			
	6		0.1				1.401			
	7		0.13				1.597			
	8		0.15				1.716			**4.761**
	9		0.18				1.879			
	10		0.21				2.030			
	Ort					1.832				

Tablo A.43 Zugut Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Temmuz 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.02	0.01		0.04	0.626	0.443		0.886	0.80
	2	0.04	0.02		0.06	0.886	0.626		1.085	
	3	0.09	0.03		0.08	1.329	0.767		1.253	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.11	0.06		0.13	1.469	1.085		1.597	
	5	0.14	0.07		0.15	1.657	1.172		1.716	
	6		0.09				1.329			0.64
	7		0.11				1.469			
	8		0.13				1.597			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.13				1.597			
	10		0.15				1.716			9.81
	Ort					1.226				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.253
	1	0.03	0.01		0.05	0.767	0.443		0.990	
	2	0.05	0.02		0.06	0.990	0.626		1.085	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.09	0.04		0.09	1.329	0.886		1.329	
	4	0.12	0.06		0.13	1.534	1.085		1.597	
	5	0.15	0.08		0.16	1.716	1.253		1.772	
	6		0.1				1.401			
	7		0.11				1.469			
	8		0.13				1.597			**0.601**
	9		0.14				1.657			
	10		0.16				1.772			
	Ort					1.280				

Tablo A.44 Zugut Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Aralık 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.08	0.05	0.06	0.04	1.253	0.990	1.085	0.886	0.80
	2	0.12	0.07	0.11	0.05	1.534	1.172	1.469	0.990	
	3	0.14	0.1	0.14	0.08	1.657	1.401	1.657	1.253	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.16	0.15	0.16	0.1	1.772	1.716	1.772	1.401	
	5	0.2	0.18	0.19	0.12	1.981	1.879	1.931	1.534	
	6		0.24	0.27			2.170	2.302		2.72
	7		0.3	0.3			2.426	2.426		
	8		0.36	0.32			2.658	2.506		Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.42	0.4			2.871	2.801		
	10		0.47	0.45			3.037	2.971		9.81
	Ort					1.744				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.624
	1	0.03	0.02	0.05	0.05	0.767	0.626	0.990	0.990	
	2	0.05	0.03	0.07	0.08	0.990	0.767	1.172	1.253	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.08	0.04	0.09	0.16	1.253	0.886	1.329	1.772	
	4	0.1	0.06	0.12	0.18	1.401	1.085	1.534	1.879	
	5	0.13	0.08	0.15	0.22	1.597	1.253	1.716	2.078	
	6		0.1	0.17			1.401	1.826		
	7		0.15	0.22			1.716	2.078		
	8		0.22	0.27			2.078	2.302		**3.313**
	9		0.24	0.3			2.170	2.426		
	10		0.28	0.33			2.344	2.545		
	Ort					1.505				

Tablo A.45 Rapka Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Şubat 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.04	0.06		0.06	0.886	1.085		1.085	0.80
	2	0.08	0.08		0.08	1.253	1.253		1.253	
	3	0.11	0.1		0.12	1.469	1.401		1.534	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.15	0.12		0.17	1.716	1.534		1.826	
	5	0.18	0.14		0.2	1.879	1.657		1.981	
	6		0.15				1.716			2.54
	7		0.19				1.931			
	8		0.21				2.030			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.23				2.124			
	10		0.25				2.215			9.81
	Ort					1.556				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.519
MANSAP	1	0.02	0.08		0.06	0.626	1.253		1.085	
	2	0.05	0.1		0.09	0.990	1.401		1.329	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.07	0.13		0.1	1.172	1.597		1.401	
	4	0.11	0.15		0.11	1.469	1.716		1.469	
	5	0.13	0.17		0.16	1.597	1.826		1.772	
	6		0.19				1.931			
	7		0.21				2.030			**2.894**
	8		0.24				2.170			
	9		0.27				2.302			
	10		0.3				2.426			
	Ort					1.482				

Tablo A.46 Rapka Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Mayıs 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.1	0.05		0.15	1.401	0.990		1.716	0.80
	2	0.18	0.09		0.2	1.879	1.329		1.981	
	3	0.26	0.13		0.28	2.259	1.597		2.344	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.35	0.17		0.34	2.620	1.826		2.583	
	5		0.2				1.981			
	6		0.24				2.170			4.72
	7		0.28				2.344			
	8		0.33				2.545			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.37				2.694			
	10		0.42				2.871			9.81
	Ort					2.076				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	2.158
MANSAP	1	0.16	0.1		0.21	1.772	1.401		2.030	
	2	0.24	0.15		0.24	2.170	1.716		2.170	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.26	0.19		0.28	2.259	1.931		2.344	
	4	0.37	0.23		0.34	2.694	2.124		2.583	
	5		0.24				2.170			
	6		0.26				2.259			
	7		0.29				2.385			**7.641**
	8		0.34				2.583			
	9		0.37				2.694			
	10		0.43				2.905			
	Ort					2.240				

Tablo A.47 Rapka Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Temmuz 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.05	0.01		0.02	0.990	0.443		0.626	0.80
	2	0.09	0.02		0.04	1.329	0.626		0.886	
	3	0.13	0.03		0.05	1.597	0.767		0.990	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.15	0.04		0.06	1.716	0.886		1.085	
	5		0.05				0.990			
	6		0.06				1.085			0.25
	7		0.07				1.172			
	8		0.08				1.253			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.09				1.329			
	10		0.1				1.401			9.81
	Ort					1.100				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.102
	1	0.05	0.01		0.02	0.990	0.443		0.626	
	2	0.09	0.02		0.04	1.329	0.626		0.886	Q=VxAxα (m^3/s)
MANSAP	3	0.13	0.03		0.05	1.597	0.767		0.990	
	4	0.15	0.04		0.06	1.716	0.886		1.085	
	5		0.05				0.990			
	6		0.06				1.085			
	7		0.07				1.172			
	8		0.08				1.253			**0.206**
	9		0.1				1.401			
	10		0.11				1.469			
	Ort					1.104				

Tablo A.48 Rapka Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Aralık 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.06	0.06		0.08	1.085	1.085		1.253	0.80
	2	0.08	0.08		0.1	1.253	1.253		1.401	
	3	0.1	0.1		0.15	1.401	1.401		1.716	
	4	0.19	0.14		0.19	1.931	1.657		1.931	Ortalama kesit alanı (m^2)
	5	0.22	0.16		0.24	2.078	1.772		2.170	
	6		0.18				1.879			0.98
	7		0.2				1.981			
	8		0.22				2.078			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.24				2.170			
	10		0.26				2.259			9.81
	Ort					1.665				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.636
	1	0.04	0.12		0.08	0.886	1.534		1.253	
	2	0.06	0.14		0.09	1.085	1.657		1.329	Q=VxAxα (m^3/s)
MANSAP	3	0.07	0.18		0.1	1.172	1.879		1.401	
	4	0.11	0.19		0.11	1.469	1.931		1.469	
	5	0.14	0.2		0.18	1.657	1.981		1.879	
	6		0.23				2.124			
	7		0.27				2.302			
	8		0.29				2.385			**1.202**
	9		0.34				2.583			
	10		0.36				2.658			
	Ort					1.607				

Tablo A.49 Aşağıyankılı Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Şubat 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.02	0.02		0.02	0.626	0.626		0.626	0.80
	2	0.04	0.02		0.05	0.886	0.626		0.990	
	3	0.06	0.03		0.07	1.085	0.767		1.172	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.08	0.04		0.08	1.253	0.886		1.253	
	5		0.06				1.085			
	6		0.06				1.085			0.54
	7		0.07				1.172			
	8		0.08				1.253			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.1				1.401			
	10		0.12				1.534			9.81
	Ort					1.005				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.086
	1	0.06	0.01		0.02	1.085	0.443		0.626	
	2	0.08	0.02		0.04	1.253	0.626		0.886	Q=VxAxα (m^3/s)
MANSAP	3	0.1	0.03		0.08	1.401	0.767		1.253	
	4	0.13	0.04		0.1	1.597	0.886		1.401	
	5		0.06				1.085			
	6		0.08				1.253			
	7		0.1				1.401			
	8		0.12				1.534			**0.439**
	9		0.13				1.597			
	10		0.14				1.657			
	Ort					1.166				

Tablo A.50 Aşağıyankılı Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Mayıs 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.03	0.03		0.05	0.767	0.767		0.990	0.80
	2	0.05	0.07		0.09	0.990	1.172		1.329	
	3	0.07	0.09		0.13	1.172	1.329		1.597	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.08	0.12		0.14	1.253	1.534		1.657	
	5		0.14				1.657			
	6									0.59
	7									
	8									Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9									
	10									9.81
	Ort					1.243				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.286
	1	0.05	0.04		0.08	0.990	0.886		1.253	
	2	0.06	0.08		0.1	1.085	1.253		1.401	Q=VxAxα (m^3/s)
MANSAP	3	0.08	0.1		0.13	1.253	1.401		1.597	
	4	0.09	0.12		0.15	1.329	1.534		1.716	
	5		0.13				1.597			
	6									
	7									
	8									**0.569**
	9									
	10									
	Ort					1.329				

Tablo A.51 Aşağıyankılı Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Temmuz 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.01	0.01		0.01	0.443	0.443		0.443	0.80
	2	0.02	0.02		0.02	0.626	0.626		0.626	
	3	0.03	0.03		0.03	0.767	0.767		0.767	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.03	0.04		0.03	0.767	0.886		0.767	
	5		0.04				0.886			
	6									0.04
	7									
	8									Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9									
	10									9.81
	Ort					0.674				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	0.674
MANSAP	1	0.01	0.01		0.01	0.443	0.443		0.443	
	2	0.02	0.02		0.02	0.626	0.626		0.626	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.03	0.03		0.03	0.767	0.767		0.767	
	4	0.03	0.04		0.03	0.767	0.886		0.767	
	5		0.04				0.886			
	6									
	7									**0.019**
	8									
	9									
	10									
	Ort					0.674				

Tablo A.52 Aşağıyankılı Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Aralık 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.03	0.02		0.03	0.767	0.626		0.767	0.80
	2	0.05	0.03		0.05	0.990	0.767		0.990	
	3	0.08	0.04		0.07	1.253	0.886		1.172	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.1	0.06		0.08	1.401	1.085		1.253	
	5	0.11	0.09		0.09	1.469	1.329		1.329	
	6		0.1				1.401			0.25
	7		0.12				1.534			
	8		0.13				1.597			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.14				1.657			
	10		0.15				1.716			9.81
	Ort					1.179				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.191
MANSAP	1	0.08	0.01		0.02	1.253	0.443		0.626	
	2	0.1	0.02		0.04	1.401	0.626		0.886	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.11	0.03		0.05	1.469	0.767		0.990	
	4	0.13	0.04		0.06	1.597	0.886		1.085	
	5	0.15	0.06		0.08	1.716	1.085		1.253	
	6		0.08				1.253			
	7		0.1				1.401			**0.222**
	8		0.12				1.534			
	9		0.15				1.716			
	10		0.17				1.826			
	Ort					1.202				

Tablo A.53 Merga Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Şubat 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.02	0.02	0.04	0.03	0.626	0.626	0.886	0.767	0.80
	2	0.05	0.03	0.05	0.05	0.990	0.767	0.990	0.990	
	3	0.09	0.04	0.08	0.12	1.329	0.886	1.253	1.534	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.15	0.05	0.12	0.18	1.716	0.990	1.534	1.879	
	5	0.18	0.07	0.15	0.24	1.879	1.172	1.716	2.170	
	6		0.09	0.17			1.329	1.826		5.62
	7		0.1	0.2			1.401	1.981		
	8		0.13	0.23			1.597	2.124		Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.16	0.25			1.772	2.215		
	10		0.2	0.31			1.981	2.466		9.81
	Ort					1.431				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.443
	1	0.02	0.02	0.04	0.03	0.626	0.626	0.886	0.767	
	2	0.04	0.03	0.06	0.06	0.886	0.767	1.085	1.085	$Q=VxAx\alpha$ (m^3/s)
	3	0.08	0.04	0.08	0.12	1.253	0.886	1.253	1.534	
	4	0.15	0.07	0.11	0.19	1.716	1.172	1.469	1.931	
	5	0.17	0.09	0.15	0.25	1.826	1.329	1.716	2.215	
	6		0.1	0.18			1.401	1.879		
	7		0.12	0.2			1.534	1.981		**6.084**
	8		0.15	0.23			1.716	2.124		
	9		0.18	0.26			1.879	2.259		
	10		0.22	0.32			2.078	2.506		
	Ort					1.455				

Tablo A.54 Merga Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Mayıs 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.13	0.1	0.09	0.14	1.597	1.401	1.329	1.657	0.80
	2	0.23	0.14	0.11	0.23	2.124	1.657	1.469	2.124	
	3	0.33	0.17	0.15	0.33	2.545	1.826	1.716	2.545	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.43	0.2	0.18	0.43	2.905	1.981	1.879	2.905	
	5		0.24	0.22			2.170	2.078		
	6		0.29	0.27			2.385	2.302		6.82
	7		0.32	0.39			2.506	2.766		
	8		0.37	0.32			2.694	2.506		Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.4	0.36			2.801	2.658		
	10		0.43	0.42			2.905	2.871		9.81
	Ort					2.247				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	2.277
	1	0.19	0.14	0.1	0.14	1.931	1.657	1.401	1.657	
	2	0.21	0.22	0.14	0.23	2.030	2.078	1.657	2.124	$Q=VxAx\alpha$ (m^3/s)
	3	0.34	0.18	0.17	0.34	2.583	1.879	1.826	2.583	
	4	0.44	0.24	0.22	0.42	2.938	2.170	2.078	2.871	
	5		0.25	0.24			2.215	2.170		
	6		0.29	0.29			2.385	2.385		
	7		0.35	0.3			2.620	2.426		**11.648**
	8		0.38	0.34			2.730	2.583		
	9		0.41	0.36			2.836	2.658		
	10		0.44	0.4			2.938	2.801		
	Ort					2.307				

Tablo A.55 Merga Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Temmuz 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.03	0.04	0.06	0.05	0.767	0.886	1.085	0.990	0.80
	2	0.06	0.07	0.08	0.07	1.085	1.172	1.253	1.172	
	3	0.1	0.08	0.12	0.08	1.401	1.253	1.534	1.253	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.13	0.1	0.13	0.09	1.597	1.401	1.597	1.329	
	5	0.12	0.15	0.16	0.1	1.534	1.716	1.772	1.401	
	6	0.16	0.19	0.2	0.13	1.772	1.931	1.981	1.597	2.77
	7	0.22	0.21	0.24	0.14	2.078	2.030	2.170	1.657	
	8	0.24	0.26	0.26	0.16	2.170	2.259	2.259	1.772	Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9	0.27	0.29	0.3	0.18	2.302	2.385	2.426	1.879	
	10	0.3	0.32	0.34	0.22	2.426	2.506	2.583	2.078	9.81
	Ort					1.711				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.709
	1	0.03	0.04	0.06	0.06	0.767	0.886	1.085	1.085	
	2	0.06	0.07	0.08	0.07	1.085	1.172	1.253	1.172	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.11	0.08	0.13	0.09	1.469	1.253	1.597	1.329	
	4	0.13	0.08	0.13	0.09	1.597	1.253	1.597	1.329	
	5	0.12	0.1	0.16	0.1	1.534	1.401	1.772	1.401	
	6	0.18	0.19	0.21	0.13	1.879	1.931	2.030	1.597	
	7	0.22	0.2	0.24	0.14	2.078	1.981	2.170	1.657	
	8	0.26	0.24	0.26	0.15	2.259	2.170	2.259	1.716	**3.550**
	9	0.27	0.29	0.29	0.18	2.302	2.385	2.385	1.879	
	10	0.36	0.31	0.31	0.2	2.658	2.466	2.466	1.981	
	Ort					1.707				

Tablo A.56 Merga Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Aralık 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.17	0.02	0.02	0.08	1.826	0.626	0.626	1.253	0.80
	2	0.24	0.04	0.03	0.1	2.170	0.886	0.767	1.401	
	3	0.28	0.06	0.04	0.18	2.344	1.085	0.886	1.879	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.36	0.09	0.08	0.22	2.658	1.329	1.253	2.078	
	5	0.38	0.1	0.1	0.26	2.730	1.401	1.401	2.259	
	6		0.13	0.13			1.597	1.597		5.24
	7		0.17	0.19			1.826	1.931		
	8		0.24	0.25			2.170	2.215		Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.27	0.33			2.302	2.545		
	10		0.4	0.35			2.801	2.620		9.81
	Ort					1.826				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.675
	1	0.02	0.02	0.08	0.03	0.626	0.626	1.253	0.767	
	2	0.04	0.03	0.1	0.07	0.886	0.767	1.401	1.172	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.09	0.04	0.16	0.12	1.329	0.886	1.772	1.534	
	4	0.14	0.04	0.18	0.19	1.657	0.886	1.879	1.931	
	5	0.18	0.06	0.19	0.28	1.879	1.085	1.931	2.344	
	6		0.09	0.28			1.329	2.344		
	7		0.1	0.3			1.401	2.426		**4.688**
	8		0.11	0.32			1.469	2.506		
	9		0.13	0.36			1.597	2.658		
	10		0.15	0.41			1.716	2.836		
	Ort					1.525				

Tablo A.57 Küllük Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Şubat 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.03	0.02		0.05	0.767	0.626		0.990	0.80
	2	0.08	0.03		0.08	1.253	0.767		1.253	
	3	0.1	0.05		0.11	1.401	0.990		1.469	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.15	0.07		0.13	1.716	1.172		1.597	
	5	0.18	0.1		0.15	1.879	1.401		1.716	
	6		0.12				1.534			2.41
	7		0.15				1.716			
	8		0.18				1.879			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.22				2.078			
	10		0.24				2.170			9.81
	Ort					1.413				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.432
MANSAP	1	0.05	0.02		0.05	0.990	0.626		0.990	
	2	0.1	0.03		0.08	1.401	0.767		1.253	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.13	0.04		0.11	1.597	0.886		1.469	
	4	0.19	0.06		0.13	1.931	1.085		1.597	
	5	0.22	0.08		0.16	2.078	1.253		1.772	
	6		0.1				1.401			
	7		0.12				1.534			**2.589**
	8		0.15				1.716			
	9		0.21				2.030			
	10		0.22				2.078			
	Ort					1.451				

Tablo A.58 Küllük Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Mayıs 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.14	0.07		0.15	1.657	1.172		1.716	0.80
	2	0.24	0.13		0.28	2.170	1.597		2.344	
	3	0.34	0.18		0.4	2.583	1.879		2.801	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.44	0.23		0.45	2.938	2.124		2.971	
	5		0.29				2.385			
	6		0.29				2.385			2.23
	7		0.33				2.545			
	8		0.37				2.694			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.4				2.801			
	10		0.45				2.971			9.81
	Ort					2.350				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	2.331
MANSAP	1	0.08	0.08		0.13	1.253	1.253		1.597	
	2	0.23	0.13		0.24	2.124	1.597		2.170	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.34	0.2		0.41	2.583	1.981		2.836	
	4	0.45	0.24		0.46	2.971	2.170		3.004	
	5		0.29				2.385			
	6		0.31				2.466			
	7		0.34				2.583			**3.899**
	8		0.38				2.730			
	9		0.42				2.871			
	10		0.46				3.004			
	Ort					2.312				

Tablo A.59 Küllük Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Temmuz 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.06	0.06		0.1	1.085	1.085		1.401	0.80
	2	0.14	0.08		0.18	1.657	1.253		1.879	
	3	0.18	0.1		0.23	1.879	1.401		2.124	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.21	0.11		0.25	2.030	1.469		2.215	
	5		0.12				1.534			
	6		0.14				1.657			1.19
	7		0.16				1.772			
	8		0.18				1.879			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.2				1.981			
	10		0.22				2.078			9.81
	Ort					1.726				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.759
	1	0.07	0.06		0.13	1.172	1.085		1.597	
	2	0.15	0.1		0.19	1.716	1.401		1.931	Q=VxAxα (m^3/s)
MANSAP	3	0.19	0.12		0.22	1.931	1.534		2.078	
	4	0.23	0.13		0.25	2.124	1.597		2.215	
	5		0.14				1.657			
	6		0.15				1.716			
	7		0.16				1.772			
	8		0.2				1.981			**1.570**
	9		0.21				2.030			
	10		0.23				2.124			
	Ort					1.793				

Tablo A.60 Küllük Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Aralık 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.03	0.03		0.03	0.767	0.767		0.767	0.80
	2	0.08	0.06		0.06	1.253	1.085		1.085	
	3	0.14	0.08		0.08	1.657	1.253		1.253	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.18	0.09		0.1	1.879	1.329		1.401	
	5	0.23	0.1		0.13	2.124	1.401		1.597	
	6		0.11				1.469			1.12
	7		0.12				1.534			
	8		0.13				1.597			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.16				1.772			
	10		0.17				1.826			9.81
	Ort					1.386				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.463
	1	0.06	0.04		0.05	1.085	0.886		0.990	
	2	0.1	0.08		0.08	1.401	1.253		1.253	Q=VxAxα (m^3/s)
MANSAP	3	0.14	0.09		0.1	1.657	1.329		1.401	
	4	0.19	0.1		0.13	1.931	1.401		1.597	
	5	0.21	0.13		0.15	2.030	1.597		1.716	
	6		0.14				1.657			
	7		0.17				1.826			
	8		0.18				1.879			**1.228**
	9		0.22				2.078			
	10		0.24				2.170			
	Ort					1.539				

Tablo A.61 Şevay Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Şubat 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.08	0.06	0.08	0.1	1.253	1.085	1.253	1.401	0.80
	2	0.11	0.08	0.1	0.15	1.469	1.253	1.401	1.716	
	3	0.15	0.1	0.13	0.2	1.716	1.401	1.597	1.981	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.25	0.12	0.16	0.26	2.215	1.534	1.772	2.259	
	5	0.33	0.16	0.18	0.3	2.545	1.772	1.879	2.426	
	6		0.2	0.22			1.981	2.078		6.45
	7		0.22	0.25			2.078	2.215		
	8		0.26	0.29			2.259	2.385		Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.34	0.34			2.583	2.583		
	10		0.44	0.43			2.938	2.905		9.81
	Ort					1.922				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.951
	1	0.08	0.06	0.08	0.1	1.253	1.085	1.253	1.401	
	2	0.1	0.1	0.11	0.15	1.401	1.401	1.469	1.716	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.16	0.11	0.15	0.2	1.772	1.469	1.716	1.981	
	4	0.26	0.14	0.18	0.25	2.259	1.657	1.879	2.215	
	5	0.36	0.15	0.2	0.3	2.725	1.759	2.031	2.487	
	6		0.2	0.25			2.031	2.270		
	7		0.22	0.28			2.130	2.403		**9.438**
	8		0.25	0.3			2.270	2.487		
	9		0.35	0.36			2.686	2.725		
	10		0.45	0.44			3.046	3.012		
	Ort					1.979				

Tablo A.62 Şevay Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Mayıs 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.09	0.08		0.15	1.329	1.253		1.716	0.80
	2	0.13	0.1		0.19	1.597	1.401		1.931	
	3	0.15	0.12		0.26	1.716	1.534		2.259	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.18	0.14		0.3	1.879	1.657		2.426	
	5		0.17				1.826			
	6		0.2				1.981			8.11
	7		0.23				2.124			
	8		0.27				2.302			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.36				2.658			
	10		0.46				3.004			9.81
	Ort					1.895				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.891
	1	0.08	0.03		0.14	1.253	0.767		1.657	
	2	0.11	0.08		0.28	1.469	1.253		2.344	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.14	0.11		0.25	1.657	1.469		2.215	
	4	0.19	0.13		0.32	1.931	1.597		2.506	
	5		0.15				1.759			
	6		0.2				2.031			
	7		0.23				2.178			
	8		0.25				2.270			**11.506**
	9		0.35				2.686			
	10		0.45				3.046			
	Ort					1.887				

Tablo A.63 Şevay Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Temmuz 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.12	0.03		0.06	1.534	0.767		1.085	0.80
	2	0.15	0.06		0.08	1.716	1.085		1.253	
	3	0.17	0.07		0.1	1.826	1.172		1.401	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.19	0.09		0.13	1.931	1.329		1.597	
	5	0.22	0.12		0.15	2.078	1.534		1.716	
	6		0.14				1.657			1.16
	7		0.15				1.716			
	8		0.17				1.826			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.19				1.931			
	10		0.21				2.030			9.81
	Ort					1.577				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.658
	1	0.17	0.04		0.09	1.826	0.886		1.329	
	2	0.18	0.06		0.12	1.879	1.085		1.534	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.21	0.08		0.15	2.030	1.253		1.716	
	4	0.22	0.09		0.16	2.078	1.329		1.772	
	5	0.25	0.12		0.19	2.270	1.573		1.979	
	6		0.13				1.637			
	7		0.15				1.759			**1.442**
	8		0.17				1.872			
	9		0.18				1.927			
	10		0.2				2.031			
	Ort					1.739				

Tablo A.64 Şevay Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Aralık 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.12	0.1	0.06	0.16	1.534	1.401	1.085	1.772	0.80
	2	0.16	0.13	0.08	0.26	1.772	1.597	1.253	2.259	
	3	0.2	0.16	0.1	0.3	1.981	1.772	1.401	2.426	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.26	0.19	0.13	0.36	2.259	1.931	1.597	2.658	
	5	0.3	0.21	0.16	0.42	2.426	2.030	1.772	2.871	
	6		0.26	0.18			2.259	1.879		4.27
	7		0.32	0.27			2.506	2.302		
	8		0.37	0.34			2.694	2.583		Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.41	0.38			2.836	2.730		
	10		0.48	0.43			3.069	2.905		9.81
	Ort					2.137				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	2.098
	1	0.17	0.08	0.1	0.09	1.826	1.253	1.401	1.329	
	2	0.19	0.1	0.15	0.1	1.931	1.401	1.716	1.401	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.26	0.12	0.17	0.13	2.259	1.534	1.826	1.597	
	4	0.36	0.14	0.2	0.2	2.658	1.657	1.981	1.981	
	5	0.42	0.17	0.24	0.05	2.943	1.872	2.225	1.015	
	6		0.2	0.27			2.031	2.360		
	7		0.23	0.29			2.178	2.445		**6.719**
	8		0.27	0.3			2.360	2.487		
	9		0.36	0.37			2.725	2.762		
	10		0.46	0.42			3.080	2.943		
	Ort					2.058				

Tablo A.65 Sevek Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Şubat 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.04	0.04		0.02	0.886	0.886		0.626	0.80
	2	0.06	0.06		0.05	1.085	1.085		0.990	
	3	0.1	0.08		0.1	1.401	1.253		1.401	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.12	0.1		0.12	1.534	1.401		1.534	
	5		0.12				1.534			
	6		0.14				1.657			0.62
	7		0.16				1.772			
	8		0.18				1.879			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.2				1.981			
	10		0.22				2.078			9.81
	Ort					1.305690				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.261
	1	0.02	0.04		0.02	0.626	0.886		0.626	
	2	0.05	0.05		0.05	0.990	0.990		0.990	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.08	0.06		0.1	1.253	1.085		1.401	
	4	0.1	0.08		0.12	1.401	1.253		1.534	
	5		0.1				1.401			
	6		0.12				1.534			
	7		0.14				1.657			**0.585**
	8		0.16				1.772			
	9		0.18				1.879			
	10		0.2				1.981			
	Ort					1.216				

Tablo A.66 Sevek Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Mayıs 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.18	0.15		0.2	1.879	1.716		1.981	0.80
	2	0.2	0.19		0.28	1.981	1.931		2.344	
	3	0.25	0.23		0.3	2.215	2.124		2.426	Ortalama kesit Alanı (m^2)
	4	0.3	0.27		0.35	2.426	2.302		2.620	
	5		0.32				2.506			
	6									0.73
	7									
	8									Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9									
	10									9.81
	Ort					2.194				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	2.285
	1	0.23	0.18		0.3	2.124	1.879		2.426	
	2	0.29	0.2		0.34	2.385	1.981		2.583	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.3	0.25		0.36	2.426	2.215		2.658	
	4	0.31	0.28		0.38	2.466	2.344		2.730	
	5		0.31				2.466			
	6									
	7									**1.251**
	8									
	9									
	10									
	Ort					2.375				

Tablo A.67 Sevek Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Temmuz 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.01	0.02		0.01	0.443	0.626		0.443	0.80
	2	0.03	0.04		0.03	0.767	0.886		0.767	
	3	0.04	0.04		0.03	0.886	0.886		0.767	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.05	0.05		0.05	0.990	0.990		0.990	
	5		0.05				0.990			
	6		0.06				1.085			0.09
	7									
	8									Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9									
	10									9.81
	Ort					0.808				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	0.833
	1	0.02	0.02		0.01	0.626	0.626		0.443	
	2	0.05	0.04		0.03	0.990	0.886		0.767	Q=VxAxα (m^3/s)
MANSAP	3	0.05	0.04		0.03	0.990	0.886		0.767	
	4	0.06	0.05		0.05	1.085	0.990		0.990	
	5		0.05				0.990			
	6		0.06				1.085			
	7									
	8									**0.055**
	9									
	10									
	Ort					0.858				

Tablo A.68 Sevek Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Aralık 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.02	0.04		0.05	0.626	0.886		0.990	0.80
	2	0.03	0.05		0.06	0.767	0.990		1.085	
	3	0.04	0.06		0.08	0.886	1.085		1.253	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.06	0.08		0.09	1.085	1.253		1.329	
	5	0.08	0.1		0.1	1.253	1.401		1.401	
	6		0.12				1.534			0.5
	7		0.13				1.597			
	8		0.14				1.657			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.15				1.716			
	10		0.19				1.931			9.81
	Ort					1.180				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.208
	1	0.02	0.04		0.05	0.626	0.886		0.990	
	2	0.03	0.05		0.06	0.767	0.990		1.085	Q=VxAxα (m^3/s)
MANSAP	3	0.04	0.06		0.08	0.886	1.085		1.253	
	4	0.06	0.08		0.09	1.085	1.253		1.329	
	5	0.08	0.1		0.1	1.253	1.401		1.401	
	6		0.12				1.534			
	7		0.13				1.597			
	8		0.14				1.657			**0.453**
	9		0.15				1.716			
	10		0.19				1.931			
	Ort					1.237				

Tablo A.69 Han Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Şubat 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.06	0.06	0.08	0.06	1.085	1.085	1.253	1.085	0.80
	2	0.08	0.1	0.11	0.11	1.253	1.401	1.469	1.469	
	3	0.02	0.13	0.14	0.14	0.626	1.597	1.657	1.657	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.18	0.16	0.18	0.18	1.879	1.772	1.879	1.879	
	5	0.2	0.18	0.21	0.2	1.981	1.879	2.030	1.981	
	6		0.2	0.25			1.981	2.215		9.80
	7		0.24	0.28			2.170	2.344		
	8		0.26	0.3			2.259	2.426		Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.28	0.34			2.344	2.583		
	10		0.3	0.36			2.426	2.658		9.81
	Ort					1.730				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.795
	1	0.06	0.08	0.11	0.07	1.085	1.253	1.469	1.172	
	2	0.08	0.12	0.16	0.11	1.253	1.534	1.772	1.469	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.13	0.13	0.18	0.15	1.597	1.597	1.879	1.716	
	4	0.18	0.17	0.22	0.2	1.879	1.826	2.078	1.981	
	5	0.22	0.2	0.24	0.24	2.078	1.981	2.170	2.170	
	6		0.22	0.25			2.078	2.215		
	7		0.24	0.27			2.170	2.302		**13.195**
	8		0.28	0.34			2.344	2.583		
	9		0.3	0.36			2.426	2.658		
	10		0.33	0.38			2.545	2.730		
	Ort					1.860				

Tablo A.70 Han Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Mayıs 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.18	0.1		0.13	1.879	1.401		1.597	0.80
	2	0.2	0.12		0.18	1.981	1.534		1.879	
	3	0.25	0.16		0.23	2.215	1.772		2.124	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.32	0.18		0.35	2.506	1.879		2.620	
	5	0.35	0.23		0.4	2.620	2.124		2.801	
	6		0.29				2.385			16.45
	7		0.33				2.545			
	8		0.37				2.694			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.4				2.801			
	10		0.43				2.905			9.81
	Ort					2.216				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	2.252
	1	0.19	0.1		0.13	1.931	1.401		1.597	
	2	0.23	0.12		0.2	2.124	1.534		1.981	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.29	0.16		0.24	2.385	1.772		2.170	
	4	0.34	0.2		0.39	2.583	1.981		2.766	
	5	0.37	0.25		0.43	2.694	2.215		2.905	
	6		0.3				2.426			
	7		0.34				2.583			
	8		0.38				2.730			**27.795**
	9		0.4				2.801			
	10		0.45				2.971			
	Ort					2.289				

Tablo A.71 Han Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Temmuz 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.08	0.06	0.05	0.06	1.253	1.085	0.990	1.085	0.80
	2	0.12	0.09	0.08	0.08	1.534	1.329	1.253	1.253	
	3	0.22	0.1	0.11	0.11	2.078	1.401	1.469	1.469	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.24	0.15	0.13	0.18	2.170	1.716	1.597	1.879	
	5	0.28	0.18	0.15	0.2	2.344	1.879	1.716	1.981	
	6		0.2	0.18			1.981	1.879		5.11
	7		0.25	0.2			2.215	1.981		
	8		0.33	0.25			2.545	2.215		Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.36	0.29			2.658	2.385		
	10		0.38	0.33			2.730	2.545		9.81
	Ort					1.791				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.787
	1	0.1	0.06	0.06	0.05	1.401	1.085	1.085	0.990	
	2	0.15	0.07	0.08	0.09	1.716	1.172	1.253	1.329	$Q=VxAx\alpha$ (m^3/s)
	3	0.22	0.09	0.1	0.12	2.078	1.329	1.401	1.534	
	4	0.24	0.11	0.13	0.17	2.170	1.469	1.597	1.826	
	5	0.3	0.14	0.16	0.19	2.426	1.657	1.772	1.931	
	6		0.17	0.18			1.826	1.879		
	7		0.18	0.2			1.879	1.981		**6.849**
	8		0.33	0.25			2.545	2.215		
	9		0.38	0.28			2.730	2.344		
	10		0.4	0.32			2.801	2.506		
	Ort					1.783				

Tablo A.72 Han Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Aralık 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.04	0.1	0.15	0.13	0.886	1.401	1.716	1.597	0.80
	2	0.09	0.13	0.17	0.18	1.329	1.597	1.826	1.879	
	3	0.12	0.16	0.19	0.23	1.534	1.772	1.931	2.124	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.14	0.18	0.2	0.29	1.657	1.879	1.981	2.385	
	5	0.17	0.2	0.23	0.38	1.826	1.981	2.124	2.730	
	6		0.22	0.26			2.078	2.259		6.97
	7		0.25	0.29			2.215	2.385		
	8		0.28	0.34			2.344	2.583		Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.3	0.37			2.426	2.694		
	10		0.35	0.39			2.620	2.766		9.81
	Ort					1.961				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.932
	1	0.06	0.1	0.11	0.08	1.085	1.401	1.469	1.253	
	2	0.08	0.13	0.16	0.11	1.253	1.597	1.772	1.469	$Q=VxAx\alpha$ (m^3/s)
	3	0.13	0.12	0.18	0.14	1.597	1.534	1.879	1.657	
	4	0.18	0.18	0.22	0.27	1.879	1.879	2.078	2.302	
	5	0.24	0.2	0.24	0.3	2.170	1.981	2.170	2.426	
	6		0.23	0.25			2.124	2.215		
	7		0.25	0.27			2.215	2.302		**10.104**
	8		0.28	0.34			2.344	2.583		
	9		0.3	0.36			2.426	2.658		
	10		0.35	0.38			2.620	2.730		
	Ort					1.903				

Tablo A.73 Başköy Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Şubat 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.03	0.01		0.04	0.767	0.443		0.886	0.80
	2	0.05	0.02		0.05	0.990	0.626		0.990	
	3	0.06	0.03		0.08	1.085	0.767		1.253	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.09	0.04		0.1	1.329	0.886		1.401	
	5	0.1	0.06		0.11	1.401	1.085		1.469	
	6		0.08				1.253			0.97
	7		0.09				1.329			
	8		0.1				1.401			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.13				1.597			
	10		0.15				1.716			9.81
	Ort					1.141				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.153
MANSAP	1	0.04	0.01		0.04	0.886	0.443		0.886	
	2	0.06	0.02		0.05	1.085	0.626		0.990	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.07	0.03		0.08	1.172	0.767		1.253	
	4	0.09	0.04		0.1	1.329	0.886		1.401	
	5	0.11	0.06		0.12	1.469	1.085		1.534	
	6		0.08				1.253			
	7		0.09				1.329			
	8		0.1				1.401			**0.839**
	9		0.12				1.534			
	10		0.14				1.657			
	Ort					1.166				

Tablo A.74 Başköy Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Mayıs 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.05	0.03		0.06	0.990	0.767		1.085	0.80
	2	0.09	0.05		0.1	1.329	0.990		1.401	
	3	0.12	0.07		0.12	1.534	1.172		1.534	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.15	0.09		0.15	1.716	1.329		1.716	
	5	0.18	0.11		0.18		1.469			
	6		0.15				1.716			1.29
	7		0.18				1.879			
	8		0.2				1.981			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.22				2.078			
	10		0.25				2.215			9.81
	Ort					1.461				
										Ortalama hız (m/s)
	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.414
MANSAP	1	0.05	0.02		0.04	0.990	0.626		0.886	
	2	0.08	0.04		0.08	1.253	0.886		1.253	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.11	0.06		0.1	1.469	1.085		1.401	
	4	0.15	0.08		0.13	1.716	1.253		1.597	
	5		0.1				1.401			
	6		0.12				1.534			
	7		0.15				1.716			
	8		0.18				1.879			**1.368**
	9		0.2				1.981			
	10		0.25				2.215			
	Ort					1.366				

Tablo A.75 Başköy Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Temmuz 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.03	0.03		0.02	0.767	0.767		0.626	0.80
	2	0.08	0.04		0.06	1.253	0.886		1.085	
	3	0.13	0.06		0.08	1.597	1.085		1.253	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.15	0.07		0.1	1.716	1.172		1.401	
	5		0.08				1.253			
	6		0.09				1.329			0.99
	7		0.12				1.534			
	8		0.15				1.716			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.19				1.931			
	10		0.21				2.030			9.81
	Ort					1.264				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.278
	1	0.04	0.03		0.04	0.886	0.767		0.886	
	2	0.09	0.04		0.06	1.329	0.886		1.085	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.13	0.06		0.07	1.597	1.085		1.172	
	4	0.16	0.07		0.09	1.772	1.172		1.329	
	5		0.08				1.253			
	6		0.1				1.401			
	7		0.11				1.469			
	8		0.14				1.657			**0.949**
	9		0.18				1.879			
	10		0.22				2.078			
	Ort					1.292				

Tablo A.76 Başköy Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Aralık 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.04	0.05		0.02	0.886	0.990		0.626	0.80
	2	0.06	0.06		0.03	1.085	1.085		0.767	
	3	0.08	0.07		0.04	1.253	1.172		0.886	
	4	0.13	0.08		0.05	1.597	1.253		0.990	Ortalama kesit alanı (m^2)
	5	0.17	0.09		0.07	1.826	1.329		1.172	
	6		0.1				1.401			
	7		0.12				1.534			0.71
	8		0.15				1.716			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.16				1.772			
	10		0.18				1.879			9.81
	Ort					1.210				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	1.186
	1	0.04	0.01		0.04	0.886	0.443		0.886	
	2	0.06	0.02		0.06	1.085	0.626		1.085	Q=VxA (m^3/s)
	3	0.08	0.03		0.08	1.253	0.767		1.253	
	4	0.09	0.04		0.1	1.329	0.886		1.401	
	5	0.1	0.06		0.11	1.401	1.085		1.469	
	6		0.08				1.253			
	7		0.09				1.329			
	8		0.1				1.401			**0.631**
	9		0.11				1.469			
	10		0.12				1.534			
	Ort					1.162				

Tablo A.77 Çelebiyan Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Şubat 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.12	0.1	0.08	0.15	1.534	1.401	1.253	1.716	0.80
	2	0.18	0.15	0.12	0.2	1.879	1.716	1.534	1.981	
	3	0.22	0.18	0.16	0.24	2.078	1.879	1.772	2.170	
	4	0.28	0.2	0.2	0.3	2.344	1.981	1.981	2.426	Ortalama kesit Alanı (m^2)
	5	0.32	0.22	0.22	0.32	2.506	2.078	2.078	2.506	
	6		0.26	0.24			2.259	2.170		8.56
	7		0.3	0.28			2.426	2.344		
	8		0.34	0.3			2.583	2.426		Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.34	0.34			2.583	2.583		
	10		0.36	0.36			2.658	2.658		9.81
	Ort					2.106				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	2.116
	1	0.1	0.1	0.08	0.14	1.401	1.401	1.253	1.657	
	2	0.18	0.12	0.12	0.2	1.879	1.534	1.534	1.981	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.24	0.17	0.16	0.26	2.170	1.826	1.772	2.259	
	4	0.28	0.2	0.2	0.32	2.344	1.981	1.981	2.506	
	5	0.34	0.22	0.22	0.36	2.583	2.078	2.078	2.658	
	6		0.28	0.24			2.344	2.170		
	7		0.3	0.28			2.426	2.344		
	8		0.32	0.3			2.506	2.426		**13.588**
	9		0.34	0.34			2.583	2.583		
	10		0.38	0.36			2.730	2.658		
	Ort					2.127				

Tablo A.78 Çelebiyan Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Mayıs 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.12	0.06	0.07	0.1	1.534	1.085	1.172	1.401	0.80
	2	0.15	0.1	0.11	0.15	1.716	1.401	1.469	1.716	
	3	0.25	0.12	0.13	0.2	2.215	1.534	1.597	1.981	
	4	0.3	0.15	0.17	0.25	2.426	1.716	1.826	2.215	Ortalama kesit alanı (m^2)
	5	0.38	0.2	0.2	0.3	2.730	1.981	1.981	2.426	
	6		0.26	0.22			2.259	2.078		12.56
	7		0.29	0.25			2.385	2.215		
	8		0.32	0.3			2.506	2.426		Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.37	0.35			2.694	2.620		
	10		0.41	0.4			2.836	2.801		9.81
	Ort					2.032				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	2.046
	1	0.09	0.08	0.08	0.1	1.329	1.253	1.253	1.401	
	2	0.26	0.1	0.13	0.15	2.259	1.401	1.597	1.716	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.24	0.14	0.16	0.2	2.170	1.657	1.772	1.981	
	4	0.3	0.18	0.18	0.25	2.426	1.879	1.879	2.215	
	5	0.35	0.2	0.2	0.3	2.620	1.981	1.981	2.426	
	6		0.25	0.24			2.215	2.170		
	7		0.3	0.26			2.426	2.259		
	8		0.32	0.3			2.506	2.426		**19.279**
	9		0.36	0.34			2.658	2.583		
	10		0.4	0.36			2.801	2.658		
	Ort					2.060				

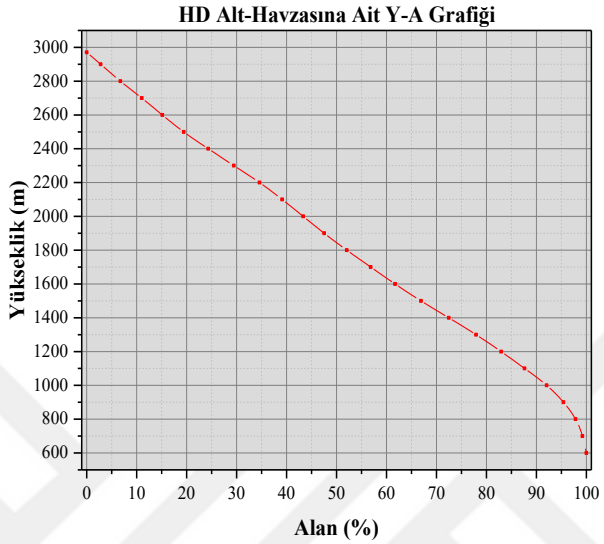
Tablo A.79 Çelebiyan Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Temmuz 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.2	0.1		0.12	1.981	1.401		1.534	0.80
	2	0.32	0.18		0.17	2.506	1.879		1.826	
	3	0.35	0.2		0.2	2.620	1.981		1.981	Ortalama kesit alanı (m^2)
	4	0.41	0.23		0.23	2.836	2.124		2.124	
	5	0.43	0.24		0.25	2.905	2.170		2.215	
	6		0.32				2.506			6.37
	7		0.35				2.620			
	8		0.38				2.730			Yerçekim ivmesi (g) (m/s^2)
	9		0.4				2.801			
	10		0.45				2.971			9.81
	Ort					2.274				
										Ortalama hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	2.284
	1	0.23	0.11		0.14	2.124288	1.469081		1.657347	
	2	0.3	0.15		0.18	2.426108	1.715517		1.879255	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.33	0.2		0.2	2.544524	1.980909		1.980909	
	4	0.43	0.25		0.22	2.904583	2.214723		2.077595	
	5	0.45	0.26		0.26	2.971363	2.258584		2.258584	
	6		0.3				2.426108			
	7		0.36				2.657668			
	8		0.38				2.730494			**10.911**
	9		0.39				2.766189			
	10		0.44				2.938163			
	Ort					2.293				

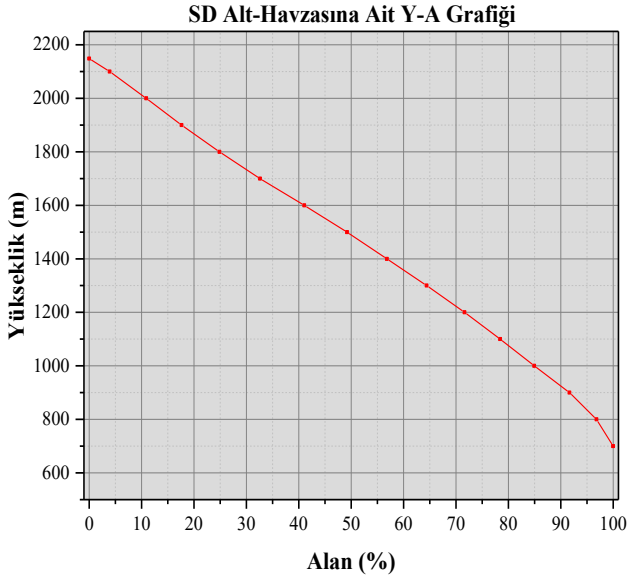
Tablo A.80 Çelebiyan Deresine ait ölçülmüş hız ve debi değerleri (15 Aralık 2019)

	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	Düzeltme katsayısı (α)
MENBA	1	0.18	0.15	0.16	0.18	1.879	1.716	1.772	1.879	0.80
	2	0.21	0.18	0.18	0.23	2.030	1.879	1.879	2.124	
	3	0.26	0.22	0.2	0.26	2.259	2.078	1.981	2.259	Ortalama Kesit Alanı (m^2)
	4	0.32	0.23	0.22	0.28	2.506	2.124	2.078	2.344	
	5	0.36	0.24	0.24	0.35	2.658	2.170	2.170	2.620	
	6		0.26	0.26			2.259	2.259		11.85
	7		0.29	0.29			2.385	2.385		
	8		0.34	0.32			2.583	2.506		Yerçekim İvmesi (g) (m/s^2)
	9		0.35	0.34			2.620	2.583		
	10		0.39	0.4			2.766	2.801		9.81
	Ort					2.257				
										Ortalama Hız (m/s)
MANSAP	No	A Noktası (m)	B Noktası (m)	C Noktası (m)	D Noktası (m)	V_A (m/s)	V_B (m/s)	V_C (m/s)	V_D (m/s)	2.265
	1	0.16	0.16	0.15	0.2	1.772	1.772	1.716	1.981	
	2	0.2	0.18	0.19	0.24	1.981	1.879	1.931	2.170	Q=VxAxα (m^3/s)
	3	0.25	0.2	0.21	0.26	2.215	1.981	2.030	2.259	
	4	0.3	0.24	0.24	0.3	2.426	2.170	2.170	2.426	
	5	0.38	0.26	0.26	0.36	2.730	2.259	2.259	2.658	
	6		0.28	0.28			2.344	2.344		
	7		0.3	0.3			2.426	2.426		
	8		0.36	0.32			2.658	2.506		**20.136**
	9		0.38	0.34			2.730	2.583		
	10		0.4	0.38			2.801	2.730		
	Ort					2.273				

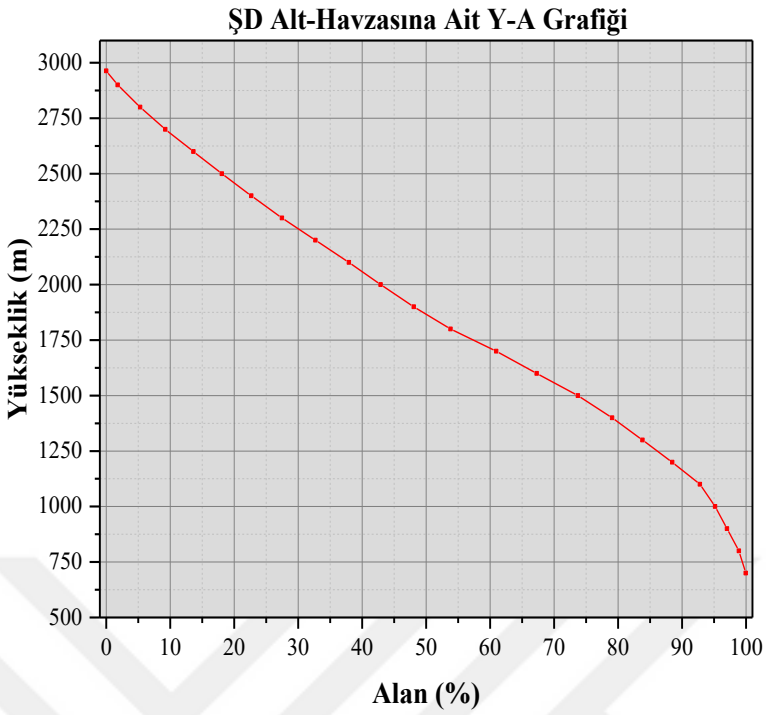
B
YÜKSEKLİK-ALAN GRAFİKLERİ



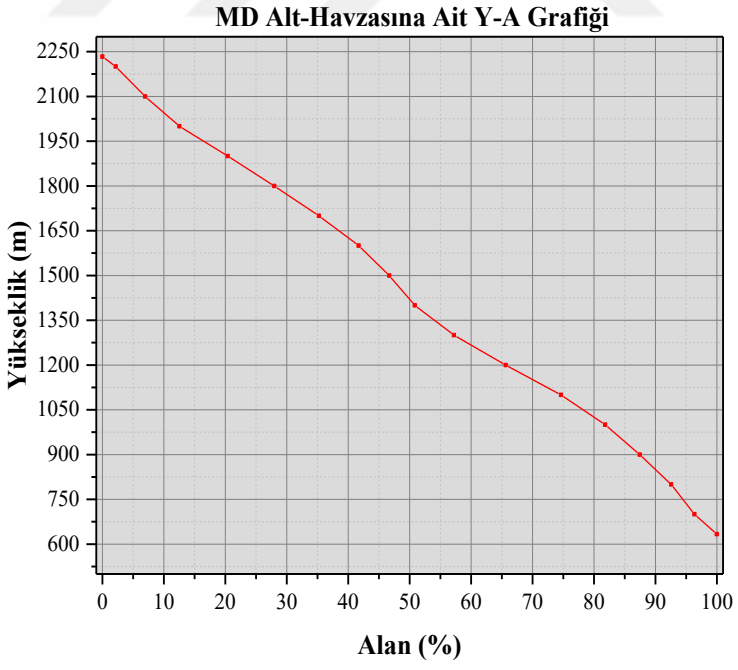
Şekil B.1 Han Deresi alt havzasına ait yükseklik-alan grafiği



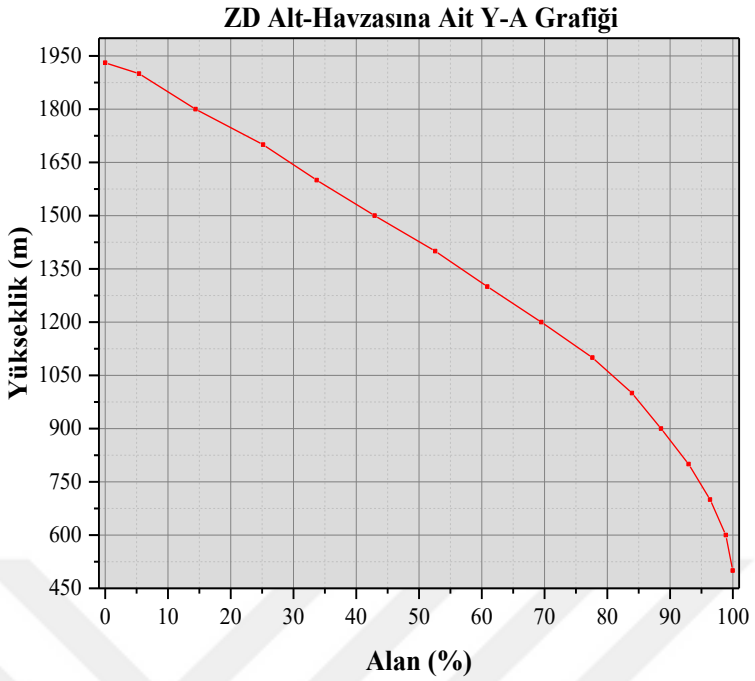
Şekil B.2 Sevek Deresi alt havzasına ait yükseklik-alan grafiği



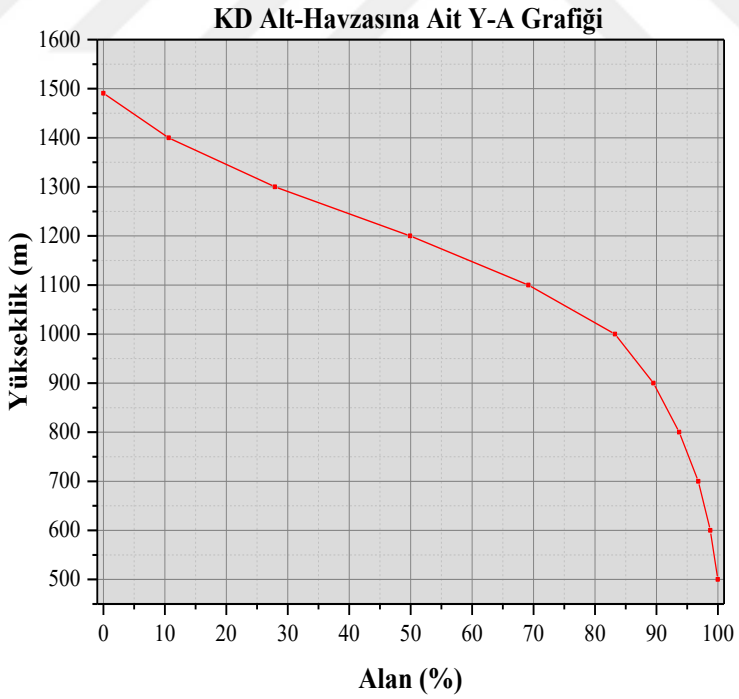
Şekil B.3 Şevay Deresi alt havzasına ait yükseklik-alan grafiği



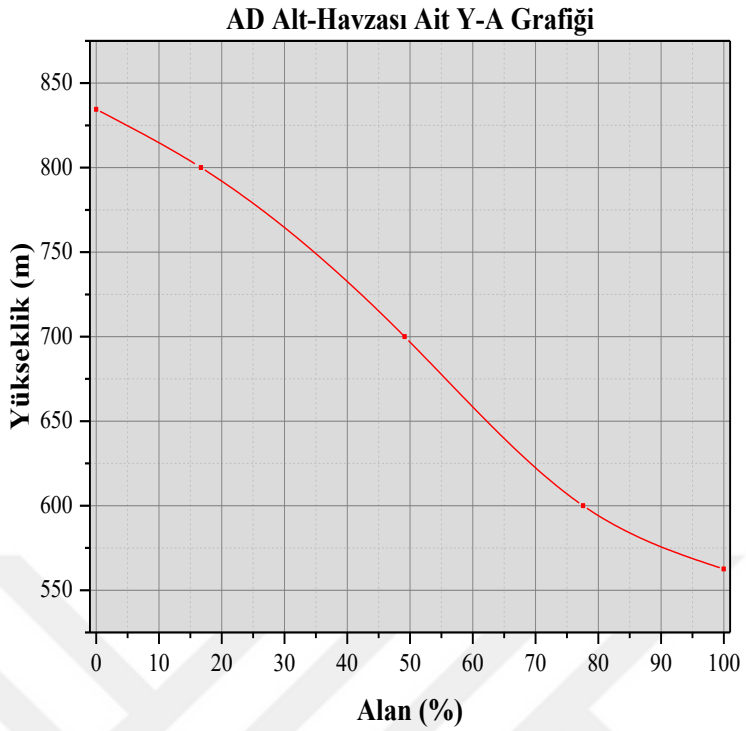
Şekil B.4 Merga Deresi alt havzasına ait yükseklik-alan grafiği



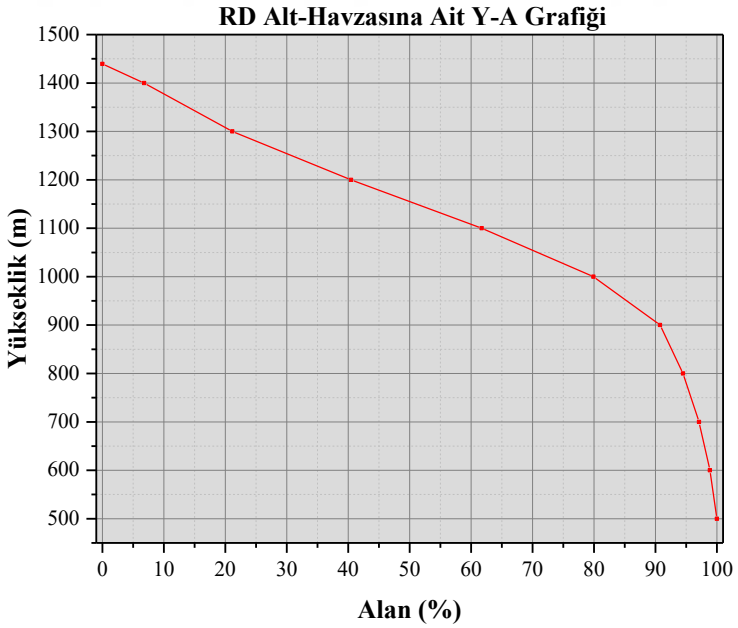
Şekil B.5 Zugut Deresi alt havzasına ait yükseklik-alan grafiği



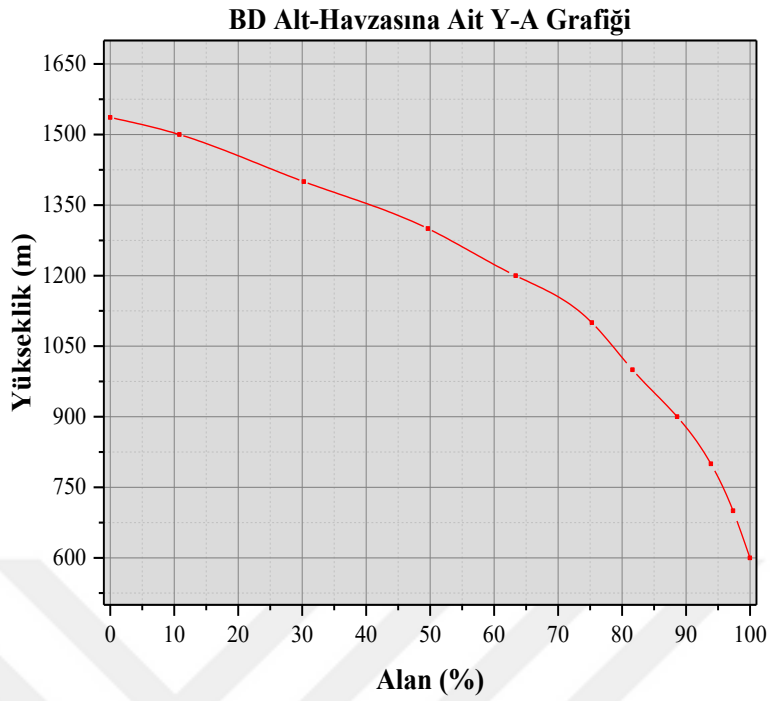
Şekil B.6 Küllük Deresi alt havzasına ait yükseklik-alan grafiği



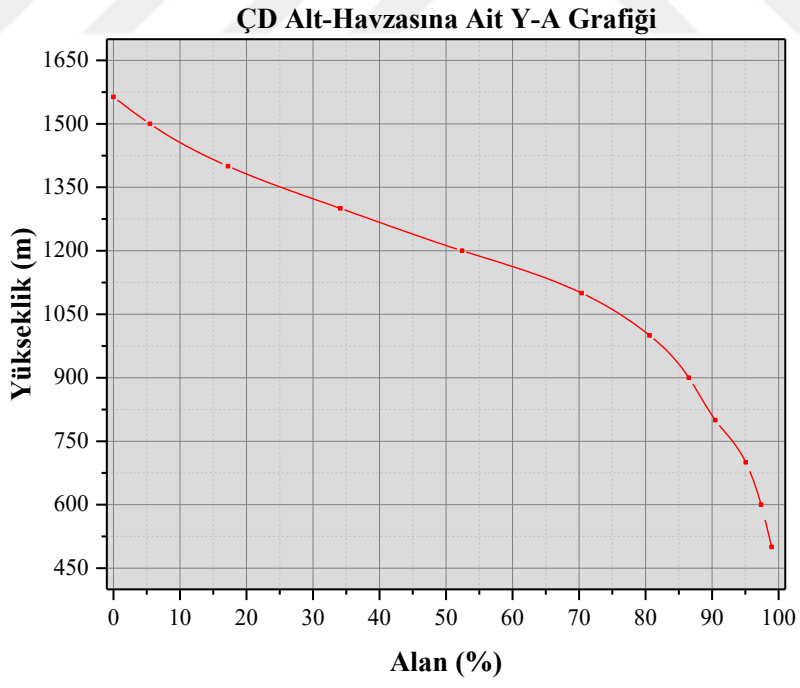
Şekil B.7 Aşağıyankılı Deresi alt havzasına ait yükseklik-alan grafiği



Şekil B.8 Rapka Deresi alt havzasına ait yükseklik-alan grafiği



Şekil B.9 Başköy Deresi alt havzasına ait yükseklik-alan grafiği

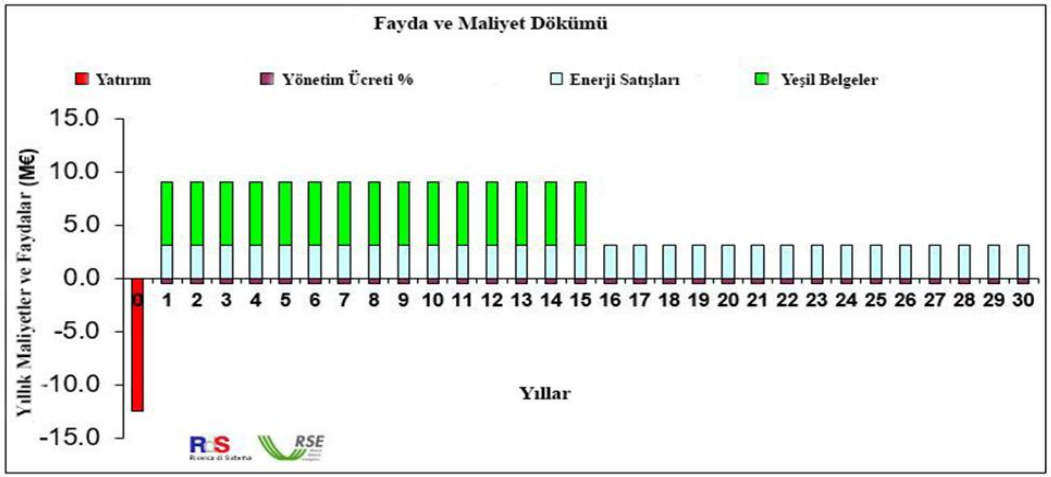


Şekil B.10 Çelebiyan Deresi alt havzasına ait yükseklik-alan grafiği

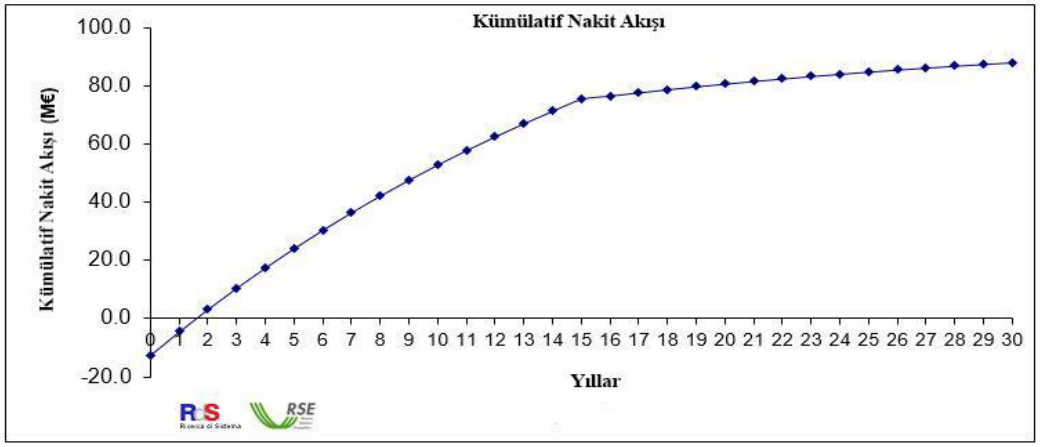
C
ALT HAVZALARA AİT MALİYET ANALİZ TABLO VE GRAFİKLERİ

Tablo C.1 Han Deresi'ne ait KHES için maliyet tablosu

Alternatif no	Brüt düşü (m)	Net düşü (m)	Max kW	MWh	Operasyon gün sayısı	Yatırım maliyeti (€)	Yıllık maliyet (€)	Toplam maliyet (€)	Geri Ödeme periyodu (Yıl)	Fayda-maliyet oranı
1	15	13	1661	5865	201	4,599,549	156,778	4,756,327	7.02	2.09
2	20	18	2300	8074	201	5,054,395	177,651	5,232,046	5.37	2.59
3	25	23	2939	10283	201	5,510,828	198,571	5,709,399	4.50	3.00
4	30	28	3578	12493	201	5,968,848	219,539	6,188,387	3.95	3.34
5	35	32	4217	14702	201	6,428,455	240,555	6,669,010	3,58	3.63
6	40	38	4855	16911	201	6,889,649	261,618	7,151,267	3,31	3.87
7	45	43	5494	19120	201	7,352,429	282,729	7,635,158	3.11	4.08
8	50	48	6133	21330	201	7,816,796	303.887	7,817,100	2.95	4.27
9	55	53	6772	23539	201	8,282,751	325,093	8,607,844	2.82	4.43
10	60	58	7411	25748	201	8,750,292	346,347	9,096,639	2.72	4.57
11	80	78	9966	34585	201	10,636,324	431,838	11,068,162	2.44	5.00
12	100	98	12522	43423	201	12,547,746	518,090	13,065,836	2,28	5.29



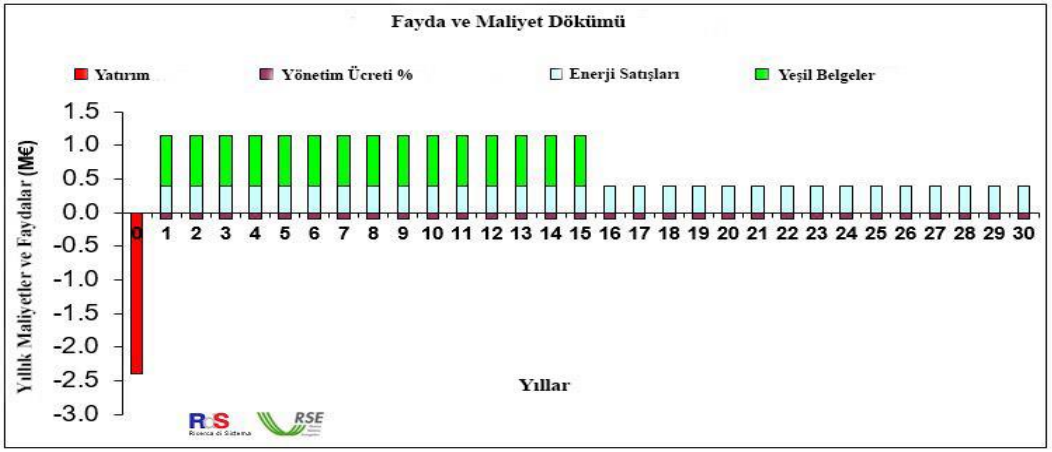
Şekil C.1 Han Dersine ait KHES için fayda ve maliyet döküm grafiği



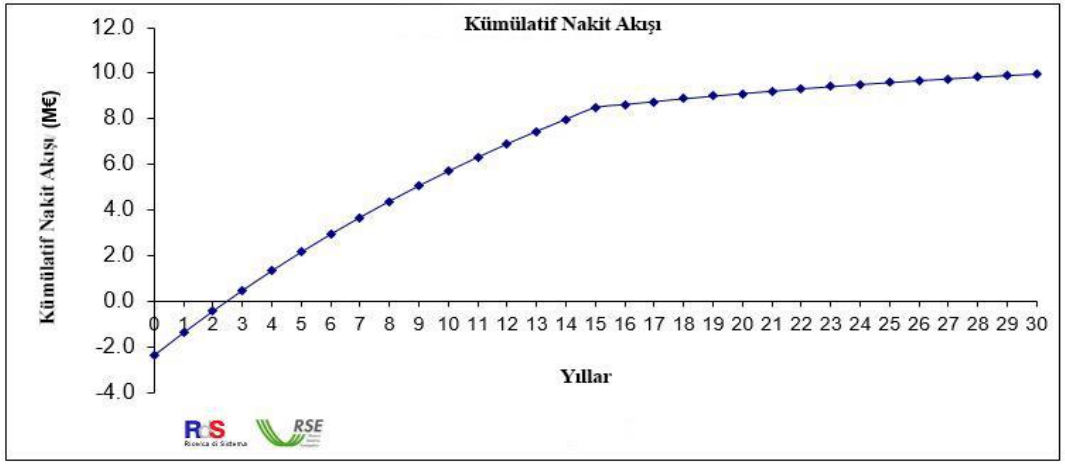
Şekil C.2 Han Deresi'ne ait KHES için kümülatif nakit akış grafiği

Tablo C.2 Sevek Deresi'ne ait KHES için maliyet tablosu

Alternatif no	Brüt düşü (m)	Net düşü (m)	Max kW	MWh	Operasyon gün sayısı	Yatırım maliyeti (€)	Yıllık maliyet (€)	Toplam maliyet (€)	Geri Ödeme periyodu (Yıl)	Fayda-maliyet oranı
1	15	7.99	59	265	219	1,133,265	34,660	1,167,925	544.42	0.40
2	20	12.99	95	413	219	1,159,076	35,849	1,194,925	54.46	0.60
3	25	17.99	132	560	219	1,184,892	37,038	1,221,930	29.27	0.80
4	30	22.99	168	707	219	1,210,714	38,227	1,248,941	20.28	0.98
5	35	27.99	205	854	219	1,236,540	39,416	1,275,956	15.67	1.16
6	40	32.99	242	1001	219	1,262,372	40,606	1,302,978	12,87	1.33
7	45	37.99	278	1149	219	1,288,210	41,795	1,330,005	10.98	1.49
8	50	42.99	315	1296	219	1,314,052	42,985	1,357,037	9,63	1.64
9	55	47.99	352	1443	219	1,339,900	44,175	1,384,075	8.61	1.79
10	60	52.99	388	1590	219	1,365,752	45,365	1,411,117	7,81	1.93
11	80	72.99	535	2179	219	1,469,216	50,127	1,519,343	5.84	2.43
12	100	92.99	681	2768	219	1,572,763	54,891	1,627,654	5.15	2.70



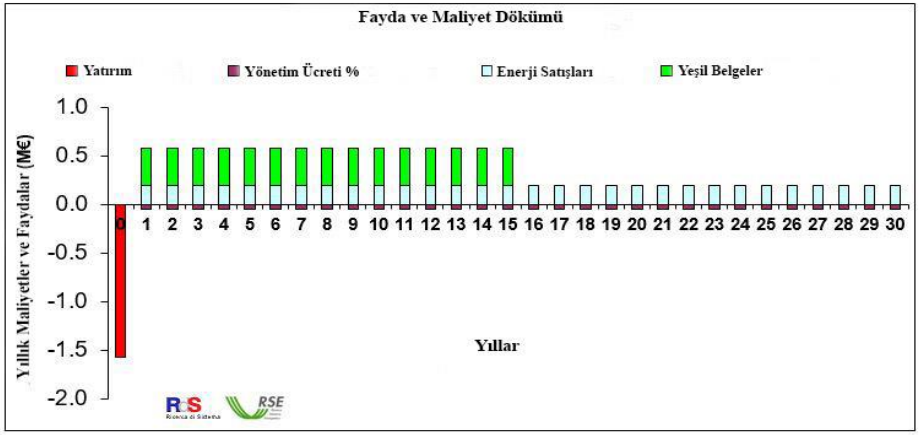
Şekil C.3 Sevek Deresi'ne ait KHES için fayda ve maliyet döküm grafiği



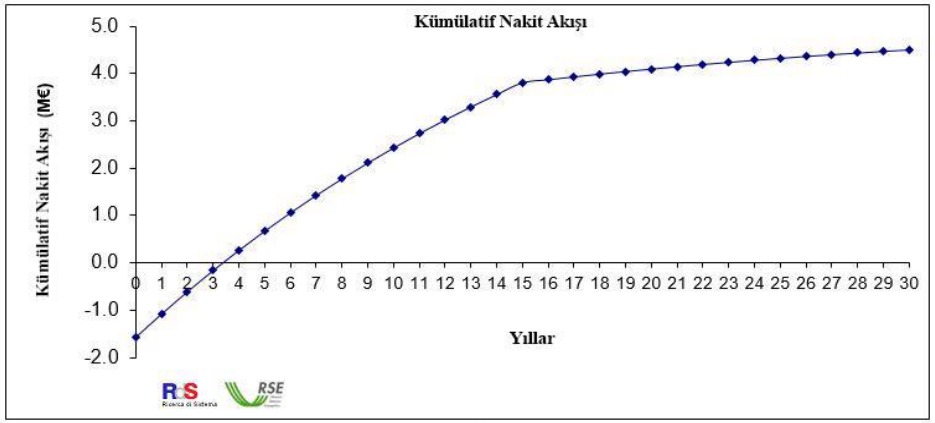
Şekil C.4 Sevek Deresi'ne ait KHES için kümülatif nakit akış grafiği

Tablo C.3 Şevay Deresi'ne ait KHES için maliyet tablosu

Alternatif no	Brüt düşü (m)	Net düşü (m)	Max kW	MWh	Operasyon gün sayısı	Yatırım maliyeti (€)	Yıllık maliyet (€)	Toplam maliyet (€)	Geri Ödeme periyodu (Yıl)	Fayda-maliyet oranı
1	15	9.26	148	583	201	1,429,851	44,569	1,474,420	39.48	0.69
2	20	14.26	228	872	201	1,486,141	47,161	1,533,302	20.19	0.99
3	25	19.26	308	1161	201	1,542,455	49,753	1,592,208	13.90	1.26
4	30	24.26	387	1449	201	1,589,795	52,347	1,642,142	10.77	1.51
5	35	29.26	467	1738	201	1,655,159	54,941	1,710,100	15.67	1.74
6	40	34.26	547	2027	201	1,711,548	57,536	1,769,084	7.67	1.95
7	45	39.26	627	2315	201	1,767,962	60,132	1,828,094	6.79	2.15
8	50	44.26	707	2604	201	1,824,400	62,728	1,887,128	6.12	2.33
9	55	49.26	787	2893	201	1,880,864	65,325	1,946,189	5.61	2.50
10	60	54.26	866	3181	201	1,937,352	67,923	2,005,275	5.20	2.67
11	80	74.26	1186	4336	201	2,163,552	78,322	2,241,874	4.14	3.22
12	100	94.26	1505	5491	201	2,390,149	88,733	2,478,882	3.56	3.65



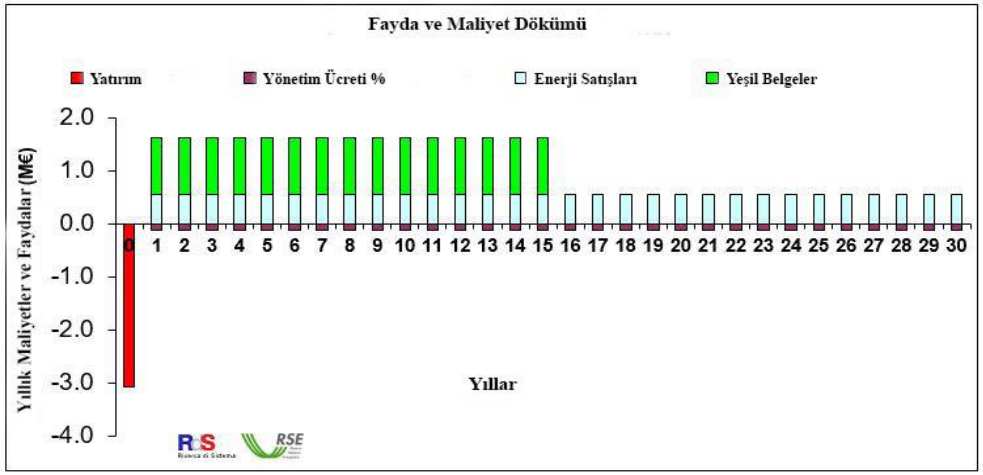
Şekil C.5 Şevay Deresi'ne ait KHES için fayda ve maliyet döküm grafiği



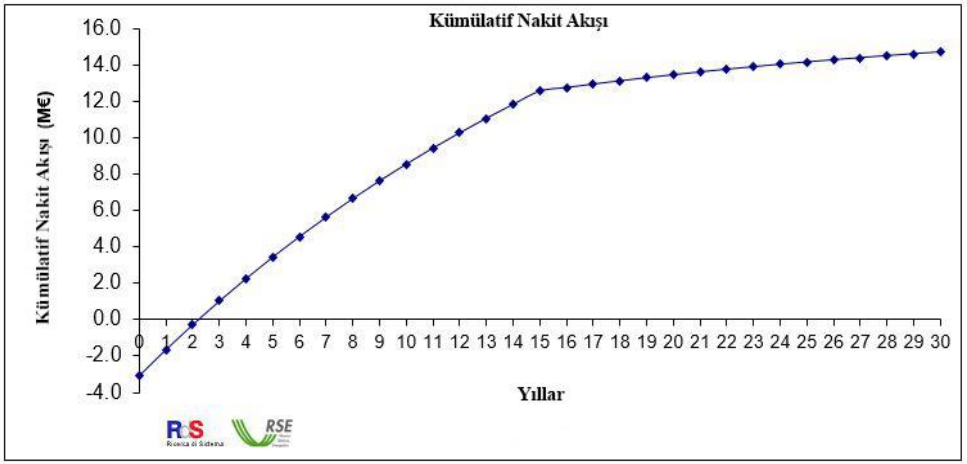
Şekil C.6 Şevay Deresi'ne ait KHES için kümülatif nakit akış grafiği

Tablo C.4 Merga Deresi'ne ait KHES için maliyet tablosu

Alternatif no	Brüt düşü (m)	Net düşü (m)	Max kW	MWh	Operasyon gün sayısı	Yatırım maliyeti (€)	Yıllık maliyet (€)	Toplam maliyet (€)	Geri Ödeme periyodu (Yıl)	Fayda-maliyet oranı
1	15	10.63	245	915	201	1,685,590	53,340	1,738,930	22.96	0.91
2	20	15.63	360	1322	201	1,766,906	57,083	1,823,989	14.02	1.25
3	25	20.63	476	1729	201	1,848,274	60,829	1,909,103	10.35	1.55
4	30	25.63	591	2136	201	1,929,693	64,575	1,994,268	8.34	1.83
5	35	30.63	706	2543	201	2,011,164	68,323	2,079,487	7.08	2.07
6	40	35.63	821	2950	201	2,092,686	72,073	2,164,759	6.22	2.30
7	45	40.63	937	3357	201	2,174,260	75,824	2,250,084	5.59	2.51
8	50	45.63	1052	3764	201	2,255,886	79,577	2,335,463	5.11	2.70
9	55	50.63	1167	4171	201	2,337,563	83,331	2,420,894	4.73	2.88
10	60	55.63	1282	4577	201	2,419,292	87,087	2,506,379	4.42	3.04
11	80	75.63	1744	6205	201	2,746,725	102,127	2,848,852	3.63	3.59
12	100	95.63	2205	7833	201	3,074,985	117,190	3,192,175	3.18	4.01



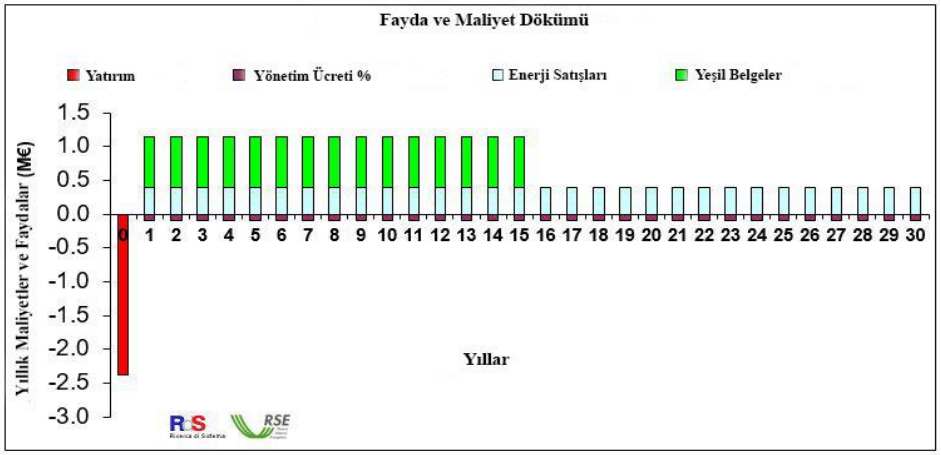
Şekil C.7 Merga Deresi'ne ait KHES için fayda ve maliyet döküm grafiği



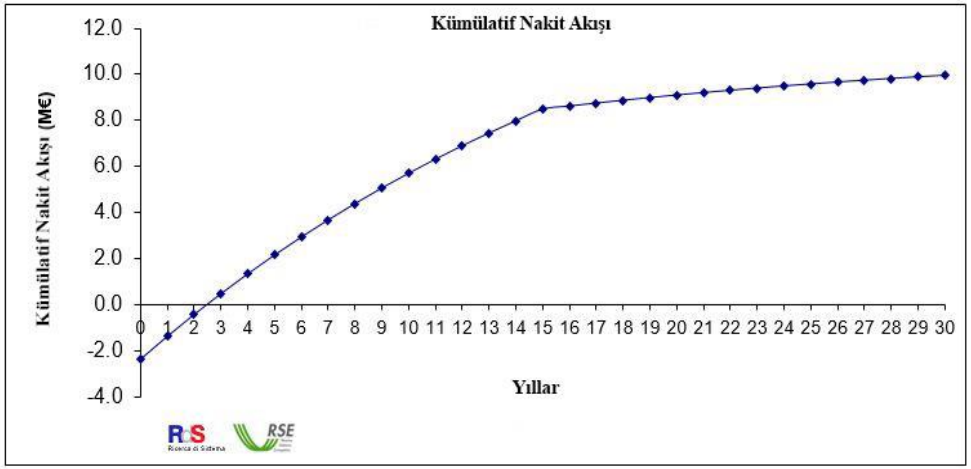
Şekil C.8 Merga Deresi'ne ait KHES için kümülatif nakit akış grafiği

Tablo C.5 Zugut Deresi'ne ait KHES için maliyet tablosu

Alternatif no	Brüt düşü (m)	Net düşü (m)	Max kW	MWh	Operasyon gün sayısı	Yatırım maliyeti (€)	Yıllık maliyet (€)	Toplam maliyet (€)	Geri Ödeme periyodu (Yıl)	Fayda-maliyet oranı
1	15	9.28	148	583	201	1,129,416	44,556	1,173,972	39.50	0.69
2	20	14.28	228	871	201	1,485,631	47,145	1,532,776	20.21	0.98
3	25	19.28	307	1159	201	1,541,871	49,734	1,591,605	13.91	1.26
4	30	24.28	387	1448	201	1,598,135	52,324	1,650,459	10.79	1.51
5	35	29.28	467	1736	201	1,654,425	54,915	1,709,340	8.92	1.74
6	40	34.28	547	2024	201	1,710,738	57,506	1,768,244	7.68	1.95
7	45	39.28	626	2312	201	1,767,077	60,098	1,827,175	6.79	2.15
8	50	44.28	706	2600	201	1,823,440	62,691	1,886,131	6.13	2.33
9	55	49.28	786	2888	201	1,879,829	65,285	1,945,114	5.62	2.50
10	60	54.28	866	3177	201	1,936,241	67,879	2,004,120	5.20	2.66
11	80	74.28	1185	4329	201	2,162,140	78,265	2,240,405	4.15	3.21
12	100	94.28	1503	5482	201	2,388,434	88,662	2,477,096	3,56	3.65



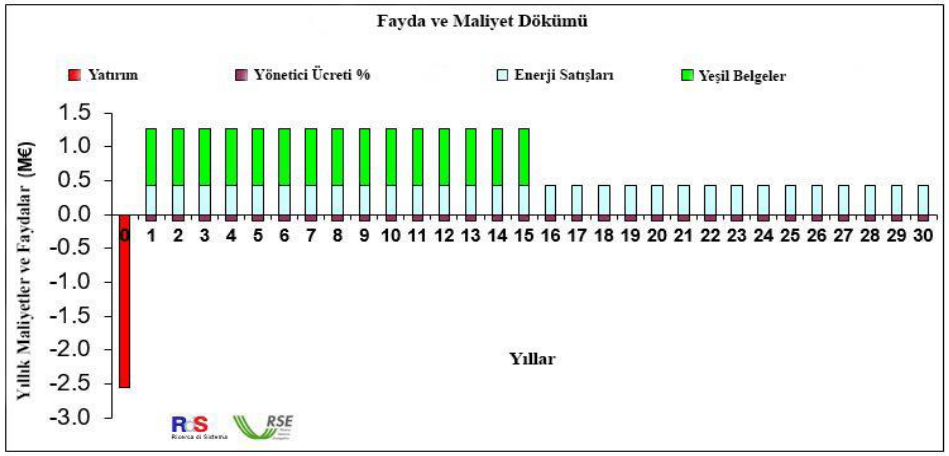
Şekil C.9 Zugut Deresi'ne ait KHES için fayda ve maliyet döküm grafiği



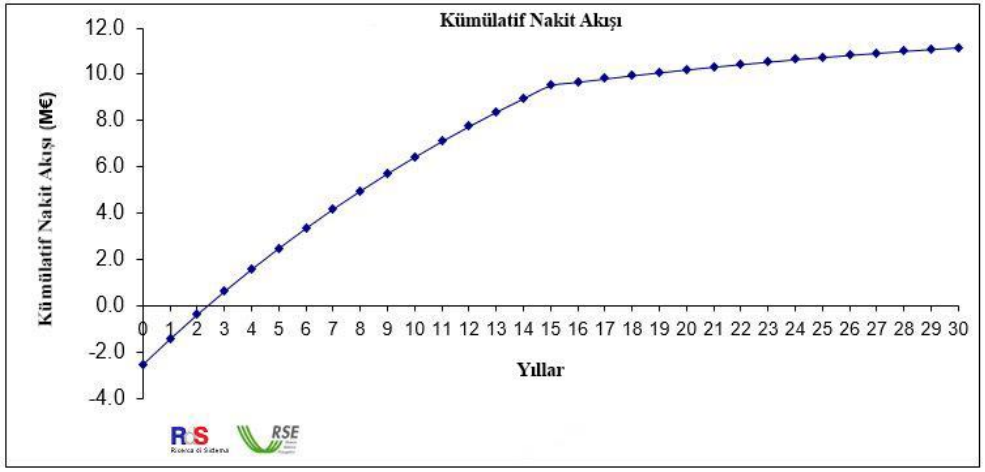
Şekil C.10 Zugut Deresi'ne ait KHES için kümülatif nakit akış grafiği

Tablo C.6 Küllük Deresi'ne ait KHES için maliyet tablosu

Alternatif no	Brüt düşü (m)	Net düşü (m)	Max kW	MWh	Operasyon gün sayısı	Yatırım maliyeti (€)	Yıllık maliyet (€)	Toplam maliyet (€)	Geri Ödeme periyodu (Yıl)	Fayda-maliyet oranı
1	15	10.13	178	689	201	1,497,713	46.948	1,497,760	30.91	0.78
2	20	15.13	266	1006	201	1,559,727	49,803	1,609,530	17.42	1.08
3	25	20.13	354	1323	201	1,621,771	52,660	1,674,431	12.41	1.36
4	30	25.13	442	1641	201	1,683,846	55,517	1,739,363	9.80	1.62
5	35	30.13	530	1958	201	1,745,951	58,375	1,804,326	8.20	1.85
6	40	35.13	618	2276	201	1,808,085	61,234	1,869,319	7.12	2.07
7	45	40.13	706	2593	201	1,870,250	64,094	1,934,344	6.34	2.27
8	50	45.13	794	2910	201	1,932,445	66,955	1,999,400	5.75	2.45
9	55	50.13	882	3228	201	1,994,669	69,816	2,064,485	5.29	2.63
10	60	55.13	970	3545	201	2,056,924	72,679	2,129,603	4.92	2.79
11	80	75.13	1322	4814	201	2,306,245	84,138	2,390,383	3.96	3.34
12	100	95.13	1673	6084	201	2,556,046	95,612	2,651,658	3.42	3.78



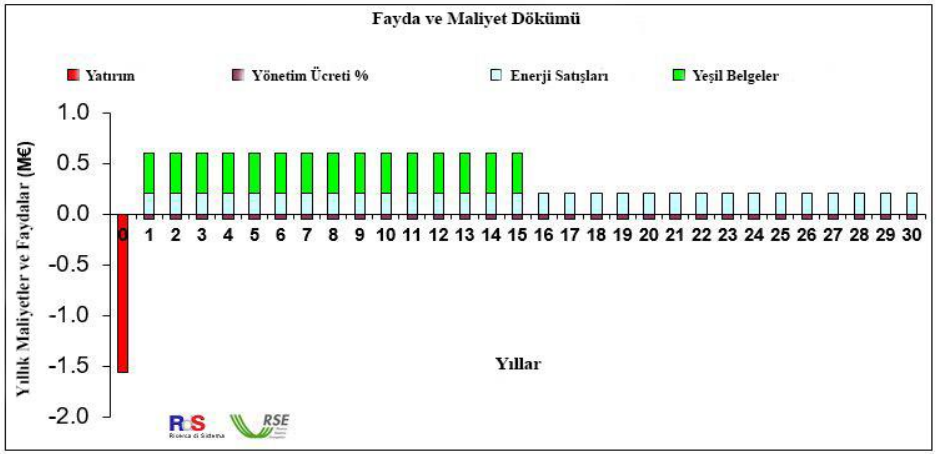
Şekil C.11 Küllük Deresi'ne ait KHES için fayda ve maliyet döküm grafiği



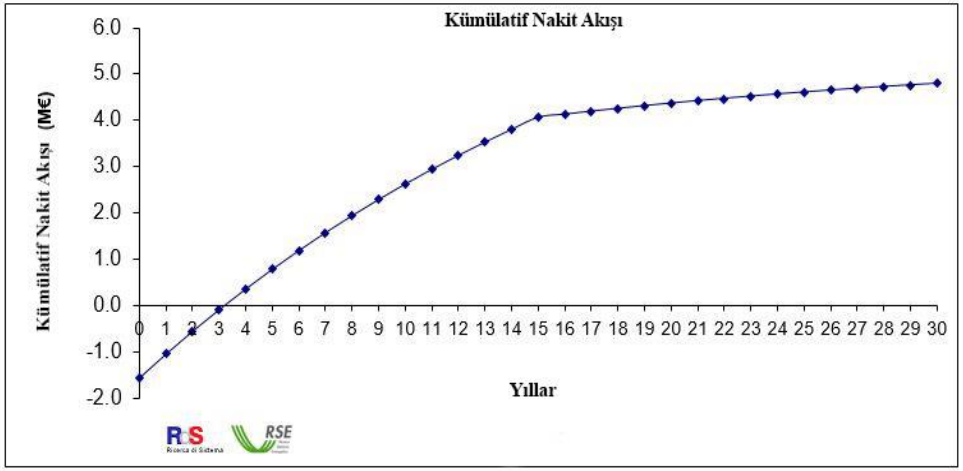
Şekil C.12 Küllük Deresi'ne ait KHES için kümülatif nakit akış grafiği

Tablo C.7 Aşağıyankılı Deresi'ne ait KHES için maliyet tablosu

Alternatif no	Brüt düşü (m)	Net düşü (m)	Max kW	MWh	Operasyon gün sayısı	Yatırım maliyeti (€)	Yıllık maliyet (€)	Toplam maliyet (€)	Geri Ödeme periyodu (Yıl)	Fayda-maliyet oranı
1	15	8.13	59	285	237	1,131,890	34,624	1,166,514	253.33	0.43
2	20	13.13	95	437	237	1,157,447	35,801	1,193,248	46.70	0.64
3	25	18.13	132	590	237	1,183,009	36,978	1,219,987	26.43	0.84
4	30	23.13	168	743	237	1,208,577	38,156	1,246,733	18.67	1.03
5	35	28.13	204	896	237	1,234,149	39,333	1,273,482	14.57	1.22
6	40	33.13	240	1048	237	1,259,727	40.511	1,259,768	12.03	1.39
7	45	38.13	277	1201	237	1,285,309	41,689	1,326,998	10.31	1.56
8	50	43.13	313	1354	237	1,310,897	42,867	1,353,764	9.06	1.72
9	55	48.13	349	1506	237	1,336,490	44,045	1,380,535	8.12	1.87
10	60	53,13	385	1659	237	1,362,088	45,223	1,407,311	7.38	2.01
11	80	73.13	531	2270	237	1,464,531	49,938	1,514,469	5.54	2.54
12	100	93.13	676	2881	237	1,567,056	54,655	1,621,711	4.55	2.99



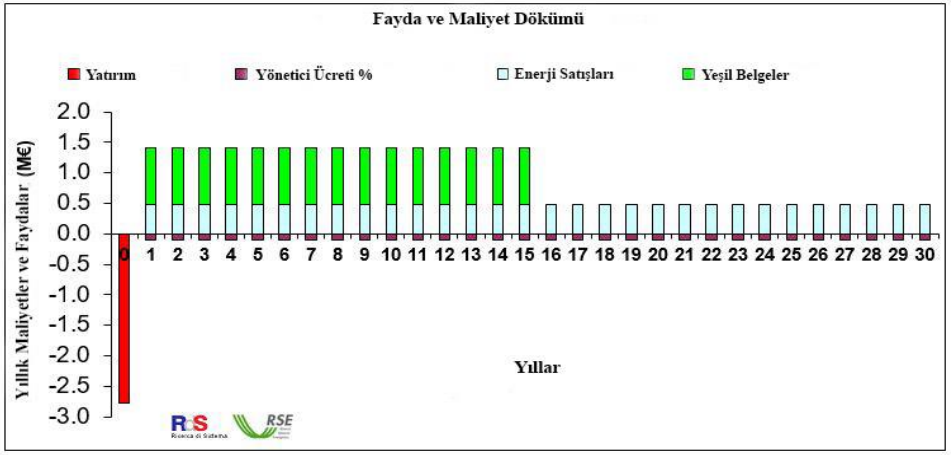
Şekil C.13 Aşağıyankılı Deresi'ne ait KHES için fayda ve maliyet döküm grafiği



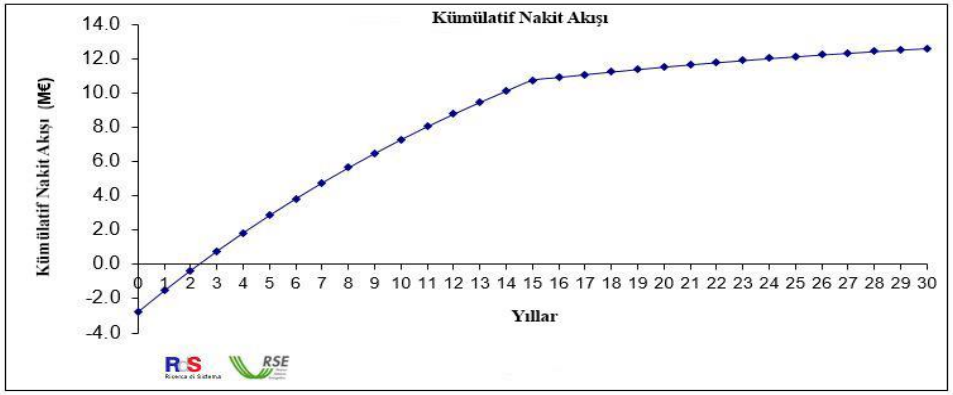
Şekil C.14 Aşağıyankılı Deresi'ne ait KHES için kümülatif nakit akış grafiği

Tablo C.8 Rapka Deresi'ne ait KHES için maliyet tablosu

Alternatif no	Brüt düşü (m)	Net düşü (m)	Max kW	MWh	Operasyon gün sayısı	Yatırım maliyeti (€)	Yıllık maliyet (€)	Toplam maliyet (€)	Geri Ödeme periyodu (Yıl)	Fayda-maliyet oranı
1	15	10.57	210	793	201	1,580,372	49,784	1,630,156	26.34	0.84
2	20	15.57	309	1146	201	1,650,373	53,007	1,703,380	15.62	1.16
3	25	20.57	408	1499	201	1,720,412	56,231	1,776,643	11.36	1.45
4	30	25.57	507	1852	201	1,790,490	59,456	1,849,946	9.08	1.71
5	35	30.57	607	2206	201	1,860,606	62,682	1,923,288	7.66	1.95
6	40	35.57	706	2559	201	1,930,760	65,910	1,996,670	6.69	2.17
7	45	40.57	805	2912	201	2,000,953	69,138	2,070,091	5.99	2.37
8	50	45.57	905	3265	201	2,071,184	72,368	2,143,552	5.45	2.56
9	55	50.57	1004	3619	201	2,141,453	75,559	2,217,012	5.03	2.74
10	60	55.57	1103	3972	201	2,211,760	78,831	2,290,591	4.69	2.90
11	80	75.57	1500	5385	201	2,493,373	91,771	2,585,144	3.81	3.45
12	100	95.57	1897	6789	201	2,775,599	104,729	2,880,328	3.32	3.87



Şekil C.15 Rapka Deresi'ne ait KHES için fayda ve maliyet döküm grafiği



Şekil C.16 Rapka Deresi'ne ait KHES için kümülatif nakit akış grafiği

T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 10. Bölge Müdürlüğü

Sayı : 20515075-161.02-**134778** 22.02.2018
Konu : Bilgi belge talebi (Öğr. Gör. İbrahim Halil DEMİREL)

Sn. İbrahim Halil DEMİREL
(Batman Üniversitesi Kozluk MYO ek Bina 2. Kat. No:206 Merkez/BATMAN)

İlgi yazınız incelenmiş olup, Bölge Müdürlüğümüzden talep edilen barajlara ilişkin karekteristik veriler ekteki tablolara işlenmiştir.

Bilgilerinizi ve gereğini arz/rica ederim.

İhsan DENGİZ
Bölge Müdürü a.
Bölge Müdür Yardımcısı

EK/EKLER :
Tablo (7 Syf)

DAĞITIM :
Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okuluna (Kozluk/Batman)
İbrahim Halil DEMİREL

Güvenli Elektronik İmzalı
Aslı ile Aynıdır
22.02.2018
Onur İŞÇİ

Bu belge, 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununun 5. Maddesi gereğince güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Orjinal elektronik belge adresi: 'https://evrakdogrula.dsi.gov.tr' Doğrulama Kodu: HVJO-KU11-BU60-3879

Adres : DSİ 10. Bölge Müdürlüğü Seyrantepe Sanayi Mah. Elazığ Bul.

Bilgi İçin:
Salih SARI Mühendis

Evrak Tarih ve Sayısı: 26/09/2018-E.2825

T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
Kozluk Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü

Sayı : 36137506-800-
Konu : Bilgi Talebi

BATMAN METEOROLOJİ MÜDÜRLÜĞÜNE

Meslek Yüksekokulumuz İnşaat Bölümü Yapı Denetimi Programı Öğretim Elemanlarından Öğr. Gör. İbrahim Halil DEMİREL Doktora Tez Çalışmalarında kullanmak için Batman Merkez, Sason, Kozluk ve Beşiri ilçelerinde bulunan Meteoroloji istasyonlarındaki bazı teknik bilgilere ihtiyaç duymaktadır. İlgili hocamıza istenilen teknik bilgilerin sağlanması hususunda;

Gereğini arz ederim.

e-imzalıdır
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜNDOĞDU
Yüksekokul Müdürü

EK :
İbrahim Halil DEMİREL Meteoroloji (1 sayfa)

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

1. I. Yuksel ve I.H. Demirel, “Investigation of the optimal method for determining hydropower potential of small streams: a case study Batman Basin in Turkey”, Arab J Geoscı, 14 (580), pp. 1-14, 2021.

2. I. Yuksel ve I.H. Demirel, “Estimating flow discharges in small streams by using hydrologic model a case study Batman Basin in Turkey”, Fresen Envıron Bull, c. 30-No. 06B/2021, pp. 7243-7254, 2021.

Konferans Bildirileri

1. I. Yuksel ve I.H. Demirel, “Estimating the non-observed precipitation data by using artificial neural networks in Batman Basin”, içinde International Engineering Symposium, Engineering Applications in Industry-Izmir, Turkey, 2020, sayı December 5-6 and 10-13, ss. 1-8.

2. I. Yuksel ve I.H. Demirel, “Hydrometric measurements based on theoretical methods; a case study Batman Sub-Basin”, 4. Asia Pacific, International Modern Sciences Congress-Subic Bay Freeport Zone, Philippines, 2020, sayı December 12-13, ss. 581-588.