ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

İklim Değişikliği Uyum Sürecinde Sulama Açısından Havza Yönetimi: Yukarı Kızılırmak Havzası Örneği

İsmail KAYA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak, 2025

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ ONAYI

İklim Değişikliği Uyum Sürecinde Sulama Açısından Havza Yönetimi: Yukarı Kızılırmak Havzası Örneği

---

İsmail KAYA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Doktora Tezi 22/01/2025 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Recep YURTAL (Danışman) ……

: Prof. Dr. Neslihan SEÇKİN ……

: Prof. Dr. Galip SEÇKİN ……

: Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ ……

: Doç. Dr. Evren TURHAN ……

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
ÇİZELGELER DİZİNİ IV
ŞEKİLLER DİZİNİ V
SİMGELER VE KISALTMALAR VII
1.GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1. İklim Değişikliği İle İlgili Çalışmalar 5
2.2. Entegre Havza Yönetimi İle İlgili Çalışmalar 9
2.3. Modelleme İle İlgili Çalışmalar 13
2.4. WEAP (Water Evaluation and Planning System) İle Yapılmış Çalışmalar 15
3. MATERYAL VE METOT 30
3.1. Giriş 30
3. 2. Çalışma Alanı 30
3.2.1. Kızılırmak Havzası Arazi ve Toprak Durumu 34
3.2.2. İklim 36
3.2.3 Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) 36
3.2.4 Akarsular 39
3.2.5. Depolama Tesisleri 39
3.2.6 Sulama Tesisleri 41
3.2.7 İçme Suyu 43
3. 3. WEAP (Water Evaluation and Planning System) Programı 47
3.3.1. WEAP Model Yapısı 48
3.3.2. WEAP Programı İle Model Kurma 49
3.4. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası WEAP Modelinde Kullanılan Veriler 50
3.5. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası WEAP Modeli Oluşturulması 54
3.5.1 Modelin Doğrulanması 60
3.5.2 Senaryolar 62
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 97
5.1. Sonuçlar 97
5.2. Öneriler 101
KAYNAKLAR 103
ÖZGEÇMİŞ 111

EKLER 112
EK-A1: Kızılırmak Havzası Toprak Kaynakları Arazi Sınıfları Dağılımı (DSİ, 2018) 113
EK-A2: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Arazi Kullanım Sınıfları (DSİ, 2018) 113
EK-B1: Sivas İli Meteorolojik Bilgileri (Anonim 2, 2024) 114
EK-B2: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Meteoroloji Gözlem İstasyonları Aylık Toplam Yağış (DSİ, 2018) 115
EK-B3: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda Yer Alan Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına Ait Aylık Ortalama Sıcaklık (DSİ, 2018) 116
EK-C1: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası DSİ Depolama Tesisleri (baraj, gölet) (DSİ, 2018) ... 117
EK-C2: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası DSİ Depolama Tesisleri (İnşaat, Proje, Planlama) (DSİ, 2018) 118
EK-C3: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Özel Sektör Depolama Tesisleri (baraj) (DSİ, 2018) 118
EK-C4: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İ.Ö.İ. Depolama Tesisleri (gölet) (DSİ, 2018) 119
EK-D1: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İşletmedeki DSİ YÜS Sulama Tesisleri (DSİ, 2018) . 120
EK-D2: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İ.Ö.İ Gölet Sulama Tesisleri (DSİ, 2018) 121
EK-D3: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İ.Ö.İ YÜS Sulama Tesisleri (DSİ, 2018) 122
EK-D4: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Halk Sulamaları (DSİ, 2018) 125
EK-D5: DSİ Planlama, Proje ve İnşaat Aşamasındaki YÜS Sulama Tesisleri (DSİ, 2018) 127

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

İklim Değişikliği Uyum Sürecinde Sulama Açısından Havza Yönetimi: Yukarı Kızılırmak Havzası Örneği

İsmail KAYA

Danışman: Prof. Dr. Recep YURTAL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

İklim değişikliğine bağlı olarak, Türkiye'nin küresel ısınmanın etkileri açısından riskli ülkeler arasında yer alması ve zamanla su kaynaklarının azalması, kuraklık ve çölleşme gibi sorunlarla karşı karşıya kalacağı, yağış rejiminin değişeceği, kuraklık ve taşkın gibi doğal afetlerin sıklığının ve şiddetinin artacağı göz önüne alındığında, optimum havza yönetiminin önemi daha da artmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'deki Kızılırmak Havzası'nın alt havzası olan Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nın iklim değişikliğine bağlı olarak sulama açısından havza yönetimi, WEAP (Water Evaluation and Planning System) yazılımı ile farklı senaryolarla simülasyon modelleri oluşturularak mevcut duruma, iyimser ve kötümser durumlara göre su bütçesinin değişimi incelenmiştir. Farklı 4 senaryo çalışması sonucunda; içme ve kullanma suyu ihtiyacının arttığı, en olumsuz senaryoda akımların %20 azaldığı, sulamada herhangi bir iyileştirme yapılmadığı ve içme suyu kayıp kaçak oranının %20 ye düşürülememesi durumunda 2050 yılında karşılanamayan su miktarının 14,60 hm^3 olacağı, mevcut durumda 1.691,82 hm^3 olan potansiyel su miktarının, açık sulama sistemlerinin kapalı basınçlı sistemlere dönüştürülmesi, Sivas içme suyundaki kayıp kaçak miktarının %20'ye düşürülmesi halinde 1.776,62 hm^3 olacağı; eğer bu değerlerde bir iyileştirme yapılmazsa ve iklim değişikliğine bağlı olarak akımlarda %20 oranında bir azalma meydana gelirse bu değerin 1.385,11 hm^3'e düşeceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: WEAP (Water Evaluation and Planning System), Yukarı Kızılırmak Alt Havzası, Sulama Yönetimi, Küresel İklim Değişikliği

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

PhD THESIS

Basin Management in Terms of Irrigation in the Climate Change Adaptation Process: Case Study in The Upper Kizilirmak Basin

İsmail KAYA

Advisor: Prof. Dr. Recep YURTAL

Department of Civil Engineering

ABSTRACT

Considering that Turkey is among the risky countries in terms of the effects of global warming and will face problems such as decreasing water resources, drought and desertification over time, changing rainfall regime, increasing the frequency and severity of natural disasters such as drought and floods, the importance of watershed management due to climate change increases even more. In this study, basin management in terms of irrigation in the Upper Kızılırmak Basin, which is a sub-basin of the Kızılırmak Basin in Türkiye, was examined in terms of current status, optimistic and pessimistic situations by creating simulation models with different scenarios with WEAP (Water Evaluation and Planning System) software. As a result of 4 different scenarios, the amount of water that cannot be met in 2050 will be 14,60 hm^3 in case the need for drinking and potable water increases, the most unfavorable scenario in which the flows decrease by 20%, no improvement is made in irrigation and the drinking water loss and leakage rate cannot be reduced to 20%; the amount of water that cannot be met in the current situation will be 1.691,82 hm^3 in the current situation will be 1.776,62 hm^3 if open irrigation systems are converted to closed pressurized systems and the amount of loss and leakage in drinking water in Sivas is reduced to 20%; if no improvement is made in these values and a 20% decrease in flows occurs due to climate change, this value will decrease to 1.385,11 hm^3

Keywords: WEAP (Water Evaluation and Planning System), Upper Kızılırmak Sub-Basin, Irrigation Management, Global Climate Change

TEŞEKKÜR

Bu günlere gelmemde beni yetiştirip büyüten ve ahirete irtihal etmiş olan annem Duriye Hanım ve babam Ali Bey başta olmak üzere, her zaman yanımda olup destek veren eşim Ayla Hanım ve oğlum Erdem, yaptığım çalışmalarda desteğini esirgemeyen değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Recep YURTAL ile DSİ 19. Bölge Müdürlüğü ve DSİ Genel Müdürlüğü'nde görev yapmakta olan çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kızılırmak Havzası İlleri (DSİ, 2018)..... 31
Çizelge 3.2. Kızılırmak Havzası Alt Havzaları ve Karakteristik Bilgileri (DSİ, 2018)..... 33
Çizelge 3.3. Çalışmada Kullanılan Akım Gözlem İstasyonları (DSİ, 2018)..... 37
Çizelge 3.4. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Akarsuları (DSİ, 2018)..... 39
Çizelge 3.5. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası DSİ YAS Sulama Tesisleri (DSİ, 2018)..... 42
Çizelge 3.6. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İ.Ö.İ YAS Sulama Tesisleri (DSİ, 2018)..... 42
Çizelge 3.7. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Sulamaları (DSİ, 2018)..... 42
Çizelge 3.8. Sivas İl Merkezi Nüfus ve Su İhtiyacı (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020)..... 43
Çizelge 3.9. Tavra Kaynakları Aylık Ortalama Akımları (hm^3) (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020)..... 45
Çizelge 3.10. Dört Eylül Barajı Aylık Ortalama Akımlar (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020)..... 46
Çizelge 3.11. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası AGİ Aylık Ortalama Doğal Akımlar (m^3/s)(DSİ, 2018)..... 53
Çizelge 3.12. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Depolama Tesisleri Buharlaşma Bilgileri (DSİ, 2018)..... 56
Çizelge 3.13 Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İçerisinde Yer Alan Akiferler (DSİ, 2018). 56
Çizelge 3.14. Pusat Özen Sulaması Bitki Su İhtiyaçları (DSİ, 2021). 58
Çizelge 3.15. Sulamada kullanılan suyun aylık kullanılma yüzdesi (DSİ, 2021)..... 59
Çizelge 3.16. Sivas İçmesuyu Genel Bilgi (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020) 59
Çizelge 4.1. Depolama Tesisleri Buharlaşma Miktarı..... 67
Çizelge 4.2. Sivas İçmesuyu Talep ve Karşılanamayan Su Miktarları Karşılaştırması..... 82
Çizelge 4.3. Kızılırmak Havzası Su Bütçesi (Kızılırmak Havzası Master Plan) (DSİ, 2018).... 92
Çizelge 4.4. Sulama Tesisleri Mevcut Su İhtiyaçları (hm^3) (DSİ,2018)..... 93
Çizelge 4.5. Sulama Tesisleri Gelecek Su İhtiyaçları (hm^3) (DSİ,2018)..... 94
Çizelge 4.6. WEAP ile Hesaplanan Sulama Tesisleri Mevcut Su İhtiyaçları (hm^3) (DSİ,2018) . 94
Çizelge 4.7. WEAP ile DSİ Planlama Raporu Kıyaslaması 95
Çizelge 4.8. WEAP (Yaykıran, 2016) ile DSİ Planlama Raporu Kıyaslaması..... 96

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Türkiye Havza Haritası (DSİ, 2018) 30
Şekil 3.2. Kızılırmak Havzası ve Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Türkiye'deki Konumu (DSİ, 2018) 31
Şekil 3.3. Kızılırmak Havzasında Yer Alan İller (DSİ, 2018) 32
Şekil 3.4. Kızılırmak Havzası Alt Havzaları (DSİ, 2018) 33
Şekil 3.5. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Genel Vaziyet Planı (DSİ, 2018) 34
Şekil 3.6. Kızılırmak Havzası Arazi Kullanımı (DSİ, 2018) 35
Şekil 3.7. Kızılırmak Havzası Arazi Sınıf Dağılımı (DSİ, 2018) 35
Şekil 3.8. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası AGİ Yerleri 38
Şekil 3.9. İmranlı Barajı Genel Görünümü (DSİ, 2021) 40
Şekil 3.10. Yamula Barajı Genel Görünümü (Ayen Enerji A.Ş., 2024). 40
Şekil 3.11. Dört Eylül Barajı Genel Görünümü (DSİ, 2021) 44
Şekil 3.12. Pusat Özen Barajı Genel Görünümü (DSİ, 2021) 44
Şekil 3.13. WEAP Programı Ana Gösterimi 49
Şekil 3.14. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda Yer Alan Önemli Barajların Görünümü 51
Şekil 3.15. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda Yer Alan Depolama Tesisleri (Baraj, Gölet) Görünümü 51
Şekil 3.16. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası WEAP Şematik Görünümü 55
Şekil 3.17. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası WEAP Akifer Görünümü 57
Şekil 3.18. WEAP Model Doğrulama Grafiği 60
Şekil 3.19. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası WEAP Modeli Google Earth Görünümü 61
Şekil 4.1. AGİ'lere Ait Doğal Aylık Ortalama Akımlar 65
Şekil 4.2. Yamula Barajı Giriş Akımları (Mevcut Durum) 66
Şekil 4.3. Depolama Tesisleri Aylık Su Hacmi Grafiği (Mevcut Durum) 66
Şekil 4.4. Depolama Tesisleri Toplam Buharlaşma Grafiği (Mevcut Durum) 67
Şekil 4.5. Depolama Tesisleri Aylar Bazında Buharlaşma Grafiği (Mevcut Durum) 68
Şekil 4.6. Depolama Tesisleri Buharlaşma Grafiği (Mevcut Durum) 68
Şekil 4.7. Yamula Barajı Buharlaşma Grafiği (Mevcut Durum) 69
Şekil 4.8. Dört Eylül Barajı Buharlaşma Grafiği (Mevcut Durum) 69
Şekil 4.9. Su Talep Grafiği (Mevcut Durum) 70
Şekil 4.10. Tesislerin Sulama Suyu İhtiyaç Grafiği (Mevcut Durum) 70
Şekil 4.11. Karşılanamayan Su İhtiyaç Grafiği (Mevcut Durum) 71
Şekil 4.12. Sivas İl Merkezi İçmesuyu İhitiyaç Grafiği (Mevcut Durum) 71
Şekil 4.13. Havza Su Bütçesi Grafiği (Senaryo-2) 72
Şekil 4.14. Havza Depolama Tesisleri Yıllık Su Depolama Grafiği (Senaryo-2) 73

Şekil 4.15. Havza Depolama Tesisleri Toplam Yıllık Buharlaşma Grafiği (Senaryo-2) 73
Şekil 4.16. Havza Depolama Tesisleri Yıllık Buharlaşma Grafiği (Senaryo-2) 74
Şekil 4.17. Havza Tesisleri Yıllık Su Talep Grafiği (Senaryo-2) 74
Şekil 4.18. Havza Tesisleri Yıllık Sulama Suyu Talep Grafiği (Senaryo-2) 75
Şekil 4.19. Havza Tesisleri Yıllık Karşılanamayan Su Miktarı Grafiği (Senaryo-2)..... 75
Şekil 4.20. Yapıaltın Barajı Yıllık Karşılanamayan Su Miktarı Grafiği (Senaryo-2) 76
Şekil 4.21. Sivas İl Merkezi Yıllık İçme-kullanma Suyu Miktarı Grafiği (Senaryo-2) 77
Şekil 4.22 Havza Su Bütçesi Grafiği (Senaryo-3)..... 77
Şekil 4.23. Yamula Barajı Girişi Akım Grafiği (Senaryo-3) 78
Şekil 4.24. Havza Depolama Tesisleri Yıllık Su Depolama Grafiği (Senaryo-3)..... 78
Şekil 4.25. Havza Tesisleri Su Talep Grafiği (Senaryo-3)..... 79
Şekil 4.26. Havza Sulama Tesisleri Yıllık Su Talep Grafiği (Senaryo-3) 79
Şekil 4.27. Havza Tesisleri Yıllık Karşılanamayan Su Talep Grafiği (Senaryo-3)..... 80
Şekil 4.28. Sulama Tesisleri Yıllık Karşılanamayan Su Talep Grafiği (Senaryo-3)..... 80
Şekil 4.29. Sivas İl Merkezi Karşılanamayan Yıllık İçme-kullanma Suyu Grafiği (Senaryo-3) 81
Şekil 4.30. Sivas İl Merkezi Yıllık İçme-kullanma Suyu Grafiği (90 m^3/yıl için) (Senaryo-3). 81
Şekil 4.31. Sivas İl Merkezi Karşılanamayan Yıllık İçme-kullanma Suyu Grafiği (90 m^3/yıl için) (Senaryo-3)..... 82
Şekil 4.32. Havza Su Bütçesi Grafiği (Senaryo-4)..... 83
Şekil 4.33. Havza Nehirleri Su Miktarları Grafiği (Senaryo-4) 83
Şekil 4.34. Yamula Barajı Giriş Akımları Grafiği (Senaryo-4) 84
Şekil 4.35. Havza Depolama Tesisleri Yıllık Su Depolama Grafiği (Senaryo-4)..... 84
Şekil 4.36. Havza Tesisleri Yıllık Su Talep Grafiği (Senaryo-4) 85
Şekil 4.37. Sulama Tesisleri Yıllık Su Talep Grafiği (Senaryo-4)..... 85
Şekil 4.38. Havza Tesisleri Karşılanamayan Yıllık Su Talep Grafiği (Senaryo-4)..... 86
Şekil 4.39. Sivas İl Merkezi Yıllık İçme ve Kullanma Su Talep Grafiği (Senaryo-4)..... 86
Şekil 4.40. Sivas İl Merkezi Karşılanamayan Yıllık İçme ve Kullanma Su Talep Gra. (Senaryo-4)..... 87
Şekil 4.41. Dört Eylül Barajı ve Tavra Kaynakları Yıllık Akımları Grafiği (Senaryo-4)..... 87
Şekil 4.42. Dört Eylül Barajı ve Pusat Özen Barajı Yıllık Su Depolama Grafiği (Senaryo-4). 88
Şekil 4.43. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Çıkış Akımları 89
Şekil 4.44. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Yıllar Bazında Yamula Barajı Girişi Akımları..... 89
Şekil 4.45 Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Yıllar Bazında Havza Su Bütçesi..... 90
Şekil 4.46 Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Yıllar Bazında Su Talep Miktarı..... 91
Şekil 4.47 Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Karşılanamayan Su Miktarları..... 91
Şekil 4.48. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Depolama Tesisleri Hacimleri 92

SİMGELER VE KISALTMALAR

A :Alan
h :Yükseklik
NSS :Normal Su Seviyesi
Q :Debi
AGİ :Akım gözlem istasyonu
BMKP :Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
BRJ :Baraj
CBS :Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇŞB :Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
ÇYGM :Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü
DER :Derivasyon
DMİ :Devlet Meteoroloji İşleri
DMUU :Decision-Making Under Uncertainty
DSİ :Devlet Su İşleri
GOL :Gölet
ha :Hektar
HES :Hidroelektrik Enerji Santrali
IPCC :Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
İ.Ö.İ :İl Özel İdaresi
KDS :Karar Destek Sistemleri
KHGM :Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü
MSE :Ortalama Karesel Hata
NHYP :Nehir Havzası Yönetim Planı
NSE :Nash–Sutcliffe modeli verimlilik katsayısı
R :Korelasyon katsayısı
REG :Regülatör
SEI :Stockholm Çevre Enstitüsü
SSB :Silindirle sıkıştırılmış beton
SUL :Sulama
SYGM :Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
USACE :Amerika Birleşik Devletleri Ordu Mühendisleri Taburu
V :Hazne Hacmi
$V_{ölü}$:Ölü Hacim
V_{act} :Aktif Hacim
V_{min} :Minimum Hacim

YAS :Yeraltı Suyu

YÜS :Yerüstü Sulaması

WEAP :Water Evaluation and Planning System

WGS :World Geodetic System (Dünya Geomatik Sistemi)

WHO :Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Su canlı yaşamının vazgeçilmeyen temel ögesidir. Dünyamızın 2/3'ü su ile kaplı olup, yerkürede bulunan suyun % 97.5'i okyanuslarda bulunan tuzlu sulardan oluşmaktadır. Geriye kalan % 2.5 oranındaki tatlı suyun büyük bir kısmı ise kutuplarda (Antartika, Greenland) buzul ve çok derin jeolojik tabakalarda yeraltı suyu olarak bulunur. Ulaşabildiğimiz temiz su kaynakları göllerde, rezervuarlarda, nehirlerde ve derelerde bulunmakta olup, bu miktar yerküredeki toplam tatlı su potansiyelinin % 0.10'unu oluşturmaktadır (Anonim 1, 2024) . İnsanoğlu, su ihtiyacını yüzeysel sular ve yeraltı su kaynaklarından temin etmektedir. Tatlı suların en önemli kaynağı yağışlardır.

Bir insanın hayatını devam ettirebilmesi için gerekli minimum temiz su miktarı günlük yaklaşık 20 litredir. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'nın (BMKP) 2006 yılında yayımladığı rapora göre, gelişmekte olan ülkelerde 1.1 milyar insanın temiz suya erişemediği ve günlük sadece 5 litre su kullanabildiği, Avrupa'da kişi başına düşen su tüketiminin ortalama olarak 200 litre/gün, ABD'de ise 400 litre/gün olduğu ifade edilmiştir (Bilen, 2009).

Dünya genelinde sera gazı emisyonları nedeniyle küresel iklim değişiklikleri yaşanmakta ve sıcaklıklar da artmaktadır. Bu değişikliklere bağlı olarak yağışlar ve su akışlarında değişkenliğe neden olmakta ve yerkürede hidrolojik döngüyü de olumsuz olarak etkilemektedir. Bu durum, gıda arzı, tarım, sağlık, sanayi, turizm ve ulaşım gibi birçok sektörün yanı sıra, ekosistem bütünlüğünü de etkilemektedir.

Stern (2007), emisyonları azaltmak için gerekli önlemler alınmazsa, atmosferdeki sera gazı seviyesinin 2035'te sanayi öncesi seviyesinin iki katına çıkarak küresel sıcaklık artışının 2 °C'nin üzerine çıkabileceğini ifade etmiştir. Bu sıcaklık değişikliğinin, alınan önlemlerin yetersizliği durumunda 5 °C'ye kadar yükselme riski taşıdığı, ekosistemler ile insan yaşamında köklü değişikliklere yol açabileceği ve en fazla zarar görecek bölgelerin ise savunmasız olan yoksul ülkelerin olacağı belirtilmiştir. İklim değişikliğine uyum sağlamak, dayanıklılığı artırmak ve etkilerini hafifletmek için gerekli adımların hızlıca atılması gerektiği vurgulanmıştır. İklim değişikliğine karşı alınacak ekonomik önlemlerin, bilimsel verilerle şekillendirilmesi ve emisyonların azaltılması ile düşük karbonlu ekonomiye geçişin hızlandırılması gerektiği ifade edilmiştir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca (ÇŞB) (2011) Türkiye'de iklim değişikliği nedeniyle yaz mevsimi ortalama sıcaklıklarının artması, kış yağışlarının azalması, yüzey sularının kaybı, kuraklıkların sık aralıklarla tekerrür etmesi, toprağın bozulması, kıyılarda erozyon, taşkın ve su baskınları gibi etkiler su kaynaklarının varlığını doğrudan tehdit etmekte olduğu ifade edilmiştir.

ÇŞB, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü (ÇYGM) (2012) tarafından hazırlanmış olan Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı'nda, son 100 yıl içerisinde küresel

iklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklıkların ortalama 0,5 °C arttığı, Türkiye'nin küresel ısınmanın etkileri açısından riskli ülkeler arasında yer aldığı, zamanla su kaynaklarının azalacağı, kuraklık ve çölleşme gibi sorunlarla karşı karşıya kalacağı, artan nüfus ve kirlenmeyle birlikte temiz su kaynaklarının hızla azalacağı, yağış rejiminin değişeceği, kuraklık ve taşkın gibi doğal afetlerin sıklığının ve şiddetinin artacağı, 2020'li yıllardan sonra Türkiye'nin yarı kurak iklimden kurak iklime geçeceği ve karasal iç bölgelerin çölleşmeye eğilimli kurak alanlar olacağı ifade edilmiştir.

Kızılırmak Havzası'nda iklim değişikliği etkileri üzerine yapılan çalışmada, 2015-2100 dönemine yönelik iklim değişikliği projeksiyonlarına göre sıcaklığın en az 1,8 °C ve en fazla 5,1 °C artmasının beklendiği, yağışların referans döneme kıyasla azalma eğiliminde olduğu, 2041-2070 döneminde yağışların %6 oranında azalmasının öngörüldüğü, bu dönemde iklim değişikliğinin etkisiyle havzanın brüt su potansiyelinde %60'a varan bir düşüş beklendiği, havzanın teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir yeraltı suyu rezervinin %13 oranında azalacağı öngörülmüştür (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2016a).

Su, sürdürülebilir tarımsal kalkınmanın temel kaynağı olarak kabul edilmektedir. Gelecek yıllarda sulanan alanlar artarken, öte yandan tatlı su kaynakları, artan evsel ve endüstriyel talepler nedeniyle tarımdan diğer sektörlere yönlendirilecektir. Sulamada uygulanan suyun %65'inden azı etkin şekilde kullanıldığından, sulama verimliliği oldukça düşüktür. Kurak bölgelerde tarım için sürdürülebilir sulama suyu kullanımı önceliklidir ve iklim değişikliği nedeniyle su verimliliğini artırmayı amaçlayan politikalar geliştirilmektedir. Su daha etkin yönetilerek ve daha randımanlı kullanılarak mevcut ürün verimini elde etmek için daha az su kullanılabilir. Bahsedilen yönetim, su tahsisi ve sulama suyu verimliliğinin iyileştirilmesini içerir. Su tahsisi, uygun fiyatlandırma ile ilişkilidir. Sulama verimliliği ise sulama teknolojisi, çevresel koşullar ve su uygulama zamanlamasına bağlıdır. Sosyo-ekonomik baskılar ve iklim değişikliği, tarıma ayrılan su miktarını baskı altına almaktadır. Akdeniz'de sürdürülebilir su yönetimi, sadece teknolojik bir konu olmayıp, aynı zamanda kırsal toplulukların sosyal davranışları, ekonomik kısıtlamalar ve yasal/kurumsal çerçeveleri de içermekte olduğu ifade edilmiştir (Chartzoulakisa ve Bertaki, 2015).

Suyun yönetilmesi konusu doğrudan su havzaları kavramına bağlı olarak gelişen bir kavramdır. Su havzaları; yüzey ve yer altı sularını içeren ve tüm yüzey sularının nehirler, dereler aracılığıyla taşınarak tek bir nehir ağzı, delta veya haliçten denize ulaştığı kara parçası ya da suların yerçekimi ile toplandığı ve boşaldığı coğrafi sınırlarla tanımlanmış bölgelerdir. Sel, kuraklık, kirlenme ve benzeri doğal ve/veya antropojenik etkiler bu kaynakların sürdürülebilirliğini hızla tehdit etmektedir. Bazı tahminler, 2025 yılından itibaren 3 milyardan fazla insanın su kıtlığı ile yüz yüze geleceğini göstermektedir. Bunun nedeni, dünyadaki su kaynakları miktarının yetersiz olması değil, yönetiminin iyi yapılamamasından kaynaklandığı ifade edilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

Dünya geneli ve ülkemizde de gün geçtikçe su talebinin artması, nüfus artışı, bilinçsiz su kullanımı, çevre kirliliği, su kalitesindeki düşüş, su kalitesini iyileştirme, su kaynaklarını besleme, kullanımlar arasında dengeli su dağıtımı, atık suların yeniden kullanımı, her alanda su kullanım verimliliğinin artırılması ve küresel iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkileri gibi ana konular ileriye dönük planlarda ele alınması gereken hususlar arasındadır. Bu durumda, mevcut su kaynaklarının tamamen kullanımı yeni yaklaşımları gerekli kılmaktadır. İklim değişikliği ve bunun yansıması olan kuraklıkla mücadele edilebilmesi için her sektörde su kayıplarının önlenmesi ve su tasarrufuna yönelik tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Türkiye'nin yüz ölçümü 78 milyon hektar olup, 25 hidrolojik havzaya ayrılmıştır (DSİ, 2023). Yarı-kurak bir bölgede yer alan Türkiye, su kaynakları açısından büyük farklılıklar gösteren bir yağış rejimine sahiptir. Mevsimlere ve bölgelere göre değişen bu yağış rejiminin etkisi altında, bazı akarsu havzalarında ihtiyaç duyulan su miktarı kaynakların potansiyelini aşmaktadır. Türkiye'de yıllık ortalama yağış miktarı 574 mm, toplam yıllık yağış miktarı 450 milyar m^3 ve yıllık toplam su akış miktarı ise 185 milyar m^3 olarak belirlenmiştir. Yıllık tüketilebilecek su potansiyeli, 94 milyar m^3 yerüstü suyu ve 18 milyar m^3 yeraltı suyu olmak üzere toplamda 112 milyar m^3'tür. Yıllık su tüketimi 57 milyar m^3 olup, bunun 44 milyar m^3'ü (%77) sulama için, 13 milyar m^3'ü (%23) ise içme, kullanma ve sanayi suyu olarak kullanılmaktadır. 2000 yılında kişi başına düşen yıllık su miktarı 1.652 m^3 iken, 2022 yılında 1.322 m^3'e düşmüştür (DSİ, 2023). Bu düşüş, Türkiye'nin kişi başına düşen su potansiyeli açısından su baskısı yaşayan ülkeler arasında yer almasına neden olmuştur. Bu nedenle suyun tasarruflu ve verimli bir şekilde kullanılması gerektiği ifade edilmiştir.

Türkiye'de iklim değişikliğinin etkileri konusunda daha çok artan su sıkıntısına ve dolayısıyla kuraklık sorunlarına odaklanılmıştır. Türkiye'de kuraklık, iklim felaketleri listesinde ön sıralarda yer almaktadır. Gelecekte iklim değişikliğinin etkileri ile karşı karşıya kalınabilecek olan ciddi su sıkıntısının önüne geçmek için stratejiler, yasalar ve bilimsel araştırmalarla desteklenen gerçekçi su politikalarının oluşturulması ve hızla hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır. Küresel iklim değişikliğinin su havzaları ölçeğindeki olası sonuçlarını araştırmak amacıyla daha çok bilimsel çalışmaya ihtiyaç vardır.

Bu araştırma kapsamında, Türkiye'deki Kızılırmak havzasının başlangıcında yer alan ve İç Anadolu Bölgesinde bulunan Yukarı Kızılırmak Alt Havzasında uzun yıllar gözlemlenmiş akımlar kullanarak bir havza simülasyon modeli oluşturulmuş, alternatif senaryolar altında havza, sulama ve gıda arz güvenliği açısından optimize edilmeye çalışılmıştır. Havzanın ekolojik su ihtiyaçları da dikkate alınarak, can suyu arz güvenliği konusunda da havzanın hassasiyetleri dikkate alınmıştır. Simülasyon model girdileri için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) destekli veri tabanı oluşturulmuş, model çıktısı olarak da işletme politikaları belirlenerek, önerilerde bulunulmuştur.

Havzalarda su potansiyelinin sağlıklı belirlenmesi ve gelecekteki sektörel su ihtiyaçlarının tespit edilebilmesinde, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkilerini de dikkate alan projeksiyonlara ve havza optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Gelişimini hemen hemen tamamlamış havzalarda, hidrolojik öngörü ve tahminlerle değişen koşullara hazırlıklı olunması, yapılan yatırımların da atıl kalmasına engel olunması açısından da önemlidir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İklim Değişikliği Uyum Sürecinde Sulama Açısından Havza Yönetimi ile ilgili olarak literatür çalışması yapılarak, iklim değişikliği, entegre havza yönetimi, WEAP (Water Evaluation and Planning System) yazılımı ile yapılmış çalışmalar ve modelleme gibi konularda yapılmış olan araştırmalar, yayınlar ve hazırlanmış olan makaleler incelenmiştir.

2.1. İklim Değişikliği İle İlgili Çalışmalar

Damla sulama sistemi tarımsal sulamada en etkili yöntemlerden birisi olup, sulamada temel amaç; suyun ihtiyaç duyulan zamanda ve ihtiyaç duyulan miktarda doğrudan kök sistemine uygulanması, su uygulaması sırasında veya sonrasında su kayıplarının önlenmesidir. Hindistan, İsrail, İspanya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarda, damla sulamanın su kullanımını %30-70 oranları arasında azalttığı ifade edilmiştir (Postel ve ark., 2001).

2050'li yıllar için yapılan analizlerde, 2050'li yıllara gelindiğinde, Kuzey Afrika ile Mısır, Suudi Arabistan, İran, Suriye, Ürdün ve İsrail'in bazı bölgelerinde yağış miktarlarının %20-25 oranında azalmasının beklendiği, bu bölgelerde 2 °C ile 2,75 °C arasındaki sıcaklık artışının olacağı, Akdeniz ülkelerinin kıyı bölgelerinde sıcaklıkların yaklaşık 1,5 °C artacağı, kış aylarında yağışların yaklaşık %10-15 oranında azalacağı ifade edilmiştir (Ragab ve Prudhomme, 2002)

Ragab ve Prudhomme (2002), iklim değişikliğinin sıcaklıklardaki artış ve küresel ısınma olarak düşünülse de, iklim değişikliği kaynaklı etkilerin en önemlisinin yağış rejiminin değişmesi nedeniyle gerçekleşecek etkiler olduğunu, hidrolojik sistemin dünyadaki iklim şartlarından doğrudan ve dolaylı olarak etkilendiğini, sıcaklıklardaki değişmenin buharlaşmayı, toprak nemini, fırtına şiddetini, kar yağış ve erime rejimlerini etkilediğini, yağışlardaki değişimlerin taşkın ve kuraklık olaylarının zaman, şiddet, yüzeysel akış rejimi, yeraltına sızan su miktarı, bitki deseni ve büyüme hızlarında değişikliğe yol açtığını ifade etmişlerdir.

İklim değişikliğinin dere akışları ve zemin suyu beslenmesi üzerindeki etkileri, bölgesel yağış değişimlerine bağlı olarak değişir. Kar yağışının su dengesi üzerindeki rolü hâlâ önemli olup, birçok bölgede en yüksek yüzey akışı ilkbahardan kışa doğru kayabilir. Belediyeler ve sanayi gibi kurumlar, iklim değişikliğinden doğrudan etkilenmeyebilirler, ancak sulama suyu talepleri üzerinde önemli bir etkisi olabilir. Su kaynakları üzerindeki iklim değişikliği etkileri sadece nehir akış miktarı, kar erimesinin zamanlaması, su kalitesi ve zemin suyu beslenmesindeki değişikliklerle sınırlı değildir. Aynı zamanda sistem özelliklerine, değişen baskılara, su yönetimi stratejilerine ve iklim değişikliği önlemlerine bağlı olarak da değişiklik gösterir. İklim değişikliğinin hidroloji üzerindeki etkileri genellikle genel dolaşım modellerinin çıktılarından başlayarak, iklim değişikliği senaryolarını hidrolojik modellere uygulayarak değerlendirilir. Bu süreçteki temel gelişmelerin; hidrolojik etkileri değerlendirebilecek senaryoların oluşturulması, gerçekçi hidrolojik modellerin

geliştirilmesi, kullanılması ve iklim ile hidrolojik sistemler arasındaki bağlantıların ve geri bildirim mekanizmalarının daha iyi anlaşılması olduğu ifade edilmiştir (Şen, 2005).

İklim değişikliğinin su döngüsünde uzun vadeli yapısal değişiklikler ve artan değişkenlik ile tarımsal verim üzerinde çeşitli olumsuz etkiler doğurması beklenmektedir. Yoğun yağışlar, seller, toprak kaymaları ve kontrolsüz yangınlar gibi olayların daha sık görülmesi, birçok havzada toplulukların zararını artırmaktadır. Bu yapısal değişikliklerin ve artan değişkenliğin sosyal ve ekonomik maliyetleri bulunmakta olup, geniş kapsamlı bir entegre havza planlama çerçevesi içerisinde uygulanacak yönetim stratejileri bu maliyetleri azaltabilir. Havza yönetiminin, afete hazırlık için risk yönetimi yaklaşımlarını da destekleyebileceği, son dönemlerde havza yönetim programlarının, iklim değişikliklerini de dikkate almaya başladığı ifade edilmiştir (Daeghouth ve ark., 2008).

Fujihara ve ark. (2008) tarafından Seyhan Havzasında iklim değişikliğinin hidroloji ve su kaynaklarına etkileri üzerine yapmış oldukları çalışmada; Seyhan Nehri Havzası için yıllık ortalama sıcaklık değişiminin Meteoroloji Araştırma Enstitüsü GCM (MRI)'de +2,0 °C, İklim Sistemi Araştırma Merkezi GCM'de (CCSR) +2,7 °C olduğunu, ortalama yıllık yağış değişiminin -157 mm olarak ölçüldüğünü, 1818 numaralı AGİ dikkate alındığında aylık ortalama giriş akışının önemli ölçüde azalacağını, Nisan ayındaki akım değerindeki azalmanın Mayıs ve Haziran aylarındaki değerlerden daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir.

İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi modelleme yapılarak incelenmeli, farklı senaryolar altında uyum ihtiyaçları ve maliyetler belirlenmeli ve bu bilgiler uzun vadeli su planlarına dahil edilmelidir. Su kaynaklarının yönetimi çerçevesinde, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek için gerekli önlemler alınmalıdır. Bu önlemler kapsamında, ilk adım olarak havza bazında mevcut verilerin modellenmesiyle bir su bütçesi oluşturulmalıdır. İklim değişikliğinin havza üzerindeki etkilerinin incelenebilmesi, içme, sulama ve enerji üretimi gibi projelerde kullanılan su kaynaklarıyla ilgili olarak ileriye yönelik tahmin yapılabilmesi için modelleme yapılması gerektiği ifade edilmiştir (Karaman ve Gökalp, 2010).

ÇŞB, ÇYGM (2012) tarafından hazırlanmış olan Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı'nda, **k**üresel sıcaklık artışının 2 ˚C'ye ulaşması halinde, Türkiye'nin de içinde yer aldığı Akdeniz Havzası'nda beklenen değişikliklerin, iklim değişikliğinin etkilerine karşı alınması gereken önlemlerin programlı olması gerektiği belirtilmiştir. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Dördüncü Değerlendirme Raporu'nda, Akdeniz Havzası'nda genel sıcaklık artışının 1 °C - 2 °C'ye ulaşacağı, kuraklığın geniş bölgelerde hissedileceği ve özellikle iç kesimlerde sıcak hava dalgalarının ve aşırı sıcak günlerin sayısının artacağı ifade edilmiştir. Türkiye'de ise yıllık ortalama sıcaklığın gelecek yıllarda 2,5 °C – 4 °C artacağı, Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nde 4 °C'yi, iç bölgelerinde ise bu artışın 5 ˚C'yi bulacağının tahmin edildiği, gerek IPCC raporu, gerekse yürütülen bir dizi ulusal ve uluslararası bilimsel model çalışmalarının, Türkiye'nin yakın gelecekte daha sıcak, daha kurak ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim

yapısına sahip olacağını ortaya koyduğu belirtilmiştir. 2007 yılında hazırlanan Türkiye'nin İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildiriminde; iklim değişikliğinin Türkiye'deki etkilerinin; özellikle su kaynaklarının azalması, taşkınların artması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ve bunlara bağlı ekolojik bozulmalar gibi olumsuz etkilere neden olacağı ifade edilmiştir.

Ülkemizde uygulanan sulama yöntemleri arasında en çok su kaybı, en yaygın olarak kullanılan yüzey sulama yönteminde meydana gelmektedir (su kaybı %35-%60 arasında). Buna karşın, yağmurlama ve damla sulama yöntemlerinde su kaybı daha azdır (%5-%25 arasında). Ege, Akdeniz, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki akarsuların su miktarı, uzun vadede belirgin bir azalma eğilimi göstermektedir. Kuzey Ege, Güney Marmara, Orta Akdeniz, İç ve Güneydoğu'nun kuzey kesimlerinde ise akarsu debileri azalış eğilimindedir. Bu azalma eğilimi, tarımın yaygın olduğu, sanayileşme ve kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde daha hızlıdır. 1999-2000 döneminde Doğu, Güneydoğu, İç ve Ege bölgelerinde kuraklık artmıştır. Yeraltı su kaynakları hızla azalmaktadır. Yerüstü su kaynakları ise yeterince beslenememekte ve hızla kirlenmektedir. Sulamaların %93'ü yüzey sulama yöntemiyle yapılmakta olup, bu sulamalar su tasarrufuna dikkat edilmeyen, suyu fazla kullanan yöntemlerle gerçekleştirildiği ifade edilmiştir (Yıldırım, 2013).

Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), "İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi" ile 2015 ve 2100 yılları arası projeksiyon dönemini dikkate alarak, Türkiye'yi kapsayan 25 nehir havzasında iklim değişikliğinin yüzeysel ve yeraltı sularına etkisinin tespitini ve uyum faaliyetlerinin belirlenmesini amaçlayan çalışmayı yapmıştır. Kızılırmak Havzası üzerine yapılan çalışmada, 2015-2100 dönemine yönelik iklim değişikliği projeksiyonlarına göre bazı önemli sonuçlar ortaya konmuştur. 1971-2000 yılları arasındaki gözlemler, havzanın ortalama sıcaklığının 10,3 °C olduğunu göstermektedir. Ancak 2071-2100 döneminde bu sıcaklığın en az 1,8 °C ve en fazla 5,1 °C artması beklenmektedir. Aynı gözlem verilerine göre, havzanın yıllık ortalama yağış miktarı 448,7 mm olarak hesaplanmıştır. Projeksiyonlar, yağışların referans döneme kıyasla azalma eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır. 2041-2070 döneminde yağışların %6 oranında azalması öngörülmektedir. Bu dönemde iklim değişikliğinin etkisiyle havzanın brüt su potansiyelinde %60'a varan bir düşüş beklenmekte olup, yıllık kullanılabilir su miktarının su ihtiyacını karşılamayacağı ve yaklaşık 2.160 milyon m^3/yıl su açığı oluşacağı tahmin edilmektedir. Hidrojeolojik çalışmalar sonucunda, havzanın yeraltı suyu rezervi 494 km^3 olarak belirlenmiş, bunun 266 km^3'ü teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir olarak hesaplanmıştır. İklim değişikliği etkileri nedeniyle, yüzyılın sonunda bu rezervlerin sırasıyla %7 ve %13 oranında azalacağının öngörüldüğü ifade edilmiştir. (SYGM, 2016).

Bayraç ve Doğan (2016), 1980-2013 yılları arasındaki dönem için Türkiye'deki iklim değişikliklerinin tarım sektörü üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, tarımsal GSYİH ile tarım verimi, CO_2 emisyonu, sıcaklık ve yağış miktarı arasındaki ilişkiyi ARDL modeli ile tahmin etmişler, elde ettikleri tahmin sonuçlarına göre, tarım verimi ve yağış miktarında görülen değişikliklerin tarımsal GSYİH üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkisinin olduğu, CO_2 emisyonunda

yaşanacak değişiklerin ise, tarımsal GSYİH üzerinde anlamlı ve negatif bir etkide bulunduğu, sıcaklık değişimlerinin tarım sektörü üzerinde olumsuz etkide bulunduğunu ve iklim değişikliğinin tarım sektörü üzerindeki etkisinin negatif yönde olduğunu destekler nitelikte olduğunu ifade etmişlerdir.

Talu ve ark. (2021) tarafından ÇŞB tarafından BMKP aracılığı ile yürütülmüş olan ve Avrupa Birliği (AB) ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilen "Türkiye'de İklim Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi" kapsamında hazırlanmış olan "Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Çalışmaları" raporunda, ulusal düzeydeki politikalar, çeşitli sektörlerde ve yerleşim alanlarında iklim değişikliğiyle uyum çalışmalarının analiz edildiği birçok incelemede, küresel iklim değişikliğine bağlı olarak artacak hava olaylarının gezegenin hidrolojik döngüsünü değiştirerek doğal süreçleri ve insan yaşamını olumsuz etkileyeceğini, artan sıcaklıkların etkisiyle bazı bölgelerde yağış ve sel olaylarının artacağı, diğer bölgelerde ise yağışların azalması ve kuraklıkların artmasının beklendiği, her iki durumda da tarımsal alanlarda ve ürünlerde önemli değişiklikler yaşanmasının muhtemel olduğu, bunun da su kaynakları sorununu daha da büyüteceğini ifade etmişlerdir.

Tarım ve Orman Bakanlığı, 1. Su Şurası (2021a)'nda, İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi ve Uyum Grubu Çalışma Belgesi'nde iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi, taşkın yönetimi ve kuraklık yönetiminin ülkemizdeki mevcut durumu ve bu alanlarda gerçekleştirilen ilerlemeler, plan ve projelerin yanı sıra yaşanan problemlerin aşılması için yapılması gereken çalışmalar ve çözüm önerileri de sunulmuştur. Sonuç olarak, iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi, taşkın yönetimi ve kuraklık yönetimi için kısa, orta ve uzun dönemi kapsayan stratejiler belirlenmiştir. İklim değişikliği neticesinde su potansiyelinde ülkemizde %20-30 oranında azalma beklendiği, su kaynaklarının yönetiminde sınırsız taleplerin değil, sınırlı su kaynaklarının yönetiminin esas alınmasının ve her havzaya dair planlamaların (tarım, şehirleşme vb) o havzanın su kapasitesine göre yapılması gerektiği ifade edilmiştir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü iklim değişikliğinin gelecekte ülkemizi nasıl etkileyeceğini ortaya koyabilmek için 2015-2099 dönemi için 3 farklı küresel model ile iklim projeksiyonları geliştirmiştir. Çalışmada HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDLESM2M küresel model veri setleri kullanarak RegCM4.3.4 Bölgesel Modeli ile dinamik ölçek küçültme yöntemiyle RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre 20 km çözünürlüklü Türkiye ve bölgesi için projeksiyon sonuçları elde edilmiştir (MGM, 2015). RCP4.5 senaryosuna göre 2015-2099 döneminde Türkiye'deki yıllık sıcaklıkların ortalama olarak 1,5 °C – 2,6 °C aralığında artmasının beklendiği ifade edilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 1. Su Şurası, 2021a).

Türkiye'de suyun dörtte üçü sulamada kullanılmakta olup bu yüzden sulama tesisleri inşa edilirken modern ve tasarrufu en yüksek yağmurlama ve damla sulama yöntemleri tercih edilmektedir. Kapalı sistem basınçlı borulu sulama sistemine geçilmesi ile iletim kayıpları minimum seviyeye indirilmekte ve tarla içi sulama sistemleri ile önemli ölçüde su tasarrufu sağlanmaktadır.

Böylelikle, yağmurlama sulamalarda % 35, damla sulamalarda ise % 65 oranında su tasarrufu sağlanabileceği ifade edilmiştir (DSİ, 2023).

2.2. Entegre Havza Yönetimi İle İlgili Çalışmalar

Entegre Havza Yönetimi; su kaynaklarının, ilgi gruplarının katılımıyla, havza ölçeğinde ele alındığı bir planlama anlayışıdır. Ülkemizde, kısıtlı su kaynaklarının akılcı kullanımı için bu yaklaşımın benimsenmesi önemlidir. Entegre havza yönetimini günümüzde tüm dünyada su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde yeni bir yaklaşım olarak ele alabiliriz. Bu yaklaşımda, tüm kesimlerin görüş, beklenti ve amaçlarını dengeleyecek bir planlama, organizasyon ve kontrol mekanizması uygulanması esas alınır.

Ülkemizde ve aynı zamanda dünya genelinde son yıllardaki hızlı nüfus artışına paralel olarak, su talepleri de artmakta ancak kullanılabilir su kaynağı miktarı azalmaktadır. Sanayi ve tarımsal faaliyetlerde yoğun olarak suyun kullanılması, kirlilik gibi nedenler de dikkate alındığında mevcut su kaynaklarının iyi bir şekilde yönetilmesi açısından havza bazında yönetilmesi gerekmektedir.

Su kaynakları üzerinde yapılacak her müdahalenin sürdürülebilir, koruma-kullanma ilkeleri doğrultusunda akılcı politikalar içermesi çok net bir gerekliliktir. Su kaynakları üzerindeki artan tüketim talepleri, kaynaklardan yararlananlara eşit fırsatlar ve faydalar sağlayacak şekilde sürdürülebilir özelliklere sahip olmalıdır. Bu da, nehir havzalarının kaynaktan başlayarak bir bütünlük içerisinde ele alınmasını, havzadaki mevcut kirletici kaynaklarının değerlendirilmesini, diğer bir ifade ile "havza planlaması" yapılmasını gerektirmektedir.

Havza bazlı optimizasyon çalışmaları ile operasyonel müdahalelerin önemine birçok araştırmada dikkat çekilmiş, araştırmacılar tarafından en uygun havza modelinin arayışına girilmiştir. Literatürde, havza bazlı su kaynakları yönetimini optimizasyon odaklı ele alan, havzaya en uygun modelin ve sentetik veri üretmek suretiyle senaryoların da araştırıldığı ve iklim değişikliği etkisinin olası etkilerinin incelendiği birçok çalışma mevcuttur.

Günümüzde su kaynaklarının yönetimi daha karmaşık bir hal almaktadır. Bu karmaşıklığın temelinde, karşılaşılan sorunların çeşitliliği ve kapsamının artması yatmaktadır. Eskiden yalnızca suyun nerede ve ne kadar bulunduğu sorusuna odaklanılırken, artık su miktarı ve kalitesini etkileyen tüm faktörlerin birlikte ele alınması gerekmektedir. Günümüzde, su kaynakları yönetiminde gelişen yaklaşım, kaynakların havza bazında ve diğer doğal kaynaklarla entegre şekilde yönetilmesidir. Entegre havza yönetiminin temel amacının, havzanın sadece su miktarı açısından değil, tüm yönleri ve kaynakları ile tanınarak daha tutarlı yönetim kararları alınması gerektiği ifade edilmektedir (Harmancıoğlu ve ark, 2002).

Akarsu havzası yönetimi, havza ve alt havzalarında uygulanacak önlemleri içeren bir yöntemdir. Havza sınırları idari sınırlarla örtüşmediğinden dolayı, yönetim konusunda farklı bölge, il ve ülkeler arasında işbirliği gerekmektedir. Su kıtlığı ve kirlilik gibi sorunlar karşısında Entegre Su Kaynakları Yönetimi, sürdürülebilir kalkınma hedefiyle sosyoekonomik, fiziksel ve çevresel faktörleri dengeli bir şekilde ele alır. Bu yaklaşımın temel özellikleri; havza bazında yönetim, tüm su kaynaklarının bütüncül değerlendirilmesi, arazi ve su kaynakları ilişkisinin göz önünde bulundurulması, doğal sınırlamalar, sosyal ve ekonomik gereksinimler ile politik süreçlerin entegrasyonu ile nehir ve havzaların sürdürülebilir kullanımıdır. İyi bir duruma ulaşmak amacıyla alınması gereken önlemleri kapsayacak şekilde ve çeşitli analizler yapılarak her nehir havzası için "Nehir Havzası Yönetim Planı (NHYP)" oluşturulması gerektiği ifade edilmektedir (Dalkılıç ve Harmancıoğlu, 2008) .

Daeghouth ve ark. (2008), 2005 ve 2006 yıllarında Dünya Bankası tarafından finanse edilen proje kapsamında, gelişmekte olan ülkelerdeki havza yönetimi çalışmalarını incelemiştir. Havza yönetimi, suyun, toprağın ve bitki örtüsünün entegre kullanımını kapsar ve hidrolojik hizmetlerin korunmasını, olumsuz etkilerin azaltılmasını hedefler. Bu yaklaşım, su kullanımı ile yukarı ve aşağı havza etkileri arasındaki bağlantıları, farklı paydaşların varlığını ve yüksek arazilerdeki kaynak tüketimi ile yoksulluk arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurur. Modern araçlar, modelleme ve uzaktan algılama gibi tekniklerle, su havzası hidrolojisi üzerinde yapılan yönetim etkilerinin planlanması ve izlenmesi önemlidir. Büyük hidrolojik sistemlerde, entegre bir yönetim yaklaşımı gereklidir ve hidrolojik hedefler doğrultusunda stratejiler belirlenmelidir. Ayrıca, su kaynaklarının korunması için çeşitli paydaşların işbirliği yapması gerektiği vurgulanmış ve özellikle yüksek arazilerdeki kaynak kullanımı ile yoksulluk arasındaki ilişki yönetim stratejilerinin şekillendirilmesinde kritik bir faktör olduğu ifade edilmiştir.

EPA (2008) raporuna göre, havza planlama süreci, su kalitesi sorunlarını tanımlamak ve çözmek amacıyla belirli aşamalar izler. Bu süreç, ortaklıkların kurulması, sorunların belirlenmesi ve havzanın karakterize edilmesiyle başlar; ardından hedefler belirlenir, çözüm önerileri geliştirilir ve uygulama programları tasarlanır. Havza planının uygulanması sonrasında, su kalitesindeki ilerleme izleme faaliyetleriyle ölçülür ve elde edilen veriler doğrultusunda gerekli ayarlamalar yapılır. Bu sürekli iyileştirme süreci, yıllık çalışma planlarıyla desteklenir. 1980'lerin sonlarından itibaren havza örgütleri, yerel halk ve ilgili devlet kurumları, su kalitesini yönetmek için daha entegre bir yaklaşım benimsemiş ve havza bazında sürdürülebilir çözümler geliştirilmiştir.

Sosyal ve ekonomik kalkınmanın sağlanması açısından, su arz ve talebinin uzun dönemler dikkate alınarak kaynağın kendisine zarar vermeden sürdürülebilir şekilde dengelenmesi, su kaynaklarının yönetimi için önemlidir. Türkiye'de nehir havza sınırları içinde su ve toprak kaynaklarının teknik ve ekonomik temellerle geliştirilmesi, havza planlama anlayışı olarak 1958 yılında 9. Cumhurbaşkanı Süleyman Demirel'in DSİ Genel Müdürü olarak görev yaptığı dönemde yayımlanan "Proje Esaslarının Tespitine Ait Talimat" belgesiyle başlamıştır. Bu talimat, bir havzanın

keşfi, planlanması (amenajman), kesin planlama (avan proje) gibi üç aşamalı çalışmalarında havza ve örnek projelerin analiz edilmesini, alternatiflerin incelenmesini ve proje esaslarının belirlenip savunulmasını amaçlamaktadır. Kızılırmak Havzası'nın istikşaf çalışmaları ise 8 Kasım 1964 tarihinde Başbakan İsmet İnönü'nün şahsen katıldığı bir toplantıda sunulmuştur (Bilen, 2009).

Su yönetimi, su kaynaklarının planlı bir şekilde geliştirilmesi, dağıtılması ve kullanılmasıdır. Hem mevcut hem de gelecekteki ihtiyaçların karşılanması ve gıda güvenliğinin sağlanması için, su kaynaklarının fiziksel, sosyal, ekonomik ve çevresel faktörleri kapsayan entegre bir yönetim yaklaşımıyla ele alınması gerekmektedir. Bu entegre yönetim yaklaşımı, suyu hem doğal bir kaynak hem de miktar ve kalitesine bağlı olarak kullanım amacı değişebilen bir meta olarak kabul eder. Bu anlayış, son yıllarda birçok ülkede benimsenmiş ve uygulanmaya başlamıştır (Aküzüm ve ark, 2010).

Havza yönetimi, iklim değişikliğine uyum sağlamak için küresel çapta kritik ve her durumda uygulanabilir bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, hidrolojik rejimde olası iklim değişikliği etkileri ile kaynak kullanımları arasındaki ilişkiyi vurgulayarak, planlamacılara ve karar vericilere, yatırımlarını iklim etkilerine karşı dayanıklı hale getirme konusunda rehberlik eder. Tarımsal koşullar, geleneksel tarım uygulamalarının sürdürülmesi, tarımsal kimyasalların kullanımı, su kaynaklarının sınırlı olması gibi faktörler havza yönetiminin önemli odak noktaları arasındadır. Havza yönetimi, belirli bir drenaj alanındaki hidrolojik hizmetlerin sürdürülebilirliğini sağlamayı, toprak, bitki örtüsü, su ve diğer doğal kaynakların entegre bir şekilde korunmasını, geliştirilmesini ve bu kaynaklardan yararlanılmasını amaçlar. Sürdürülebilir havza yönetiminin temelini, mevcut arazi ve su kullanımı, bu kullanımın ekoloji ve biyoçeşitlilik üzerindeki etkileri, sosyo ekonomik ve çevresel etkiler ile bu etkilerdeki değişimlerin sonuçlarının anlaşılması oluşturur. Genel anlamda havza yönetimi, nehir havzası, alt havza veya mikro havza düzeyinde bir yönetim anlamına geldiği ifade edilmiştir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014).

Karaer (2014), yaptığı çalışmada, Büyük Menderes Havzasında incelemeye alınan sulama işletmelerinin performansları, bunların kendi aralarında karşılaştırılması ve entegre havza yönetimi yaklaşımının havzada uygulanabilirliği açısından incelemiş, bu yaklaşımın Türkiye'de uygulanabilirliği, planlama araçlarının yanı sıra, yasal ve kurumsal çerçevede değerlendirilmiştir. Türkiye'de su ile ilgili yasal ve kuramsal çerçevenin yetersiz olmasına ve entegre havza yönetimi planlarının tanımsız olmasına rağmen, Büyük Menderes Havzası katılımcılık düzeyinin fazla olduğu ve yapılan planlama ve öngörülen teşkilatlanma yapısı ile uygulamaya geçildiğinde başarılı örneklerden biri olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, Büyük Menderes Havzası Entegre Havza Yönetim Planı'nda havza su kullanımında en büyük paya sahip olan tarımsal sulama ve işletmeciliğine yönelik konuların yetersiz kaldığı ve bu konulara planda daha fazla yer verilmesi gerektiği, tarım sektörünün olası bir su sorunundan en az düzeyde etkilenmesi için önlem alınması ve sulama yönetimine gereken önem verilmesinin gerektiği, tarımda, kısıtlı sulama yapılması, basınçlı sulama yöntemlerine göre sulama sistemlerinin projelendirilmesi, alternatif su kaynaklarının (atık suların geri kazanımı, yüzey sularının suyun kıt olduğu alanlara yönlendirilmesi, su tasarrufu sağlayan sulama yöntem ve

tekniklerinin geliştirilmesi, atık sulardan ve drenaj sularından yararlanma olanakları) geliştirilmesi, su dağıtım kayıplarının en aza indirilmesi için açık sistemlerden vazgeçilerek kapalı borulu sistemlerin yaygınlaştırılması gerektiği gibi hususları belirtmiştir.

Havza bazında su kaynakları yönetim planı çalışmalarında temel esas, proje sahasının iklimsel, hidrometeorolojik, topoğrafik, su kaynakları ve ekosistem dengeleri açısından değerlendirilmesidir. Bu çerçevede, veri altlıklarının oluşturulması ve ilgili havza ile alt havzalardaki dinamik ilişkilerin hem geçmiş veriler hem de gelecekte beklenen değişimler temelinde tanımlanması önem arz eder. Ardından, hidrolojik ve hidrojeolojik analizler ile modelleme yaklaşımları kullanılarak yüzey ve yeraltı su kaynaklarındaki zamansal ve mekansal değişimlerin belirlenmesi gerekir. Bu verilerin temelinde, havza ölçeğinde bütüncül su kaynakları bütçesinin sürdürülebilir bir yaklaşım içinde oluşturulması gerekmektedir (Tunçok ve Bozkurt, 2015).

İklim değişikliği, rezervuarların operasyonel hedeflerini karşılama performansını ciddi şekilde etkileyebilmektedir. Ancak, rezervuarlar iklim değişikliğine uyum sağlamada yardımcı olmaktadır. Rezervuarların operasyonel güvenilirliği, hassasiyeti ve sağlamlığı, hidrojeolojik koşullara göre nasıl değiştiğini anlamak için incelenmiştir. Gelecekteki su kaynakları sistemlerinin güvenilirliği için küresel iklim modeli projeksiyonları, resmi Bayes belirsizlik analizi ve yeraltı suyu-yüzey suyu hidrolojik modellemesi entegre edilerek, değişken kural eğrilerinin, iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmedeki etkinliği de değerlendirilmiştir. Artan hava sıcaklıklarının, gelecekte yeraltı suyu ve yüzey suyu havzaları için yaz aylarındaki çevresel akış hedeflerinin güvenilirliğini sırasıyla %42 ve %12 oranında azalttığı, ancak bu etkilerin rezervuarların doluluk ve taşkın kontrolü üzerinde ihmal edilebilir etkileri olduğu, iki farklı hidrojeolojik ortamda alt havzaların iklim duyarlılığındaki farklılıkların belirginleştiği ve diğer havzalarda yeraltı suyu kaynaklarının modellemesi için önemli olduğu belirtilmiştir (Mateus ve Tullos, 2017).

Koç (2018), yaptığı çalışmada, havza bazlı yaklaşımlar ile su kaynaklarına ilişkin projelerin geliştirilmesi ve etkin şekilde işletilebilmesi için su kaynaklarının istenilen zaman ve doğrulukta ölçülmesinin önemini belirterek, tarım, sanayi ve turizm potansiyelinin yüksek olduğu Büyük Menderes Havzasında; sulama, enerji, içme ve kullanma, taşkın ve ekoloji amaçlı projelerin entegre işletilmesi için havza su kaynaklarının istenen zaman aralıklarında doğru biçimde ölçülüp, izleneceği ve aynı zamanda denetlenebileceği bir ölçüm ve izleme sisteminin nasıl olması gerektiğine ilişkin bir çalışmanın unsurlarını araştırmış, düşünülen bu sistemin entegre havza yönetimi için önemi ve nasıl gerçekleştirileceğine ilişkin önerilerde bulunmuştur. Su kaynağı doğru ve istenilen zaman aralıklarında ölçülmediğinde, geliştirilecek yeni projeler için doğru verilerin sağlanması ve işletilen sulama, enerji, içme suyu ve ekoloji projelerine tahsis edilen su miktarlarının hazırlanan entegre havza su planına göre kullanılıp, kullanılmadığının belirlenebilmesinin, hazırlanan havza su planlarının uygulama ile ne derece örtüştüğünün hesaplanmasının mümkün olmayacağı, bu sorunu çözmenin tek yolunun gelişmiş yöntemlerin kullanılması olduğu, bu konuya ilişkin taslak çalışma,

plan ve önerilerin hazırlanması ve hızla uygulamaya geçirilmesinin entegre havza yönetiminin en önemli unsuru olduğunu belirtmiştir.

Tullos ve ark (2020), Oregon'daki Willamette Nehri Havzası'ndaki (WRB) 13 adet taşkın düzenleme projesinde yaptıkları çalışmada, rezervuar performansındaki bireysel ve toplu değişiklikleri incelemiştir. Bu analiz, senaryo bazlı bir yaklaşımla iklim ve operasyonel değişiklik senaryolarını değerlendirerek yapılmıştır. İklim senaryoları için yapılan analizlerde, sel riskinin azaltılması ve yaz biyolojik görüşü (BiOp) akış hedeflerinin karşılanması gibi temel operasyonel hedeflerin etkilenme olasılığının düşük olduğu bulunmuştur. Ancak daha şiddetli ısınma senaryolarında, rezervuarların tamamen yeniden doldurulması ve ilkbahardaki BiOp akış hedeflerinin karşılanması kapasitesinde mütevazi azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, rezervuarların 2 hafta önce yeniden doldurulması, diğer operasyonel hedeflerden ödün vermeden iklim değişikliğinin getirdiği depolama açığını azaltmada etkili olduğu, Willamette Projesi'nin operasyonel hedeflerine güvenilir bir şekilde ulaşılmasındaki eksiklikler, bazı durumlarda basit operasyonel değişikliklerle büyük ölçüde giderilebilir nitelikte olduğu belirtilmiştir. Ancak, sosyopolitik faktörler (örneğin su hakları tahsisi) ve su kalitesi yönetimindeki değişiklikler (örneğin sıcaklık artışı, zararlı alg çoğalmaları) gibi faktörlerin, operasyonel hedeflerin karşılanmasında rezervuar performansının azaltılmasında hidrolojik değişiklikler kadar veya daha fazla etkili olabileceği ifade edilmiştir.

Planlamanın kapsamı ve amaçlarına uygun şekilde seçilecek tüm bu yönetimsel uygulama araçları ile iklim değişikliği gibi hidrolojik döngüde uzun vadede yapısal değişiklik meydana getirecek unsurların da önüne geçilebilecektir. Yakın zamanda, su havzası yönetimi projelerine iklim değişikliği de dahil edilmekte ve yüksek risk taşıyan su havzalarını ele almak için bazı "özel iklim değişikliği uyum projeleri" tasarlanmaktadır. İklim değişikliği risk azalizi ve uyum seçeneklerinin artık tüm su havzası yönetim projelerine dahil edilmesi de önerilmektedir.

2.3. Modelleme İle İlgili Çalışmalar

Aydın (1988) tarafından yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında, Yukarı Fırat Havzası'nın DSİ 9. Bölge sınırları içerisinde yer alan Peri, Munzur ve Murat kollarına ait akımlar modellenerek, havzanın simülasyon programı oluşturulmuştur. Simülasyonda, işletmedeki ve planlama aşamasındaki projeler dikkate alınmıştır. Simülasyon sonuçları, çeşitli performans indeksleri ve grafiklerle değerlendirilmiştir. Öncelikle, havza üzerindeki akım gözlem istasyonlarından elde edilen aylık akım verileri kullanılarak, 1., 2. ve 3. derece Markov modelleriyle sentetik akımlar oluşturulmuştur. Böylece, akımların gelecekteki durumu ve olasılıkları da hesaba katılmıştır. Daha sonra, bu kollar üzerindeki her bir tesis ve akım istasyonu modele tanıtılarak havzanın simülasyon modeli hazırlanmıştır. 2. derece Markov modeliyle üretilen sentetik akımlar, simülasyon modelinde akım değerleri olarak kullanılmıştır. Havza üzerindeki tesislerin karakteristik özellikleri DSİ'nin planlama raporlarından alınarak modele entegre edilmiştir. Modelde "Düğüm Noktaları Metodu"

kullanılmıştır. Simülasyon modeli hazırlandıktan sonra program, çeşitli alternatiflere göre 11 yıllık süreyle çalıştırılmış ve sonuçlar, çeşitli performans indeksleri hesaplanarak tablolar halinde sunulmuştur. Ayrıca, bu sonuçlara dayanarak grafikler çizilmiş ve yorumlanmıştır. Bu şekilde, havza üzerinde optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Günümüzde su kaynakları yönetimi alanında, yağış, akış, sızma, buharlaşma, erozyon gibi hidrolojik süreçleri açıklamak için çeşitli modelleme çalışmalarına sıkça rastlanmaktadır. Bu çalışmalar, geçmişte geliştirilen basit modellerden, günümüzdeki gelişmiş havza modellerine kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Basit modeller, daha karmaşık havza modellerinin temellerini oluşturmuş, bu sayede daha kapsamlı ve entegre yaklaşımlar geliştirilmiştir. Günümüzde, havza modelleri olarak adlandırılan entegre modeller, birçok hidrolojik süreci bir arada modelleyerek kullanıldığı ifade edilmiştir (Fıstıkoğlu, 1999).

Hidrolojik modellerin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan iki ölçüt ortalama karesel hata (MSE) ve Nash-Sutcliffe verimlilik kriteri (NSE) olmuştur. MSE ve normalizasyonlu NSE, gözlemlenen verilerle hidrolojik modellerin kalibrasyonu ve değerlendirilmesinde en çok tercih edilen iki kriter olarak belirtilmiştir. MSE, tahmin edilen değişkenin birimiyle ilişkili bir değere sahipken, NSE boyutsuzdur ve bu özelliği nedeniyle genellikle model performansının raporlanması ve karşılaştırılması için daha çok tercih edilmiştir (Gupta ve ark., 2009).

Doğan ve Doğan (2020) çalışmalarında, model performans kriterlerine genel bir bakış sunmayı amaçlamışlardır. Modeller, tahmin süreçlerinde kritik bir rol oynamış, ancak her veri kümesinin farklı ilişkiler içeren değişkenler barındırdığı ve model seçiminin çeşitli kısıtlamalara tabi olduğu vurgulanmıştır. Literatürde, örneklem büyüklüğü, model yapısı, veri dağılımı, tahmin yöntemleri ve değişken sayısının model seçiminde etkili olduğu belirtilmiştir. Model doğrulama indekslerinin yerine, verilere uygunluğu en iyi şekilde değerlendiren indekslerin seçilmesi gerektiği ancak bunun pratikte karmaşık olduğu ifade edilmiştir. Çalışmalarda kullanılan farklı veriler, önerilerin genelleştirilmesini zorlaştırmış, model değerlendirme kriterlerinin tanımlayıcı yeterlilik, basitlik ve genelleştirilebilirlik gibi özellikleri içermesi gerektiği ortaya konmuştur. Modeller, karar destek araçları olarak verilerin tahmini değerlerini ve hata miktarlarını sunmuş ve güven aralıkları oluşturmuştur. En iyi modelin seçilmesi için, verileri en doğru şekilde tanımlayan, en doğru tahminleri yapan ve en basit modelin tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, farklı veri kümeleri arasındaki karşılaştırmalarda ölçüm hataları ve kontrolsüz değişkenlik kaynaklarının dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir. Model seçim kriterlerinin araştırmaya rehberlik etmesi gerektiği ve gerekliliğin ötesine geçilmemesi gerektiği vurgulanmıştır.

Tarım ve Orman Bakanlığı, 1. Su Şurası (2021b), Su Kaynaklarının Yönetiminde Karar Destek Sistemleri Çalışma Belgesi'nde; su yönetimi uygulamaları çerçevesinde tüm bileşenlerin temelinde yer alan hidrolojik modelleme çalışmalarının, karar destek sistemlerinin ayrı düşünülmez bir parçası olduğu, karar vericilere karar alma süreçlerinde bilimsel bir destek sunan hidrolojik modeller, senaryo bazlı tahminlemeler yoluyla yatırımların, problemlerin çözümünün mevcut

durumlarının korunması ve iyileştirilmesine yönelik tedbirlerin alınmasında önemli yer tuttuğu belirtilmiştir. Karar Destek Sistemleri (KDS), bu tür modelleme araçlarının planlayıcılar ve karar vericiler tarafından kullanılabilmesine olanak sağlar. Modelleme ve analiz araçlarını, bir veri tabanı ve enformasyon sistemi ve bir iletişim ortamı ile ilişkilendirerek, bir arayüz işlevi görür. Bir KDS, farklı kaynaklardan modellere erişebilir ve bunları, girdileri ve model çıktılarını uygun formata dönüştüren, hatta analiz edip özetleyen ara birimler yoluyla entegre eder. Karar verme süreci gereksinimlere göre uyarlanıp, karar vericilerin iş akışına yardımcı olacak şekilde tasarlanır. Bu şekilde tasarlanan bir KDS, ekonomik, çevresel ve sosyal faktörler arasındaki ilişkileri anlamlandırıp, aralarındaki dengeleri kuran bir sistemdir. KDS, farklı faktörlere ilişkin mekânsal ve dinamik alt modellerin bir üst sistemde birleşmesiyle ortaya çıkar. Bu yolla KDS'nin farklı karar ve uygulamaların su kaynaklarının durumu üzerindeki nihai etkisinin önceden değerlendirilebilmesine ve risk yarar dengesini kuran kararların bilgiye dayalı olarak verilebilmesine olanak sağlayacağı belirtilmiştir.

Bilimsel araştırmalarda gerçeklere ulaşmak, olayları açıklamak, gözlemlemek ve doğrulamak için çeşitli araştırmalar yapılır. Bu süreci kolaylaştırmak için teorilere dayalı modeller oluşturulur. Modeller, teorik bilgileri somut, görsel ve anlaşılır hale getirerek mevcut olguları, olayları ve sistemleri daha iyi incelemeyi sağlar. Ayrıca, teorik ve deneysel alanlar arasında bağlantılar kurulmasına yardımcı olur. Bu nedenle, bilimsel çalışmalarda modelleme kaçınılmaz bir gerekliliktir. Karmaşık bir sistemin, sürecin veya olgunun basitleştirilmiş bir temsilini oluşturma süreci olan modelleme, genellikle matematiksel denklemler veya bilgisayar algoritmaları kullanılarak yapılır. Bu yöntem veya teknikler, bir sistemin davranışını tahmin etmek veya simüle etmek için kullanılır. Bilimde modelleme, doğal olayların davranışını anlamak ve tahmin etmek için kullanılır; örneğin, iklim değişikliği, galaksilerin oluşumu, hastalıkların yayılması gibi konularda kullanılır. Bilimsel modellerin genellikle karmaşık olduğu ve ileri matematiksel teknikleri, diferansiyel denklemleri, sayısal analizi ve hesaplamalı yöntemleri içerdiği ifade edilmiştir (Kamışçıoğlu, 2024).

2.4. WEAP (Water Evaluation and Planning System) İle Yapılmış Çalışmalar

WEAP yazılımı kullanılarak uluslararası alanda yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ülkemizde ise son yıllarda özellikle havza planlama çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Yılmaz ve Harmancıoğlu (2010), yaptıkları çalışmada, tarım ağırlıklı bir havza olarak değerlendirilen, evsel su kullanım oranı %15, endüstriyel su kullanım oranı %10 ve tarımsal su kullanım oranı %75 civarında olan, Türkiye'deki Gediz Nehri Havzası'nda su bütçesinin etkilerini değerlendirmek için çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlara göre çok kriterli bir bakış açısıyla göstergeye dayalı karar almayı kolaylaştıran su kaynakları yönetim modeli geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, mevcut durum ile su arz ve talebinin daha iyi ve daha kötü koşullarını yansıtan 3

(üç) farklı hidro-meteorolojik senaryo altında uygulama yaparak, farklı koşullar altında yönetim alternatiflerinin performansını değerlendirmek için bir simülasyon ve değerlendirme aracı olarak WEAP yazılımını kullanmışlardır. Bu çalışmada, 2030, 2050 ve 2100 yılları için farklı iklim değişikliği senaryoları kullanılarak bu hidro-meteorolojik parametrelerde gelecekte beklenen değişiklikler belirlenmiştir. Gediz Nehri Havzası'ndaki mevcut su yönetimi politikaları ile ekonomi ağırlıklı analizlerin sonuçları arasında tutarlılığın olduğu, bu bağlamda geliştirilen metodolojinin, su kaynağı sistemlerinin değerlendirilmesi için değerli bir araç ve verimli bir uygulamayı gösterdiği, WEAP yazılımının su kaynaklarının planlanması ve yönetimi için yararlı bir araç ve yönetim stratejilerinin değerlendirilmesi için kapsamlı, esnek ve kullanıcı dostu bir çerçeve sağladığı belirtilmiştir.

Çetin (2011), tarafından yapılan doktora tezi çalışmasında, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için su kaynaklarının etkin ve verimli yönetiminin yanı sıra entegre havza yönetim sistemlerinde DPSIR yaklaşımı gibi yöntemlerin uygulanması gerektiği belirtilmiştir. DPSIR (Sürücüler, Baskılar, Durumlar, Etkiler ve Tepkiler) çevre sorunlarını analiz etmede kullanılan bir yaklaşımdır. Bu çerçevede, DPSIR yaklaşımı Porsuk Havzasında uygulanmış ve DPSIR yaklaşımından elde edilen sonuçlara göre, gelecekte beklenen olası durumlar göz önüne alındığında havza, su kirliliği ve su miktarı (kıtlığı) açısından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. İnceleme sonucunda, hali hazırda Porsuk Çayından içme, kullanma ve sulama suyu taleplerinin karşılanmasında bir sorun olmadığı, ancak su kirliliği kriterleri açısından kabul edilebilir sınırların üzerinde olduğu belirlenmiştir. Geleceğe yönelik oluşturulan üç farklı senaryoda, talep bölgelerinde su talebinin karşılanamadığı, su kalitesi açısından ise iyimser senaryo da dahil tüm senaryoların kirlilik sorununu çözemediği görülmektedir. Bu durumu düzeltmek amacıyla, havzanın mevcut (BAU) ve iyimser (OPT) durumlarına ait alternatif yönetim senaryoları oluşturulmuş, senaryo üretiminde QUAL2K ve WEAP simülasyon modelleri kullanılmıştır. Alternatif senaryoların sonuçlarının değerlendirilmesinde ve uygun senaryonun seçiminde, sonuçların daha güvenilir olması ve subjektif kararlardan uzak durulması amacıyla Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak bilimsel bir seçim yapılması tercih edilmiştir.

Hamlat ve ark (2013), tarafından yapılan çalışmada, WEAP modeli kullanılarak, Batı Cezayir havzalarındaki su kaynakları yönetimi senaryolarının simülasyonu yapılmıştır. Su sorunu yaşayan Kuzey Afrika ülkesi olan Cezayir'in, Batı Cezayir bölgesinde 20 yılı aşkın süredir ciddi yağış kıtlığı yaşandığı, su kaynaklarının nitelik ve nicelik açısından ciddi şekilde etkilendiği ve kuraklıklara yol açtığı belirtilmiştir. WEAP ile yapılan modellemede 2030 yılına kadar farklı işletme politikaları ve talebi etkileyebilecek faktörler dikkate alınarak mevcut denge ve gelecekte beklenen su kaynakları yönetimi senaryolarının değerlendirilmesi ve analizi yapılmış ve sonuçlar, ne iç talebin ne de tarımsal talebin karşılanmadığını göstermiştir. Büyük sulama sisteminin geliştirilmesi senaryolarında tarımsal talep karşılanamamış olup, WEAP yazılımının, gelecekteki su

kaynakları yönetimi için öneriler geliştirmede planlamacılara yardımcı olmak üzere sağlam bir temel sunduğunun doğrulandığı belirtilmiştir.

Malla ve ark (2014), tarafından yapılan çalışmada küresel iklim kaygıları dikkate alınarak Hindistan'ın Cammu ve Keşmir eyaletlerinde Dachigam Çayı ve Sindh Çayı'nın 1979-2010 (son otuz yıl) dönemine ait deşarj verileri kullanılarak değişen iklim koşullarının talep sahalarına etkilerini bulmak için WEAP yazılımı kullanılmıştır. Yalnızca 2010 yılına kadar olan verilerin mevcut olması nedeniyle senaryolar 2011 yılından itibaren oluşturulmuştur. Srinagar'ın su talepleri, tarım için sulama talepleri ve evsel ihtiyaçlar için su temini talepleri analiz edilmiş, talep alanlarına sağlanan suyun büyük bir kısmının çalışmadaki nehirlerden sağlandığı ve talebin az bir kısmının da yeraltı suyundan karşılandığı belirtilmiştir. Model tarafından, çalışmada incelenen nehirlerin 15 yıl sonraki peryottaki deşarj eğilimleri oluşturularak, geleceğe yönelik talep ve arzları hesaplayan senaryolar üretilmiştir. Model sonuçlarında, 2016, 2017, 2018 ve 2020 gibi bazı yıllarda kentsel su ihtiyacının karşılanmasında eksikliklerin yaşanacağı belirtilmiştir.

Dimova ve ark. (2014), tarafından yapılan çalışmada, Bulgaristan'daki Vit Nehri Havzası incelenmiş ve su kaynaklarının mevcudiyeti açısından ortalama bir yıl ele alınmıştır. Çalışma, önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini ve faydalarını göstermenin yanı sıra, karmaşık su kaynağı ve su kullanımı ilişkilerini analiz etmiş ve verimli su kaynağı kullanımına yönelik tedbirlerin ana hatlarını belirlemiştir. AB'nin Avrupa Su Kaynaklarını Koruma Planı, su yönetimini ve su verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Nehir havzası ve alt havza seviyesinde su hesaplarının geliştirilmesi, su yönetimi ve verimliliği için kritik bir adımdır. Bu bağlamda, Suya İlişkin Ekonomik ve Çevresel Hesaplar Sistemi (SEEAW), fiziksel su temini ve kullanımına ilişkin verileri bir araya getirerek su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine katkıda bulunur. SEEAW, fiziksel su temini ve kullanım tabloları oluşturarak, suyun çekildiği kaynakları, ekonomi içindeki transferleri ve son olarak su kaynaklarına dönüşünü analiz eder. WEAP modeli, bu tabloların oluşturulmasında kullanılacak verileri sağlamak için tercih edilmiştir. Vit Nehri Havzası çalışmasında, WEAP modeli kullanılarak 2000-2009 dönemi için hidrolojik ve sosyo-ekonomik veri setleri toplanmış ve modelleme yapılmıştır. Bu süreçte, su dengesi modellemesi sayesinde su dağıtım ağlarındaki kayıplar, buharlaşma ve suyun yeniden kullanımı gibi parametreler değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, su tüketiminin ve sistem içindeki suyun yeniden kullanım düzeyinin analiz edilmesiyle, havzadaki su kullanıcılarının su kaynaklarına etkisi ortaya konulmuştur. WEAP modeli, SEEAW tablolarının doldurulması için gerekli olan karmaşık parametrelerin elde edilmesinde etkili bir araç olarak öne çıkmıştır. Gelecekte, suyun yeniden kullanımını artırmaya yönelik tedbirlerin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Yılmaz (2015), yaptığı araştırmada, Gediz Havzasında kuraklık dönemlerinde su kıtlığı yaşanmakta olduğu ve havzada su kaynaklarının neredeyse tamamına yakınının tahsis edilmiş olmasından dolayı iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin su krizini daha da derinleştirmesinin beklendiğini belirterek, iklim değişikliğinin Gediz Havzası'ndaki su dengesi üzerindeki etkilerini

araştırmıştır. WEAP modeli, Gediz Havzası için öngörülen sıcaklık, yağış, buharlaşma ve yüzeysel akış verilerinin zaman serisi ile 2100 yılına kadar su sistemini simüle etmeye zorlanmış, modelin çıktıları üç (30 yıllık) dönem boyunca değerlendirilerek, her üç gösterge için de iklim değişikliği etkilerinin mevcut durumu dramatik biçimde kötüleştireceği sonucuna varılmıştır. İklim değişikliği etkilerinin uyarlanması ve azaltılmasına yönelik olası stratejiler önerilmiş, özellikle 2050 yılından sonraki bazı yıllarda karşılanmayan su talebi miktarının, sağlanan su miktarından daha fazla olduğu, bu durumun başlangıçta beklenenden daha dramatik olduğu belirtilmiştir.

WEAP modeli, nehir havzasındaki su yapıları, sulama alanları ve kentler gibi talep noktalarının, havzayı besleyen alt havzalar ve nehir kollarıyla olan topolojik ilişkilerini tanımlamaya dayanmıştır. Bu modelde, barajlar ve regülatörler gibi arz noktaları ile sulama alanları ve kentler gibi talep bölgeleri, düğüm noktaları olarak belirlenmiş; bu noktalar arasındaki bağlantılar ise akarsu kolları, drenaj kanalları ve iletim hatları gibi iletim elemanları ile gösterilmiştir. Ayrıca, model sektörel bazda su arz-talep oranı, kaynağın güvenilirliği ve fayda-masraf oranı gibi temel göstergeleri çıktı olarak sunmuş, farklı yıllar için su kullanım ve arz senaryolarının performans açısından incelenmesine, değişimlerin gözlemlenmesine ve optimizasyon ilkeleri doğrultusunda değerlendirilmesine olanak tanıdığı ifade edilmiştir (Tunçok ve Bozkurt, 2015).

Yılmaz (2015) tarafından Anadolu Üniversitesi'nde hazırlanan yüksek lisans tezinde, Akarçay Havzası'nın su bütçesi hesaplanmış ve entegre su kaynakları yönetimi için WEAP programı kullanılmıştır. WEAP modelinde, 1960-2010 yılları arasında akım gözlem istasyonlarından elde edilen yağış, akış, buharlaşma gibi hidrolojik veriler ile nüfus, sulama arazileri ve endüstriyel su kullanımıyla ilgili istatistiksel veriler kullanılarak bir model oluşturulmuş ve geleceğe yönelik 2011-2050 yılları arası için iyimser ve kötümser senaryolar geliştirilmiştir. Sonuçlar, havzanın iyimser senaryoda bile 2011-2050 yılları arasında su sıkıntısı yaşayacağını göstermiştir. Aşırı su tüketimi, küresel ısınma ile artan buharlaşma ve sızma, sistemsel kayıplar ve artan nüfus gibi faktörlerin su bütçesini ciddi şekilde etkileyeceği ve karşılanamayan su miktarının artacağı vurgulanmıştır. Havzanın su potansiyeli, bu artan su ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu durum, çeşitli önlemlerin alınmasını zorunlu kılmaktadır. Önerilen önlemler arasında, küresel ısınma, buharlaşma ve bilinçsiz tüketim nedeniyle azalan su rezervuarlarına karşı etkili bir su kullanım bilinci oluşturulması, devlet eliyle su kaynaklarının verimliliğinin artırılması ve kayıpların önlenmesi yer almaktadır. Ayrıca, sulama şebekelerinde açık kanallı sistem yerine borulu sisteme geçilerek kayıpların en aza indirilmesi önerilmiştir.

Tunçok ve Bozkut (2015), yaptıkları çalışmada su kaynakları ve kullanımları arasındaki denge ve dengesizlikleri alt havza ölçeğinde belirlemiş ve farklı senaryolar kapsamında incelemiştir. Bu çalışma kapsamında, su kullanımına bağlı olarak oluşabilecek baskılar ve bu baskıları telafi etmek amacıyla geliştirilen projelerin etkileri değerlendirilmiştir. Mevcut ve gelecekteki koşullarda su kaynakları ve tüketimleri arasındaki dengenin zamansal ve mekansal değişimini belirlemek için su bütçesi modellemesi yapılmış ve WEAP modeli kullanılmıştır. Bu model ile havza sınırları içindeki

yüzey ve yeraltı su kaynakları, tarımsal uygulamalar ve su tüketimleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Mevcut koşullarda, Beyşehir-Suğla-Apa (BSA) Kanalı'ndan Apa-Hotamış İletim (AHİ) Kanalı'na aktarılan su miktarı 798 hm^3 seviyesindedir. Gelecekte, iklimsel koşullardaki değişkenlik nedeniyle yüzey su kaynaklarında %10 oranında azalma olması durumunda, BSA'dan AHİ'ye aktarılacak su miktarının 705 hm^3 seviyesine inmesi öngörülmektedir. Bu zamansal ve mekansal değişiklikler, Mavi Tünel aracılığıyla havzaya aktarılacak suyun önemini artıracaktır. Mevcut koşullarda Mavi Tünel ile havzaya aktarılan 415 hm^3 suyun, benzer iklimsel değişimlerle gelecekte 378 hm^3'e ineceği tahmin edilmektedir. Bu azalmaya rağmen, Mavi Tünel ile havzaya aktarılan suyun AHİ Kanalı'na katkısının mevcutta %40 iken, gelecekte %41 olacağı öngörüldüğü, havzadaki su kaynaklarının su ihtiyacını karşılamada zorlanabileceği ve bu yüzden kuraklığa dayanıklı, az su tüketen ürünlere geçişin kaçınılmaz olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, sulama yönteminin değiştirilmesi ile yağmurlama yöntemi kullanıldığında %60-70, damla sulama yöntemi kullanıldığında ise %75-85 oranında su tasarrufu sağlanabileceğin öngörüldüğü belirtilmiştir.

Yılmaz ve Tombul (2016) tarafından yapılan çalışmada, Akarçay Havzası'nın su bütçesinin hesaplanması ve entegre su kaynakları yönetimi için WEAP modeli kullanılmıştır. Bu modelde, 1960-2010 yılları arasındaki yağış, akış, buharlaşma gibi hidrolojik veriler ile nüfus, sulama alanları ve endüstriyel su kullanımlarıyla ilgili veriler kullanılmıştır. Uzun yıllara ait hidrolojik verilerin ortalaması alınarak, bu ortalama mevcut yıl olarak kabul edilmiştir. Bu referans yıl esas alınarak, 2011-2050 yılları arasındaki su bütçesi için iki farklı senaryo geliştirilmiştir. İlk senaryoda, uzun yıllar boyunca elde edilen en yüksek akım değerlerine sahip yılın hidrolojik verileri kullanılarak iyimser bir senaryo oluşturulmuş ve bu senaryoya göre havzanın su bütçesi hesaplanmıştır. İkinci senaryoda ise en düşük akım değerlerine sahip yılın hidrolojik verileri kullanılarak kötümser bir senaryo oluşturulmuş ve bu senaryoya göre havzanın su bütçesi hesaplanmıştır.

Yaykıran (2016), yapmış olduğu yüksek lisans tezi çalışmasında, Sakarya Havzası'nın hidrolojik modelini yapmıştır. Sakarya Havzası'nda kişi başına düşen yıllık su miktarı 1000 – 1700 m^3 arasında değişmekte olup, bu değerlere göre de su sıkıntısı çeken sınıfında yer aldığı, nüfus artışı, iklimsel değişimler ve uygun su yönetiminin sağlanamaması gibi sorunlar nedeniyle yakın gelecekte havzada su kıtlığı yaşanmasının beklendiği belirtilmiştir. Çalışma kapsamında WEAP modeli kullanılmış, veri analizi/entegrasyonları yapılarak modelin kurulumu gerçekleştirilmiş ve havzada yer alan sulama alanları, su yapıları ve havzalar arası su aktarımları modele tanımlanmıştır. Havzanın su bütçesi belirlenerek, havzanın çıkışında bulunan E12A057 numaralı Adatepe istasyonunda akış için bir ön değerlendirme yapılmıştır. Bu ön değerlendirme sonuçlarına göre, elde edilen model sonuçlarının DSİ'nin uzun yıllar ortalama değerleri ile belirli ölçüde uyumlu olduğu görülmüştür. Hidrolojik model ile havzanın üst kısımlarında, dış müdahaleye maruz kalmamış alanlar için daha doğru sonuçlar elde edilebileceği belirtilmiştir. Ancak, doğal sürecin baraj işletmeleri, sulamalar ve havzalar arası su transferleri gibi dış müdahalelerle değişebileceği vurgulanmıştır. Bu insani etkiler

modele dahil edilmeden gözlem verilerine uygun model sonuçlarının elde edilmesinin mümkün olmadığı ifade edilmiştir.

Adgolign ve ark. (2016), Etiyopya'nın Batı Etiyopya'daki Didessa Alt Havzası'ndaki yüzey suyu kaynaklarının tahsisini WEAP modeli ile incelemişlerdir. Havzanın toplam alanı yaklaşık 28.092 km^2'dir. Çalışmanın amacı, su kaynakları gelişiminin nehir içi ve akış aşağı su mevcudiyeti üzerindeki etkisini değerlendirmek ve Didessa Alt Havzasında yüzey suyu kıtlığına hassas alanları belirlemektir. WEAP modeli, Abbay Havzası entegre kalkınma master planından alınan su talebi verilerine dayanarak kullanılmıştır. Hükümetin sulama ve su temini sektörlerinden toplanan mevcut talep verileri, mahsul su ihtiyacı için CROPWAT 8.0 ve nehir içi akış ihtiyacı (IFR) için Hidrolojik Değişim Göstergeleri (IHA) programları ile analiz edilmiştir. Eksik akarsu akışı verileri, SWAT hidrolojik modeli çıktılarıyla desteklenmiştir. Çalışmada mevcut (2014), orta vadeli (2015–2030) ve uzun vadeli (2031–2050) olmak üzere üç gelişme senaryosu oluşturulmuştur. Modelin alt havzanın yüzey suyu akışını doğru şekilde temsil ettiği gösterilmiştir. Sonuçlara göre, 2050 senaryosunda Didessa Nehri'nin yıllık akışında %10.3 oranında, yani 1.101 milyar m^3 azalma beklenmektedir. Ayrıca, Anger, Dabena ve Yukarı Didessa havzalarında bazı taleplerin karşılanamayacağı belirlenmiştir. Ancak, Didessa Nehri çıkışındaki 5.46 milyar m^3'lük IFR'nin tamamının karşılanacağı ve bu nedenle alt havza genelinde mutlak su kıtlığı yaşanmayacağı tespit edilmiştir.

Hum ve Talib (2016), yaptıkları çalışmada, Malezya Selangor'daki su arzı ve talebini değerlendirmek için WEAP modeli kullanılmıştır. Çalışma, Selangor'daki su mevcudiyetine ilişkin gelecekteki su senaryolarını değerlendirerek, üç farklı senaryonun etkilerini analiz etmiştir; işlerin her zamanki gibi devam etmesi (referans senaryo), daha yüksek nüfus artışı ve talep tarafı yönetimi senaryoları. Bu senaryolar, 2050 yılına kadar arz-talep açığı üzerindeki etkileri hesaplamak için kullanılmıştır. Çalışma, Selangor'daki ekonomik sektörler arasında su tahsisinin yönetilmesi için bilgiler üretmiştir. Senaryo simülasyonları, gelecekteki potansiyel su sorunlarına farkındalık yaratmaya, su uygulamalarını bilgilendirmeye ve yönetim alternatifleri önermeye yardımcı olmuştur. Sonuçlara göre, uygun su tasarrufu önlemleriyle Selangor'daki su açığının önemli ölçüde azalacağı, referans projeksiyonlara göre, Selangor'un su miktarının 2041 yılına kadar yeterli olduğu, ancak, daha yüksek nüfus projeksiyonunda 2033 yılına kadar su kıtlığı beklendiği ifade edilmiştir. Talep tarafı yönetimi uygulamalarıyla su tasarrufu sağlanabileceği, kentsel alanlarda ulaşılabilecek tasarruf oranının referans senaryoda %14,81, yüksek nüfus senaryosunda %9,53, sanayi sektöründe ise referans senaryoda %4,09, yüksek nüfus artışı senaryosunda %1,23 su tasarrufunun öngörüldüğü belirtilmiştir.

Coşkun (2017), tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, Seyhan Havzası'nın alt bölgesi olan Zamantı Irmağı Alt Havzası'nda DSİ projeleri WEAP programı kullanılarak simüle edilmiştir. Bu modellerde, iki adet sulama ve enerji amaçlı baraj, dört sulama göleti, on beş sulama regülatörü ve on iki hidroelektrik santrali (HES) yer almaktadır. Havzanın modellenmesinin amacı, ileride yapılacak çalışmalara temel oluşturmaktır. Ayrıca, Bahçelik Barajı ve üniteleri için ayrıntılı bir

WEAP modeli oluşturularak, tam gelişme durumu dikkate alınarak güncellenen su bütçesi ile işletme simülasyonları yapılmış, bu ünitelerin tarımsal sulama ve enerji üretimi üzerindeki karşılıklı etkileri incelenmiştir. WEAP programı ile oluşturulan baraj simülasyon modelinde ünitelere öncelikler atanarak işletme kuralları analiz edilmiş ve bu analizlerin sonuçları değerlendirilmiştir.

Ahmadaali ve ark (2018), tarafından İran'da yapılan çalışmada, kurak ve yarı kurak bölgelerde sulu tarımın sürdürülemez gelişiminin Aral, Urmiye, Hamoon ve Bakhtegan gibi büyük göllerin su seviyelerini azalttığı ve İran'ın kuzeybatısında yer alan aşırı tuzlu ve çok sığ bir göl olan Urmiye Gölü'nde son yirmi yılda su seviyesinde her yıl yaklaşık 40 cm'lik bir azalmanın yaşandığı belirtilmiştir. Yaptıkları araştırmada, Urmiye Gölü havzasının en büyük alt havzası olan Zarrinehrud ve Siminehrud Nehri havzaları için iklim değişikliğinden etkilenen performans kriterleri ve su yönetimi stratejileri kullanılarak çevresel ve tarımsal sürdürülebilirlik endeksleri değerlendirilmiş ve bu havzaların hidrolojik davranışlarının modellenmesi WEAP21 modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model, 2015-2040 dönemi için gelecekteki üç emisyon senaryosu (A2, A1B ve B1) ve beş su yönetimi senaryosu için analiz edilmiştir. Bunlar; (1) mevcut durumu korumak, (2) mahsul deseninin değiştirilmesi, (3) iletim ve dağıtım verimliliğinin arttırılması, (4) modern teknolojiyi kullanarak taşıma ve dağıtım verimliliğinin iyileştirilmesini uygulama verimliliğinin artırılmasıyla birleştirmek ve (5) ürün deseni değişikliği ile toplam sulama verimliliğinin iyileştirilmesinin birleşimi olarak sıralanabilir. Sonuçlar, çevresel sürdürülebilirlik ve tarımsal sürdürülebilirlik endekslerinin en yüksek değerlerinin, B1 emisyon senaryosu (B1S4) kapsamında ürün deseni değişikliğini toplam sulama verimliliğinin artırılmasıyla birleştirme senaryosuyla ilgili olduğunun gösterildiğini belirtmişlerdir.

Bhave ve ark. (2018), Hindistan, Karnataka'daki Cauvery nehri havzasında gelecekteki iklim ve sosyoekonomik belirsizlik altında su kaynağı planlaması çalışması yapmıştır. Cauvery Nehri Havzası (CRB), Karnataka, Tamil Nadu, Kerala ve Puducherry eyaletleri içerisinde yer almaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde, belirsizlik altında karar verme yaklaşımları (Decision-Making Under Uncertainty) (DMUU), genellikle gelişmiş ülkelere kıyasla daha az kullanılır. Bu ülkelerde yüksek iklim hassasiyeti ve hızlı sosyoekonomik değişim, DMUU yaklaşımlarını daha da önemli hale getirir. Hindistan'ın Karnataka kentindeki Cauvery Nehri Havzası'nda, senaryo oluşturma, paydaşlarla ortak üretim ve WEAP su kaynakları modellemeyi içeren yinelemeli bir DMUU yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, gelecekteki iklim ve sosyoekonomik belirsizliklere karşı uyum seçeneklerinin ve yollarının sağlamlığını araştırmak için kullanıldı. Hindistan Yaz Musonu (ISM) yağışlarındaki ve su talebindeki değişiklikler, 2021'den 2055'e kadar su kaynakları simülasyonlarını yönlendirmek için kullanılmıştır. Paydaş katılımı ve WEAP modellemeye dayalı analiz arasında geçiş yapan yinelemeli bir yaklaşım benimsenmiştir. İlk olarak karar bağlamları araştırılmış ve paydaşların çıkarları ölçülmüş, ardından bir su kaynakları modeli geliştirilmiş ve bu modeli CRB için doğrulamak amacıyla paydaşlarla tartışılmıştır. Paydaş grupları, düşük su mevcudiyeti ve yüksek su talebi senaryoları için uyum seçeneklerini belirlemişler ve Adaptasyon Yolları geliştirilmiştir. Bu

çalışmada, çeşitli iklim ve sosyoekonomik anlatıları kullanarak gelecekteki yağış ve su talebi değişikliklerine ilişkin senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolar WEAP su kaynakları modeline entegre edilmiştir. Sonuçlar, Cauvery Nehri Havzası'nda gelecekteki yağış ve su talebi ile ilgili belirsizliklerin uyum kararları ve altyapı planlaması için kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Paydaşların anlamlı katılımını sağlamak ve sonuçların güvenilirliğini artırmak için yinelemeli DMUU yaklaşımı başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Selek ve Arslan (2019) tarafından yapılan çalışmada, Burdur Gölü Havzası'nda entegre su kaynakları yönetimi için WEAP modeli kullanılmıştır. Modelle havzanın mevcut su bilançosu, su kullanımı ve akım gözlem istasyonlarından alınan yağış, akış ve buharlaşma gibi hidrolojik verilerle hesaplanmıştır. Ayrıca, 2017-2050 yılları arasındaki su ihtiyacını belirlemek için iyimser ve kötümser senaryolar geliştirilmiştir. Çalışmaya göre, mevcut durumda Burdur Gölü Havzası'na giren su miktarı 275,7 hm^3 iken, karşılanamayan su talebi 33,8 hm^3'tür. İyimser senaryoya göre 2050 yılında havzaya giren su miktarının 353,5 hm^3 olacağı ve karşılanamayan su talebinin 9,3 hm^3'e düşeceği öngörülmüştür. Kötümser senaryoda ise havzaya giren su miktarı 189,4 hm^3 olarak tahmin edildiği ve karşılanamayan su talebinin 100,7 hm^3 olduğu ifade edilmiştir.

Yaykıran ve ark (2019), tarafından yapılan çalışmada, havza alanın yaklaşık % 50'sinin tarım arazisi olduğu, Türkiye'deki Sakarya Nehri Havzası'na WEAP-PGM (Su Değerlendirme ve Planlama Sistemi - Bitki Büyüme Modeli) uygulamışlardır. Çalışmadaki ana hedefler; hidrolojik modeller için veri kıtlığındaki bir bölgedeki farklı kaynaklardan elde edilen verilerin toplanması/birleştirilmesi ve Sakarya Nehir Havzası'nın su bütçesi bileşenlerinin yıllık bazda tahmin edilmesinin yanı sıra WEAP-PGM'nin uygulanabilirliğini araştırılmasıdır. Genel model performans derecelendirmeleri, model simülasyonlarının kabul edilebilir seviyelerde akış değişikliklerini temsil ettiğini göstermiş, model sonuçları ise yüzey akışın 4.747 milyon m^3, yeraltı suyuna olan akışının 3.065 milyon m^3 ve buharlaşma, terleme miktarının 23,01 milyon m^3 olduğunu göstermiştir. Hidrolojik sonuçlar ölçüm verileriyle karşılaştırılmış ve literatürde dünya çapında önerilen endeksler kullanılarak model performansı değerlendirilmiş, model performans endeksleri, çalışmanın amaçları göz önünde bulundurularak literatüre göre kabul edilebilir aralıklar içinde bulunmuş, havzada daha ayrıntılı su yönetimi verilerini (rezervuar işlemleri, su talepleri vb.) kullanarak model performansını iyileştirmeye yer olduğu, bu model kurulumu ile ileriki çalışmalarda su-besin-enerji bağı bağlamında iklim değişikliği altındaki mahsul verimlerinin hesaplanmasında temel olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Büyükaslan (2019), tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, Aksaray ilinin su kaynaklarını oluşturan Mamasın Barajı, Melendiz ve Karasu Çayının hidrolojik modeli ve verileri WEAP programına entegre edilmiştir. Gelecek yıllarda olası değişiklikler göz önünde bulundurularak farklı senaryolar yardımıyla havzanın su bilançosu 2075 yılına kadar analiz edilerek tahmin edilmiştir. En olumlu gelişmeler ve en olumsuz gelişmeler başta olmak üzere iki ana senaryo ve bunlara ilave olarak birkaç ek senaryo daha geliştirilmiştir. En olumlu senaryo, en yüksek yağış, en yüksek debi, en az

buharlaşma değerleri, tarım alanlarında azalma, halkın bilinçlendirilerek kişi başı su tüketiminin azalması gibi faktörlere dayanmakta, en olumsuz senaryo ise bu durumların tam tersi varsayılarak oluşturulmuştur. Çalışmanın amacının, mevcut su hacminden en verimli şekilde nasıl yararlanılabileceği ve gelecekte bu miktarın nasıl değişiklik gösterebileceği konusunda kapsamlı bir bakış açısı sunmak olduğu ifade edilmiştir.

Arslan (2019), tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, Burdur Gölü Havzası'nın su kaynaklarının yönetimi için WEAP programı kullanılarak su kullanımları ile akım gözlem istasyonlarından elde edilen hidrolojik veriler kullanılarak su bilançosu hesaplanmıştır. Çalışmada, gelecekteki su ihtiyaçlarını belirlemek için iyimser ve kötümser senaryolar oluşturulmuştur. Mevcut durumda, havzaya giren su miktarı ile karşılanamayan su talepleri hesaplanmıştır. Mevcut senaryoda havzaya giren su miktarı 275,7 hm^3 iken karşılanamayan su talebi 21 hm^3 olarak belirlenmiştir. İyimser senaryoda ise 2050 yılında havzaya giren su miktarı artarken (353,5 hm^3), karşılanamayan su talebi azalmıştır (8,9 hm^3). Kötümser senaryoda ise havzaya giren su miktarı düşmüş (189,4 hm^3) ve karşılanamayan su talebi artmıştır (85 hm^3). Çalışmada, havzadaki su açığının sebepleri arasında sistemlerdeki kayıp kaçakların yüksekliği, bilinçsiz su tüketimi ve kontrolsüz sondajlar gösterilmiştir. Bu nedenlerden dolayı, su kaynaklarının etkin yönetimi için su kaybının azaltılması ve bilinçli su kullanımının teşvik edilmesi önemli görülmüştür.

Sharef (2019), tarafından yapılan doktora tezi çalışmasında, Irak'ta, Erbil'in kuzeyindeki Khalifan Nehir Havzasında entegre su kaynakları yönetimi uygulamasını değerlendirmiştir. Çalışmada, havza için 15 yıllık bir planlama ve analiz süreci incelenerek, havzadaki su kullanıcılarının etkileşimleri ele alınmış ve bazı çözüm önerileri sunulmuştur. WEAP modeli kullanılarak optimum planlama ve işletme politikası belirlenmiştir. Referans, yüksek nüfus artışı, akış gereksinimi, baraj katkısı ve su tasarrufu olmak üzere beş adet senaryo karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Nisan-Eylül aylarında tarım sezonu nedeniyle su talebinin yüksek olduğunu göstermiştir. Ağustos ayında maksimum su talebi 3 milyon m^3 olup, önerilen baraj sadece 2 milyon m^3 su sağlayabilmiştir. 2 milyon m^3 depolama kapasitesine sahip olan Hükümetin Gali Ble Barajı'nın tamamlaması gerektiği belirtilmiştir. Su tasarrufu senaryosunda, 2020 yılında 1 milyon m^3'ten başlayan ve 2032 yılında 3.26 milyon m^3'e ulaşan su talebinin yetersiz kalacağı vurgulanmıştır.

Bouznad ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada, Cezayir'in yarı kurak bölgelerinden biri olan, yıllık ortalama 400 mm'den az yağış alan Setif Vilayetinde, iklim değişikliğine bağlı olarak su kaynaklarının azalmasını göz önüne alarak, WEAP yazılımını kullanarak su kaynakları yönetimi modeli geliştirmeyi, kaynak-ihtiyaç dengesini değerlendirmeyi ve gelecekteki su durumunu analiz etmeyi amaçlamıştır. Setif Vilayetindeki içme suyu ve atık su ihtiyaçları zamanla artmış ve mevcut su kaynakları talebi karşılamada yetersiz kalmıştır. Yer altı su kaynaklarının yetersiz kullanımı, tüm talep alanlarında karşılanmayan taleplere yol açmıştır. WEAP modeli, Setif bölgesindeki su talebini ve gelecekteki su mevcudiyetini değerlendirmek için kullanılmıştır. Model sonuçları, 2050 yılına kadar iklim değişikliği ve demografik baskılar nedeniyle su kıtlığının ciddi bir sorun olacağını ve

240 milyon m³'ü aşan bir açık oluşacağını göstermiştir. Dağıtım ağlarının iyileştirilmesiyle su kayıpların %20 oranında azaltılması sonucunda 10 milyon m³'ten fazla su tasarrufunun sağlanabileceği, bölgede yer alan atık su arıtma tesisleri tarafından arıtılan suların yeniden kullanımının artan su talebini karşılamada çözüm sunabileceği ve su kirliliğini azaltacağı ifade edilmiştir.

Çıtakoğlu ve Coşkun (2020), yaptıkları çalışmada, Seyhan Havzası'nın Zamantı Irmağı Alt Havzası'ndaki Bahçelik Barajı ve ünitelerini, WEAP programını kullanarak modelleyerek, işletme çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada, projeyi kapsamlı bir şekilde değerlendirerek, rezervuar ile ünitelerin arz-talep dengesini tam gelişme durumunda WEAP programının simülasyonları üzerinden analiz etmeyi amaçlamışlardır. Güncellenen su bütçesi baz alınarak model üzerinde işletme simülasyonları gerçekleştirilmiş ve ünitelerin tarımsal sulama ile enerji üretimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. WEAP programı ile oluşturulan baraj simülasyon modelinde, üniteler için çeşitli öncelikler ve kısıtlamalar belirlenerek kabul edilen işletme kuralları analiz edilmiştir. Tam gelişme durumunda yapılan işletme çalışmaları sonucunda, sulama ünitelerinin ihtiyaçlarının karşılanması birinci öncelik olduğunda, enerji üretimi 16,60 GWh/yıl'a düşerken, sistemde 10,60 hm³ su açığı meydana gelmiştir. Barajın tam dolu olması birinci öncelik kabul edilip, enerji üretiminin sulamadan daha öncelikli olduğu senaryoda ise enerji üretimi 26,40 GWh/yıl'a yükselmiş ve sistemdeki su açığı 6,60 hm³ olarak belirlenmiştir. Sulama ile enerji üretimi arasındaki ilişki, programın varsaydığı talep önceliklerine göre değişiklik göstermektedir. DSİ'nin belirlediği gerçek koşullardaki değerler ile simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında, WEAP programı ile gerçekleştirilen işletme çalışmasının yetersiz kaldığı sonucuna varıldığı ifade edilmiştir.

Karahan (2021), tarafından yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında, İzmir Tahtalı-Seferihisar Alt Havzası'na ait su kaynaklarının WEAP modeli ile havza bazlı su yönetimi çalışması yapılmıştır. Havzada yer alan su kaynaklarından Tahtalı, Seferihisar, Ürkmez ve Kavakdere Barajlarına ait yağış, akış, buharlaşma gibi hidrolojik verileri kullanılarak gelecekteki sonuçlar irdelenerek, havzanın 2050 yılına kadar su bütçesi hesaplanmıştır. Referans Senaryosu, Rapor Tüketim Senaryosu, En İyi Durum Senaryosu, Geri Dönüş Akışı Senaryosu ve En Kötü Durum Senaryosu olmak üzere beş ana senaryo ile havzadaki su kaynaklarının gelecekteki durumu değerlendirilmiştir. Her bir senaryoda farklı durumlar altında elde edilebilecek su bilançoları hesaplanmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Ramirez ve ark. (2022), tarafından yapılan çalışma, Ürdün'de su-enerji-gıda ekseni yaklaşımı sistemlerinin planlanması ve yönetimi için karar almayı desteklemeyi amaçlamıştır. Ürdün'ün öncelikli zorlukları arasında su kıtlığı, tarımsal üretkenlik, su kalitesi ve enerji bağımsızlığına geçiş yer almaktadır. Bu amaçla, üç modelleme çerçevesini birleştiren bir bağ modeli oluşturulmuştur: WEAP modeli su taleplerini, tedarikini ve tahsisini tahmin etmek için, MABIA modeli mahsul üretimini tahmin etmek için ve CBS tabanlı bir enerji modelleme aracı su sisteminin enerji gereksinimlerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Senaryo çalışmaları, su kıtlığını gidermek için tuzdan arındırmanın gerekli olduğunu ancak bunun düşük karbonlu elektrik üretimi ile

birleştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Tarımsal su verimliliğinin artırılması, genel su-enerji-gıda güvenliği üzerinde olumlu etkilere sahipken, belediye düzeyindeki su kıtlığı sorununa pek fazla katkı sağlamamaktadır. Gelir getirmeyen suyun azaltılması, belediyenin su talebini ve pompalama için gereken enerjiyi azaltabilirken, tarımsal verimliliği artırmamaktadır ve Ürdün Vadisi'ndeki akifer seviyeleri üzerinde olumsuz etkileri olabilmektedir. Enerji verimliliği ise enerji yoğun projeleri destekleyerek su sistemi üzerindeki yükü azaltmaktadır. WEAP hidrolojik ve tarımsal model, Ürdün'deki su kaynaklarının tahsisini ve su kaynakları ile talepler arasındaki boşluğu gidermeye yönelik stratejileri değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. MABIA yöntemi, mahsul ve sulama suyu gereksinimlerini ve iklim değişikliğinin mahsuller üzerindeki etkilerini tahmin etmek için kullanılmıştır. 2020-2050 dönemini kapsayan senaryo analizlerinde, müdahale olmaması durumunda su taleplerinin karşılanmasının zorlaşacağı ve tarımsal verimliliğin düşeceği öngörülmüştür. Gelir getirmeyen suyun azaltılması, yeni su kaynaklarının oluşturulması, tarımsal su verimliliğinin artırılması ve entegre stratejiler senaryoları değerlendirilmiştir. Artan buharlaşmanın su kıtlığını ve enerji gereksinimlerini olumsuz etkilediği, entegre stratejiler senaryosunun, tüm önemli dezavantajları azaltarak ve faydaları artırarak daha bütünsel bir çözüm sunduğu, bu çalışmanın, karar vericilere ve paydaşlara Ürdün'deki sürdürülebilir çözümler için kapsamlı ve veriye dayalı bir çerçeve sunduğu ifade edilmiştir.

Almulla ve ark. (2022), tarafından yapılan çalışmada, Fas'ın Souss-Massa havzasında sürdürülebilirlik ve kaynak yönetimi sorunlarını ele alan bir karar verme çerçevesi geliştirmiştir. Özellikle iklim değişikliği etkileri altında artan su kıtlığı, yeraltı suyunun aşırı kullanımı ve fosil yakıt bağımlılığı gibi zorluklar bu analizin odak noktasını oluşturmaktadır. Çalışma, entegre tarım-su-enerji modeli aracılığıyla tuzdan arındırma, atık suyun yeniden kullanımı ve su verimliliği gibi çözümleri değerlendirerek, bölgedeki paydaşlarla işbirliği içinde sürdürülebilir yönetim stratejileri geliştirmiştir. Metodoloji olarak, çalışmada karma yöntem yaklaşımı izlenmiştir. Nitel ve nicel analiz yöntemleri, Souss-Massa'daki KOBİ'lerin sosyo-ekonomik bağlamını anlamak, paydaşların göreceli önemlerini belirlemek ve çeşitli çözüm senaryolarını değerlendirmek için entegre edilmiştir. Bu süreç, karar verme sürecini desteklemek ve çözüm önerilerini güçlendirmek için kritik bir rol oynamıştır. Önerilen karar verme çerçevesi, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı enerji modeli ve tarım-su modeli (WEAP) gibi nicel ve nitel yöntemleri entegre ederek kullanmaktadır. Souss-Massa havzasında gerçekleştirilen senaryo analizleri, su ve enerji talebindeki değişiklikleri simüle ederek, çeşitli çözüm önerilerinin su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine nasıl katkı sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, benzer bölgelerde su kaynaklarının etkin yönetimi için uygulanabilir bir model sunarak, bölgesel yönetimlere ve ilgili paydaşlara önemli bilimsel ve politika önerileri sunmaktadır. Bu çalışma, hiçbir çözümün tüm bağlantı noktalarındaki zorlukları çözemeyeceğini gösteriyor. Bunun yerine, sinerjiyi artırmak ve ödünleşimleri en aza indirmek için bir çözüm kombinasyonu entegre edilmelidir. Su temininin arttırılması ve yeni kaynakların kullanılması (örneğin tuzdan arındırma ve atık suyun yeniden kullanımı), tarımsal uygulamaların iyileştirilmesi

ve su kaynaklarının aşırı kullanımının azaltılması entegre bir strateji senaryosu olarak incelenmiştir. Bunun, özellikle Chtouka akiferindeki yeraltı suyu kaynaklarının tükenmesini azaltmak, mahsüllerin verimliliğini artırmak, tarım ve evsel sektörler için karşılanmayan su talebini azaltmak gibi çeşitli faydalar sağladığı gösterilmiştir.

Indarto ve ark. (2023), yapmış oldukları çalışmada, 1997-2020 yılları arasında Doğu Java Eyaletindeki en büyük üçüncü tarım alanı Jember Regency'in Bedadung, Mayang ve Tanggul havzalarındaki su dengesinin durumunu değerlendirmişlerdir. Yerleşim ve tarım alanlarının genişlemesi peyzajı önemli ölçüde değiştirmiştir. Ayrıca her iki arazi örtüsü türünün de artması su tüketimini arttıracaktır. WEAP artan su talebi ve arazi kullanımındaki değişiklikler (USCS) koşullarında arz-talep bileşenini dikkate alarak her bir havzadaki su dengesinin durumunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu çalışmada su dengesini hesaplamak için WEAP kullanılmıştır. Araştırma prosedürleri; (1) mekansal ve mekansal olmayan verilerin envanterini, (2) WEAP şemasının kurulumunu, (3) kalibrasyonu, (4) doğrulamayı ve (5) artan su talebi ve arazi kullanım değişikliği senaryosunda su dengesi modelinin simülasyonunu içermektedir. Bu çalışmanın yeniliği, 1997-2021 yılları arasındaki arazi kullanım örtüsü (LULC) değişimini içermesidir. Bölgedeki LULC değişimini sınıflandırmak ve yorumlamak için 1997-2000 yılları arasındaki Landsat verileri kullanılmıştır. Kalibrasyon ve doğrulama süreçlerinin performansını değerlendirmek için belirleme katsayısı (R^2), Nash-Sutcliffe Verimliliği (NSE) ve ortalama karesel hata kökü (RMSE) gibi istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Bedadung, Mayang ve Tanggul havzalarının su dengesi, yıllık yağış miktarındaki dalgalanmaya bağlı olarak her yıl değişiklik göstermektedir. Yıllık yağış olaylarının havzadaki su talebini karşılamak için yeterli olduğu varsayılmaktadır. Ancak yağışlı ve kurak mevsimler arasındaki eşitsiz dağılım, kurak mevsimlerde karşılanamayan talebi veya su arzı açığını artırmaktadır. Üç havzadaki en önemli su açığı 2019 yılında meydana gelmiştir. 1 Kasım'dan 2 Ağustos'a kadar olan dönemde havzanın tüm taleplerinin %100 karşılanabildiği, ancak, 2 Ağustos'tan 3 Ekim'e kadar olan dönemde havzanın su ihtiyacının karşılanma oranının azaldığı, bu durumun yağışlı ve kurak mevsimler arasındaki dengesiz yağışlardan kaynaklandığı belirtilmiştir.

Saka ve Mohammady (2023), yaptıkları çalışmada, WEAP programını kullanarak Afganistan'daki Belh Nehri Havzası'nın su kaynakları yönetimi ve su bütçesini hesaplamak için entegre su yönetimi açısından gerekli miktarı belirlemeye çalışmışlardır. Havzanın su kaynakları ve su talep sektörlerine (sulama, içme suyu vb.) ait veriler ve 2010-2021 yılları arasındaki hidrolojik veriler (akarsu akışı, yağış, buharlaşma vb.) ile nüfus, sulama ve içme suyu verileri modele işlenmiştir. Mevcut durumu (Senaryo 1) ve 2022-2050 yıllarına ilişkin iyimser (Senaryo 2) ve kötümser (Senaryo 3) senaryolar geliştirilmiştir. Üç senaryonun model sonuçları karşılaştırılmış ve çözüm yolları tartışılmıştır. Her üç senaryoda su kaynaklarının talepleri karşılamada yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Afganistan'ın su kaynaklarının entegre bir yönetim yaklaşımıyla ele alınması gerektiği ve gelecekteki su kaynakları planlamasının insan ihtiyaçları, çevresel etkiler ve hükümet vizyonları dikkate alınarak yapılması gerektiği belirtilmiştir. Belgesiz kuyuların kontrol edilmesi,

sondaj yapılması ve mevcut sistemlerdeki kayıp ve kaçakların belirlenmesi gibi yöntemlerle su kaynakları en verimli şekilde planlanması gerekliliği vurgulanmıştır.

Abbas ve Shamkhi (2023), Aşağı Diyala Nehri havzasında iklim değişikliğinin su arzı ve talebi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için entegre bir modelleme sistemi oluşturmak amacıyla WEAP modelini kullanarak yaptıkları çalışmada, gelecekte öngörülen iklim değişikliklerinin Aşağı Diyala Nehri'nin su kaynakları üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Referans senaryosu, yüksek oranlı nüfus artışı senaryosu ve iklim değişikliği senaryosu olmak üzere üç ana gelecek senaryosunu değerlendirmek için kullanmışlardır. Diyala Nehri, Dicle ve Fırat nehirlerinden sonra havza alanı bakımından Irak'ın üçüncü büyük uluslararası nehri olduğu, Diyala Nehri'nin alt havzasında şu anda su sıkıntısı ve kirlilik sorunları yaşandığı belirtilmiştir. Çalışmada, WEAP modeli, Diyala Nehri çıkış istasyonundan alınan aylık akım verileri kullanılmış, kalibre edilerek doğrulanmış ve 2020-2045 yılları arasında değişen çeşitli gelecek senaryolarına yönelik olarak modelleme yapılmıştır. WEAP modelinin, doğrulama süresi boyunca sırasıyla RMSE'nin 0,85, NSE'nin 0,91 ve R^2'nin 0,867'lik değerleriyle havzanın su arzını ve talebini doğru bir şekilde tahmin ettiği, ayrıca su talebi ve arzının, öngörülen tüm gelecek senaryolarında karşılanmadığı tespit edilmiş, bu durumun Diyala Nehrinin alt havzasında sürdürülebilir su yönetiminin oldukça gerekli olduğunu göstermekte olduğu ifade edilmiştir.

Rastegaripour ve ark (2024), İran'ın Doğu sınır havzasında iklim değişikliğinin su yönetimi ve tarım üzerindeki etkilerini araştırmada, iklim değişikliğinin su yönetimi ve ürün desenleri üzerindeki etkisini incelemek için ekonomik-hidrolojik bir model kullanmışlardır. Çalışmada kullandıkları verileri Horasan ve Sistan-Balouchestan meteoroloji teşkilatının kayıtlarından, İran İstatistik Merkezi'nden ve bölgesel su otoritesinden sağlamışlardır. İklim verileri 1997-2022 yılları arasındaki günlük yağış ve sıcaklık değerlerini kapsamaktadır. Matematiksel programlama yaklaşımı ve hidrolojik modelleme, WEAP yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. İlk olarak, optimum yetiştirme modelini simüle etmek ve belirlemek, mevcut koşullarla karşılaştırmalar yapmak için gerekli tüm denklemler kodlanmış ve modele entegre edilmiştir. Daha sonra, her bir senaryo için simülasyon koşulları belirlendikçe, model uygulamasından elde edilen sonuçlar belgelenmiş ve karşılaştırmalı analize tabi tutulmuştur. Düşük İklim Değişikliği Senaryosunda, sıcaklık, yağış ve bağıl nemdeki değişiklikleri yansıtan en düşük (minimum) istatistikler kullanılmıştır. Şiddetli İklim Değişikliği Senaryosunda, sıcaklık, yağış, bağıl nem ve rüzgar hızı gibi parametreler maksimum değerlerle dikkate alınmıştır. Yüksek verimli ürünlerin yetiştirilmesi yüksek su tüketimiyle ilişkilendirilirken, su tüketimi azaldığında bu ürünlerin ekim alanlarının genişlediği görülmüştür. Modern sulama yöntemlerinin, özellikle basınçlı sulama gibi uygulamaların, toplam su ihtiyacını azaltarak verimliliği arttırdığı belirtilmiştir. Düşük iklim değişikliği senaryosunda yağış miktarındaki azalmanın, çiftçilerin mahsullerini sulamak için daha fazla suya ihtiyaç duymasına yol açtığı, bunun da su kaynaklarının daha fazla kullanılmasına neden olduğu belirtilmiştir. Ancak, şiddetli iklim değişikliği senaryosunda, özellikle daha önce sulanan ürünlerde, önemli bir mahsul ekim alanının

azaldığı gözlemlenmiştir. Ekim alanlarındaki bu değişiklik, suyun daha verimli kullanımını göstermektedir. Çalışma, bu değişimlerin tarım ve su yönetimi üzerindeki etkilerini inceleyerek, sürdürülebilir çözümler geliştirme ve bölgedeki sürdürülebilirliği teşvik etme hedefiyle önemli öneriler sunmuştur. İklim değişkenlerindeki değişikliklere uyum sağlayan tarımsal ürün seçimi ile verimliliği artırmanın ve su tüketimini azaltmanın önemi vurgulanarak, sürdürülebilir bir tarım ve su yönetim sistemi oluşturulmasıyla iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılabileceği vurgulanmıştır. İklim değişikliğinin tarımsal üretime önemli riskler oluşturduğu ve bölgedeki üretim, ticaret modelleri, kalkınma ve gıda güvenliği üzerinde geniş kapsamlı sonuçları olabileceği belirtilmiştir.

Esteve ve ark. (2024), İspanya'da arıtılmış suyun tarımsal sulamada kullanılmasının zorlukları ve fırsatları (Hidro-ekonomik bir analiz) ile ilgili yaptıkları çalışmada, İspanya'nın Batı La Mancha akiferinde tarımda arıtılmış (geri kazanılmış) suyun yeniden kullanım potansiyelini ve su kaynakları yönetimini araştırmak için bir hidro ekonomik model kullanmıştır. Bu bölgede sulama için çekilen yeraltı suyunun, akiferin beslenme miktarını aştığı, geri kazanılan suyun yeniden kullanımının, aşırı kullanımın azaltılmasına katkıda bulunabilecek alternatif bir kaynak olarak görüldüğü ifade edilmiştir. WEAP hidroloji modeli ile entegre bir ekonomik optimizasyon modeli, mevcut su çıkarma rejimi ve kentsel atık su arıtma tesislerinden geri kazanılan suyun farklı düzeylerde yeniden kullanımı analiz edilmiştir. İklim belirsizliği, çeşitli iklim senaryoları altında öngörülen yağış ve sıcaklık değişiklikleriyle simüle edilmişitr. Sonuçlarda, geri kazanılan suyun yeniden kullanımının, yeraltı suyu seviyelerinin iyileşmesine katkıda bulunduğu, ancak, suyun yeniden kullanımının, nehirlere giden atık su akışını azaltarak sulak alanların çevresel ihtiyaçlarına olumsuz etki yapabileceği, ayrıca, suyun yeniden kullanımının, yüksek kapasiteli arıtma tesislerine sahip belediyelerde su kıtlığının tarım gelirleri üzerindeki olumsuz etkisinin azaltabileceği vurgulanmıştır. Bu araştırmada, geri kazanılmış suyun yeniden kullanımının ekonomik ve çevresel etkileri hakkında değerli bilgiler sağlamış, yarı kurak bölgelerde entegre ve sürdürülebilir su kaynakları yönetimi için politika kararlarını destekleyebileceği belirtilmiştir.

Jamnani ve ark. (2024), İran'ın kuzeybatısındaki Ghorveh-Dehgolan alt havzasında yaptığı çalışmada, gelecekteki su kaynaklarının durumunu araştırmak için WEAP ve MODFLOW hidrolojik modeli, makine öğrenimi yöntemleri ile birlikte kullanmıştır. Bölgedeki mevcut su kaynaklarının yaklaşık %95'inin tarım sektöründe kullanıldığı, su ihtiyacının %98'inin yeraltı sularından sağlandığı ve geçmişte su kaynakları bakımından zengin olan bu bölgenin su arzının hızla azalmakta olduğu vurgulanmıştır. Bölgede, tarım, evsel kullanım ve sanayi için su sağlayan üç baraj ve üç akiferin bulunduğu belirtilmiştir. İlk olarak, 2008-2021 dönemi için su kaynaklarının mevcut durumu simüle edilmiştir. Daha sonra, iklim değişikliğinin 2026-2045 döneminde su kaynakları üzerindeki etkisi SSP2.6 ve SSP8.5 emisyon senaryoları kapsamında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sırasında, MARS kullanılarak gelecekteki akış oluşturulmuş ve LSSVR ile yeraltı suyu seviyeleri tahmin edilerek SSP8.5 senaryosu kapsamında, yağışların %15 azalacağı ve bu durumun yeraltı suyu

seviyesini yılda 1,2 metre azaltacağı öngörülmüştür. Gelecekteki su talep ve arz senaryolarının uygun şekilde geliştirilmesi, özellikle gelişmekte olan ülkelerde veri ve gözlem eksikliği nedeniyle zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, makine öğrenimi yöntemleri ile birlikte hidrolojik modelleme bu sorunların bazılarını telafi edebilir. Bu çalışmanın amacı, Ghorveh-Dehgolan alt havzasında gelecekteki su talebi ve arzının iklim değişikliği altında yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarını nasıl etkileyebileceğini anlamaktır. Ayrıca, WEAP-MODFLOW-ML hibrit modellemesinin kullanımına yönelik bir metodoloji geliştirilmiştir. Bu, yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının daha iyi yönetilmesine ve atmosfer-yüzey suyu-yeraltı suyu-insan su kullanım sisteminin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Havzanın su tüketiminin yaklaşık %95'i tarım sektöründe kullanılmaktadır ve sürdürülebilir kalkınmanın göz ardı edilmesi bölgede birçok soruna yol açmaktadır. Dehgolan ve Ghorveh akiferlerinin yeraltı suyu seviyeleri sırasıyla 35 metre ve 22 metre düşmüştür. Bu çalışma, hidrolojik modelleme ile makine öğrenimini birleştirerek su yönetimi konusunda önemli yenilikler sunmuştur.

3. MATERYAL VE METOT

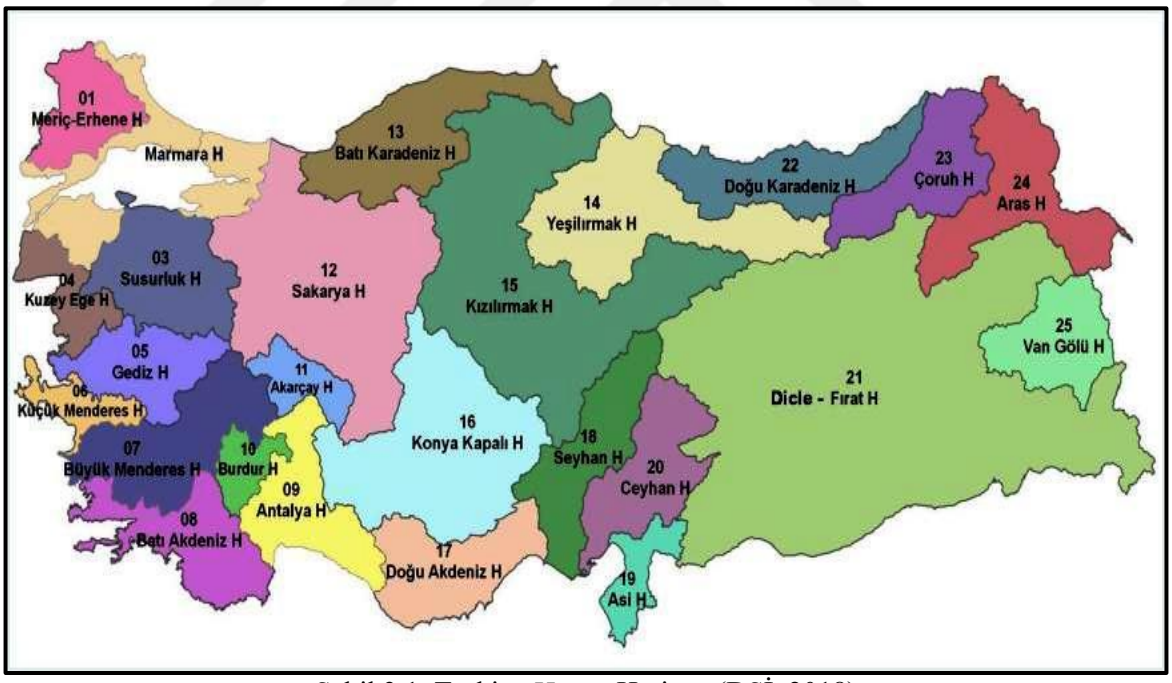
3.1. Giriş

Bu bölümde, Türkiye'de yer alan Kızılırmak Havzası ile havzanın bir bölümünü teşkil eden ve çalışma alanı olan Yukarı Kızılırmak Alt Havzası ve havzada bulunan tesisler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Ayrıca, modelleme ve işletme çalışmalarında kullanılacak olan WEAP programı ile ilgili genel bilgiler anlatılmıştır. Bölümün son kısımda ise çalışmada izlenecek yöntemlerden bahsedilmiştir.

Havza üzerinde yer alan önemli sulama ve depolama tesislerinin tamamına yakını DSİ tarafından planlanan, projelendirilen ve inşa edilen tesisler olup, bunların karakteristik özellikleri DSİ 19. Bölge Müdürlüğü ve DSİ Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Ayrıca, bir kısım bilgi ve veriler DSİ Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış olan "Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu"ndan da alınarak modele tanıtılmıştır.

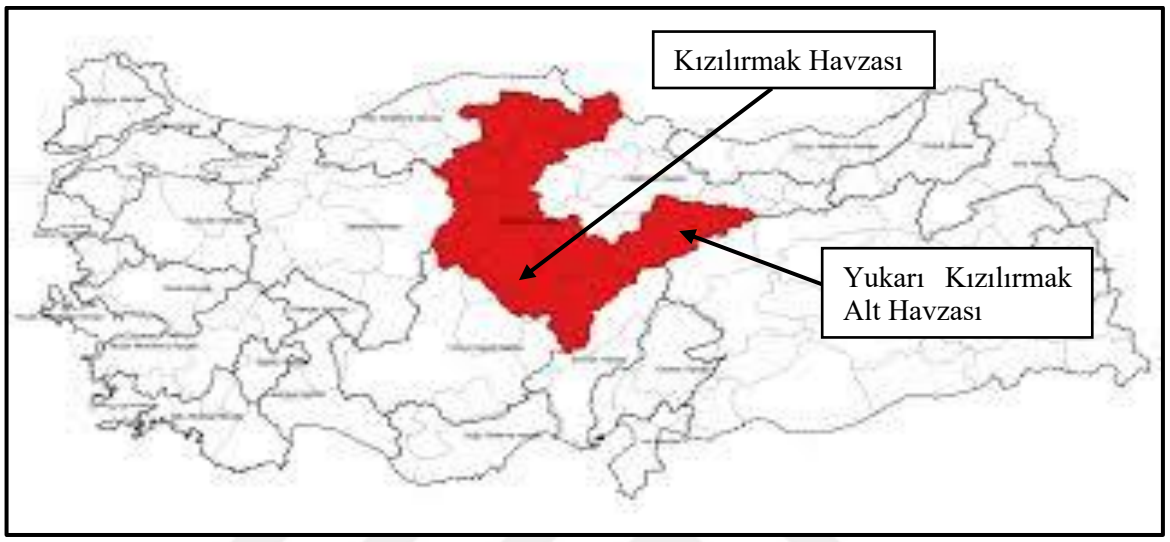
3. 2. Çalışma Alanı

Türkiye geneli hidrolojik çalışmalar için 25 ana akarsu havzasına ayrılmış olup, bu havzalar ve havza sınırları Şekil 3.1.'de Türkiye haritası üzerinde gösterilmiştir (DSİ, 2018).



Şekil 3.1. Türkiye Havza Haritası (DSİ, 2018)

Kızılırmak Havzası, 41°-44’ ve 38°-25’ kuzey enlemleri ile 32°-48’ ve 38°-25’ doğu boylamları arasında yer almakta olup, Türkiye’nin 15 no’lu havzasıdır. Türkiye yüzölçümünün %10,49’unu oluşturan Kızılırmak Havzası’nın alanı 82.181,00 km² ve çevre uzunluğu 3.546,10 km’dir. Kızılırmak Havzası ile alt havzası olan Yukarı Kızılırmak Alt Havzası’nın Türkiye’deki konumu Şekil 3.2.’de gösterilmiştir.



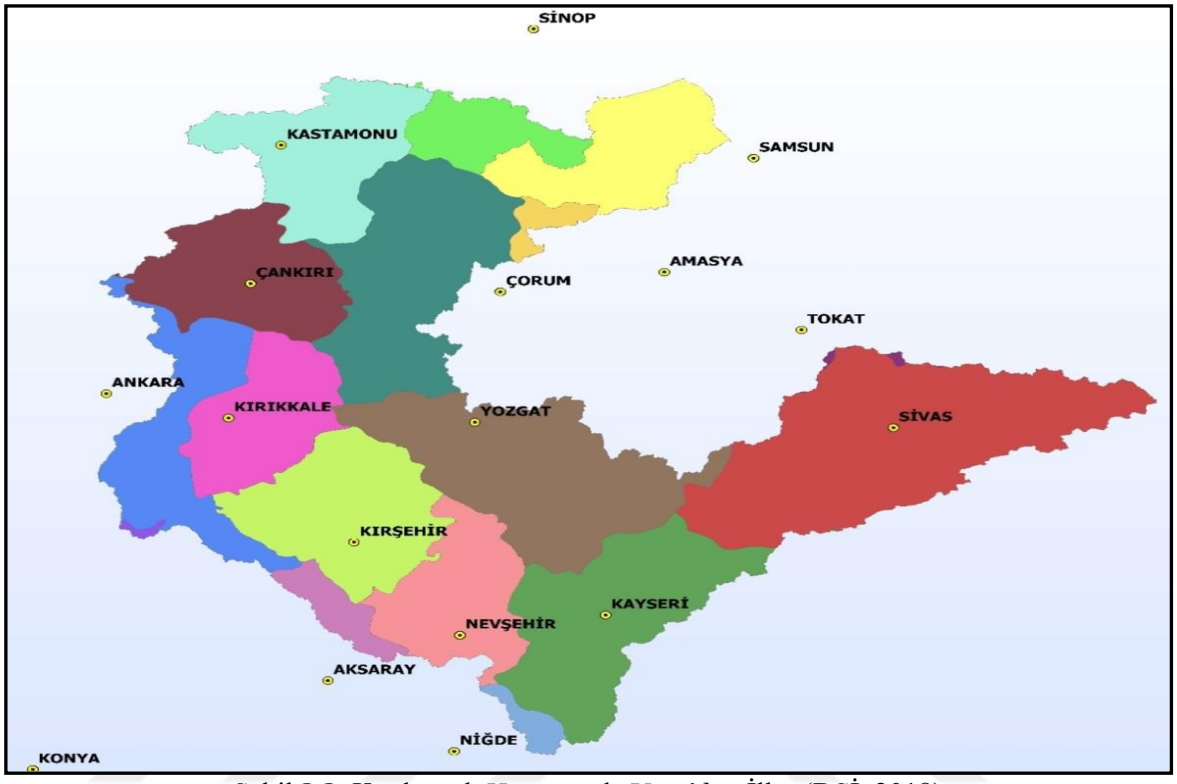
Şekil 3.2. Kızılırmak Havzası ve Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Türkiye’deki Konumu (DSİ, 2018)

Kızılırmak Havzası İç Anadolu Bölgesi ile Karadeniz Bölgesi coğrafi sınırları içerisinde yer almaktadır. Havza içerisinde yer alan iller Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kızılırmak Havzası İlleri (DSİ, 2018)

İller	İlin Toplam Alanı (ha)	İlin Havzaya Giren Alanı (ha)	İl Alanının Havzaya Giren Kısmı (%)	Havzanın İllere Göre Dağılımı (%)
Sivas	2848800	1343395	47	16
Yozgat	1412300	954790	68	12
Çorum	1282000	852649	66	10
Kayseri	1691700	793153	47	10
Kırşehir	657000	656413	100	8
Kastamonu	1310800	570557	43	7
Çankırı	845400	553245	65	7
Ankara	3071500	524719	17	6
Nevşehir	546700	482022	88	6
Samsun	957900	480407	50	6
Kırıkkale	472232	472774	100	6
Sinop	588200	254664	43	3
Aksaray	799700	126123	16	2
Amasya	569000	71013	12	1
Niğde	1429400	63548	4	1
Konya	3825700	10969	0,287	0
Tokat	1007100	9689	1	0
Erzincan	1197400	114	0,0095	0

Kızılırmak Havzası, membasında Sivas ve mansabında Samsun illeri olmak üzere bunlar arasında yer alan arasında çok sayıda ili de kapsamakta olup, havza içerisinde yer alan illerin konumu harita üzerinde Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.

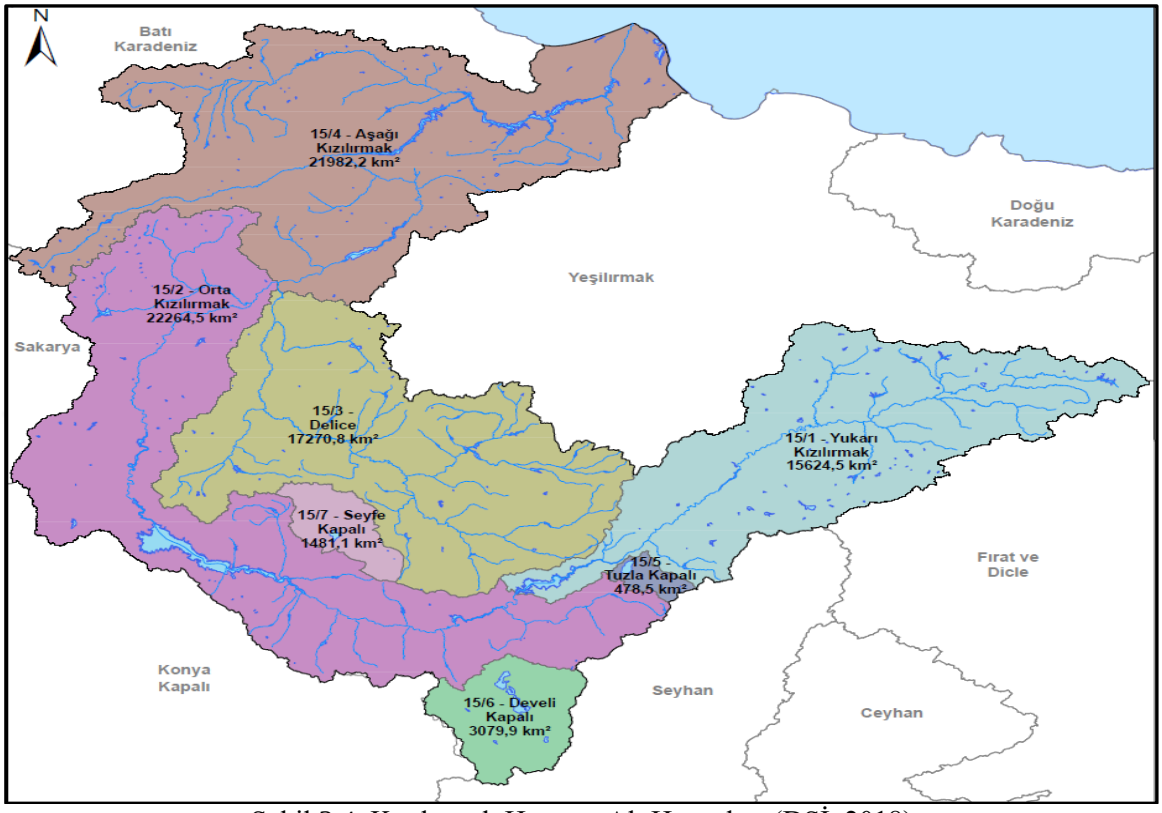


Şekil 3.3. Kızılırmak Havzasında Yer Alan İller (DSİ, 2018)

Kızılırmak Havzası; kuzeyinde Yeşilırmak Havzası, doğusunda Fırat-Dicle Havzası, güneyinde Seyhan Havzası, güneybatısında Konya Kapalı Havzası, batısında Sakarya Havzası ve kuzey batısında ise Batı Karadeniz Havzası ile komşudur. Kızılırmak Havzası'nın büyük bir bölümü İç Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle genellikle karasal iklim tipi görülmektedir. Havzanın büyük bir alana yayılmış olması farklı iklimsel özelliklerin gözlenmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, sıcaklık ve yağış ölçümleri yapılan istasyonlardaki değerler arasında sıcaklık ve yağış farkları bulunmaktadır (DSİ, 2018).

Kızılırmak Havzası'nın ana nehri olan Kızılırmak Nehri, Türkiye sınırları içinde doğup, yine Türkiye'de denize dökülen en uzun akarsudur. 1.151 km uzunluğundaki Kızılırmak, 82.181,5 km²'lik bir alanın suyunu Karadeniz'e taşır. Sivas ili İmranlı ilçesindeki Kızıldağ'ın güney yamaçlarından doğan nehir, İmranlı'da birçok derenin birleşmesiyle oluşur. Sivas ili sınırları içinde Kızılırmak'a Acısu, Hafik, Mismil, Tecer, Koru, Yıldız, Kalın ve Göksu kaynakları karışır. Sivas'tan sonra nehrin başlıca kolları Delice, Devres ve Gökırmak'tır. Kızılırmak, sırasıyla Kayseri, Nevşehir, Aksaray, Kırşehir, Ankara, Kırıkkale, Çankırı, Çorum, Sinop ve Samsun illerinden geçerek Bafra Ovasından Karadeniz'e dökülür (DSİ, 2018).

Kızılırmak Havzası; iklim, akım özellikleri, topoğrafya, su yapıları, kapalı havza özellikleri ve jeolojik durum dikkate alınarak 7 (yedi) alt havzaya bölünmüş olup, bunlar harita üzerinde Şekil 3.4.'te gösterilmiştir (DSİ, 2018).



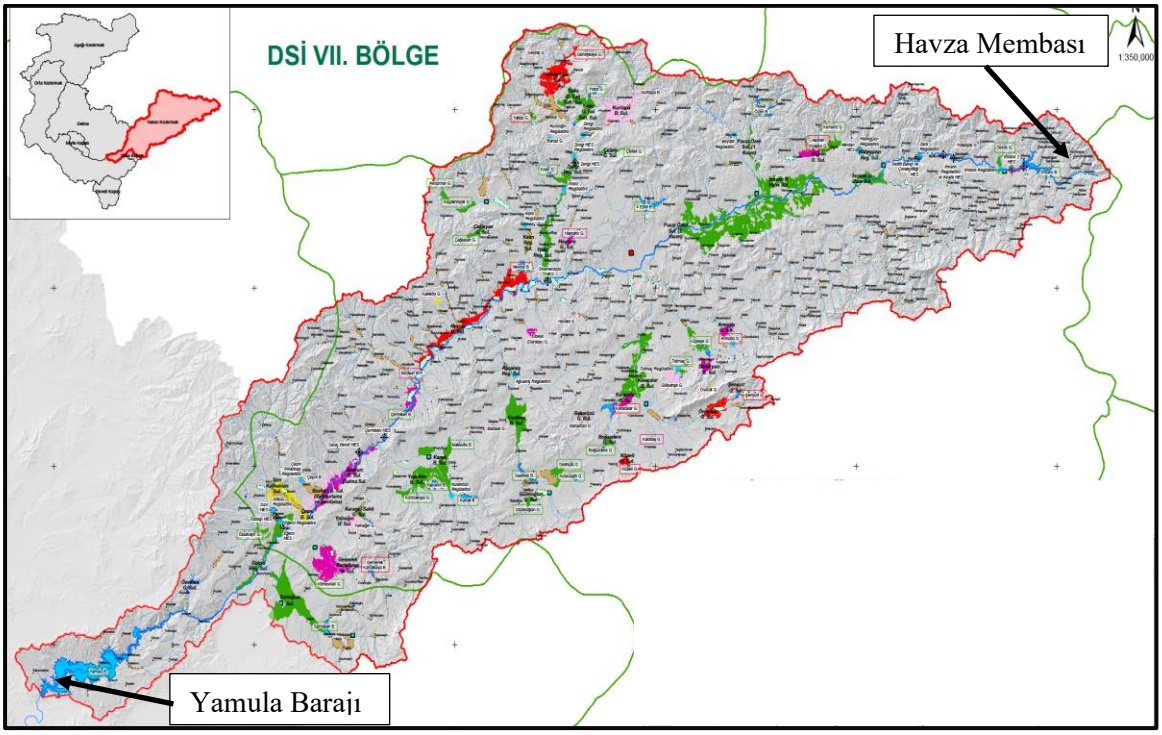
Şekil 3.4. Kızılırmak Havzası Alt Havzaları (DSİ, 2018)

Kızılırmak Havzası'nın alt havzaları olan Yukarı Kızılırmak, Orta Kızılırmak, Delice, Aşağı Kızılırmak, Tuzla Kapalı, Develi Kapalı ve Seyfe Kapalı alt havzalarına ait yağış alanı ile doğal akım gibi karakteristik bilgileri Çizelge 3.2.'de verilmiştir (DSİ, 2018).

Çizelge 3.2. Kızılırmak Havzası Alt Havzaları ve Karakteristik Bilgileri (DSİ, 2018)

Sıra No	Alt Havza Adı	Alt Havza Yağış Alanı	Alt Havza Doğal Akımı
		km²	(hm³/yıl)
1	Yukarı Kızılırmak	15.624,5	2.124,3
2	Orta Kızılırmak	22.264,5	1.246,5
3	Delice Çayı	17.270,8	744,8
4	Aşağı Kızılırmak	21.982,2	2.600,8
5	Develi Kapalı	3.079,9	195,1
6	Seyfe Kapalı	1.481,1	56,5
7	Tuzla Kapalı	478,5	20,4
	TOPLAM	**82.181,5**	**6.988,4**

Çalışmaya konu Yukarı Kızılırmak Alt Havzası, 40°-13' ve 38°-48' kuzey enlemleri ile 35°-12' ve 38°-25' doğu boylamları arasında yer almakta olup, Kızılırmak Havzası membasından Yamula Barajı aksına kadar olan 1 nolu alt havzadır. Toplam havza alanı 15.624,5 km² ve çevre uzunluğu 1.194,8 km'dir. Türkiye yüzölçümünün %1,91'ini ve ait olduğu Kızılırmak Havzası'nın %19,01'ini kapsayan bu alt havzanın Genel Vaziyet Planı Şekil 3.5'te verilmiştir. (DSİ, 2018).

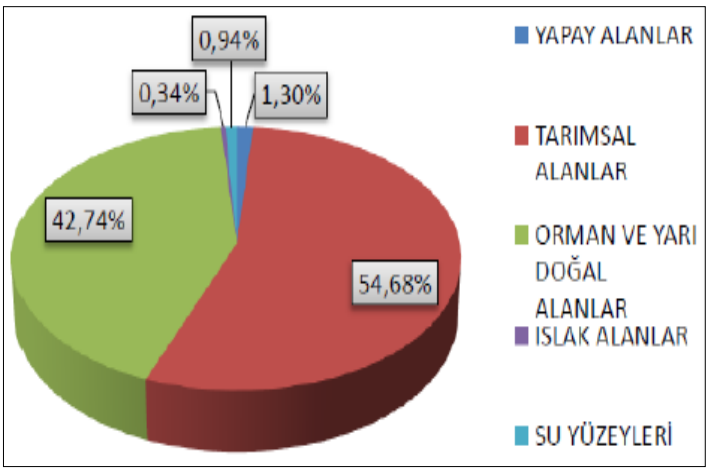


Şekil 3.5. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Genel Vaziyet Planı (DSİ, 2018)

Yukarı Kızılırmak Alt Havzası içerisinde Sivas, Kayseri, Yozgat ve Tokat illerinin bazı bölümleri bulunmaktadır. Sivas ilinin İmranlı, Zara, Hafik, Sivas Merkez İlçe, Ulaş, Yıldızeli, Altınyayla, Şarkışla ve Gemerek ilçeleri ile Kayseri ilinin Sarıoğlan, Akkışla, Özvatan ve Kocasinan ilçeleri havza içersinde yer alan önemli yerleşim yerleridir.

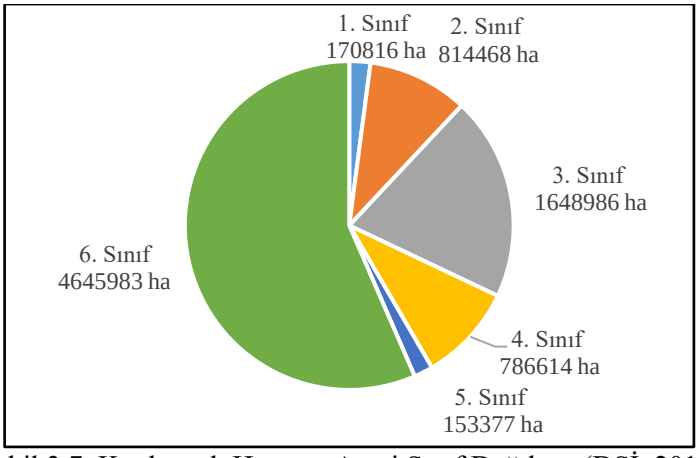
3.2.1. Kızılırmak Havzası Arazi ve Toprak Durumu

Kızılırmak Havzası'ndaki toprak kaynaklarına ait çalışmalar DSİ ve (mülga) KHGM tarafından yapılmış olup, arazi kullanımına ait grafik gösterimi Şekil 3.6'da verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere tarımsal alanlar havzanın %54,68'ini, orman ve yarı doğal alanlar %42,74'sini, şehir ve kasabalar gibi yapılaşmış bölgelerin olduğu alanlar %1,3'ünü, bataklıklar ve tuzlalar gibi ıslak alanlar %0,34'ünü, karasal su alanları, kıyı lagünleri, nehir ağızları ve akarsular gibi su kütleleri ise havzanın %0,94'ünü oluşturmaktadır (DSİ, 2018).



Şekil 3.6. Kızılırmak Havzası Arazi Kullanımı (DSİ, 2018)

Kızılırmak Havzası toprak kaynakları arazi sınıf dağılımı grafik gösterim olarak Şekil 3.7'de verilmiştir (DSİ, 2018). Grafikten de görüleceği üzere tarım arazilerinin toplam miktarı 8.220.244 ha'dır. Tarım arazilerini sulanabilir, geçici sulanamaz ve sulanamaz alanlar olmak üzere üç grup halinde gruplandırabiliriz. Sulanabilir alanlar 1. sınıf, 2.sınıf, 3. Sınıf ve 4. sınıf, geçici sulanamaz alanlar 5. sınıf ve sulanamaz alanlar ise 6. sınıf olarak kendi içerisinde sınıflandırılmış olup, sulanabilir alan miktarı 3.420.884 ha, geçici sulanamaz alan miktarı 153.377 ha ve sulanamaz alan miktarı da 4.645.983 ha'dır. Kızılırmak Havzası Toprak Kaynakları Arazi Sınıfları Dağılımı detaylı olarak EK-A1'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.7. Kızılırmak Havzası Arazi Sınıf Dağılımı (DSİ, 2018)

Yukarı Kızılırmak Alt Havzası arazi toplamı 1.573.440 ha olup, toprak işlemeli tarıma elverişli arazi miktarı 542.814 ha (havzanın %34,50'si), toprak işlemeli tarıma elverişsiz arazi miktarı 744.432 ha (havzanın %47,31'i) ve diğer alanlar (yerleşim yerleri, göller ve dere yatakları vb) 286.194 ha'dır (havzanın %18,19'u) (DSİ, 2018). Yukarı Kızılırmak Alt Havzası arazi kullanım sınıfları detaylı olarak EK-A2'de verilmiştir.

3.2.2. İklim

Yukarı Kızılırmak Havzası'nda karasal iklim hakimdir. Gemerek'ten Zara'ya doğru yükseldikçe iklim parametrelerinde önemli değişiklikler gözlenir. Yıllık ortalama sıcaklık havzanın güneyindeki Gemerek'te 9,6 °C iken, havzanın kuzeyinde yer alan Zara'da 8,6 °C'dir. Havzada, İç Anadolunun karasal yağış rejimi hüküm sürer. Gemerek'te yıllık yağış miktarı 401 mm iken, Zara'da 525,7 mm'ye yükselir. En fazla yağış ilkbahar aylarında, Nisan ve Mayıs'ta görülür. İlkbahardan sonra en yağışlı dönem kış aylarıdır, ancak kış yağışları Gemerek'ten Zara'ya doğru azalır. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 8,8 ^{0}C ve yıllık ortalama yağış değeri 443,0 mm'dir (Sağdıç ve Koç, 2012).

Havzada Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ile DSİ tarafından işletilen meteoroloji istasyonları bulunmaktadır. MGM tarafından işletilen istasyonlar da yağış, sıcaklık, buharlaşma, nem, rüzgâr yönü ve hızı, hava basıncı, radyasyon miktarı, kar kalınlığı ve don derinliği, DSİ tarafından işletilenlerde ise yağış ve buharlaşma gibi gözlemler yapılmaktadır. MGM internet sitesinden alınan Sivas iline ait 1930 ile 2018 yılları arasındaki periyotda yıllık ortalama sıcaklık 9,0 °C, en yüksek sıcaklık 40 °C, en düşük sıcaklık -34,40 °C ve yıllık toplam yağış miktarı 429,3 mm olarak gözlemlenmiş olup (Anonim 2, 2024), EK-B1'de detaylı olarak verilmiştir. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda meteoroloji gözlem istasyonlarına ait Sivas ve Kayseri illerindeki çalışma alanında yer alan yerleşim yerlerindeki toplam yağış bilgileri EK-B2'de ve aylık ortalama sıcaklık değerleri ise EK-B3'te verilmiştir (DSİ, 2018).

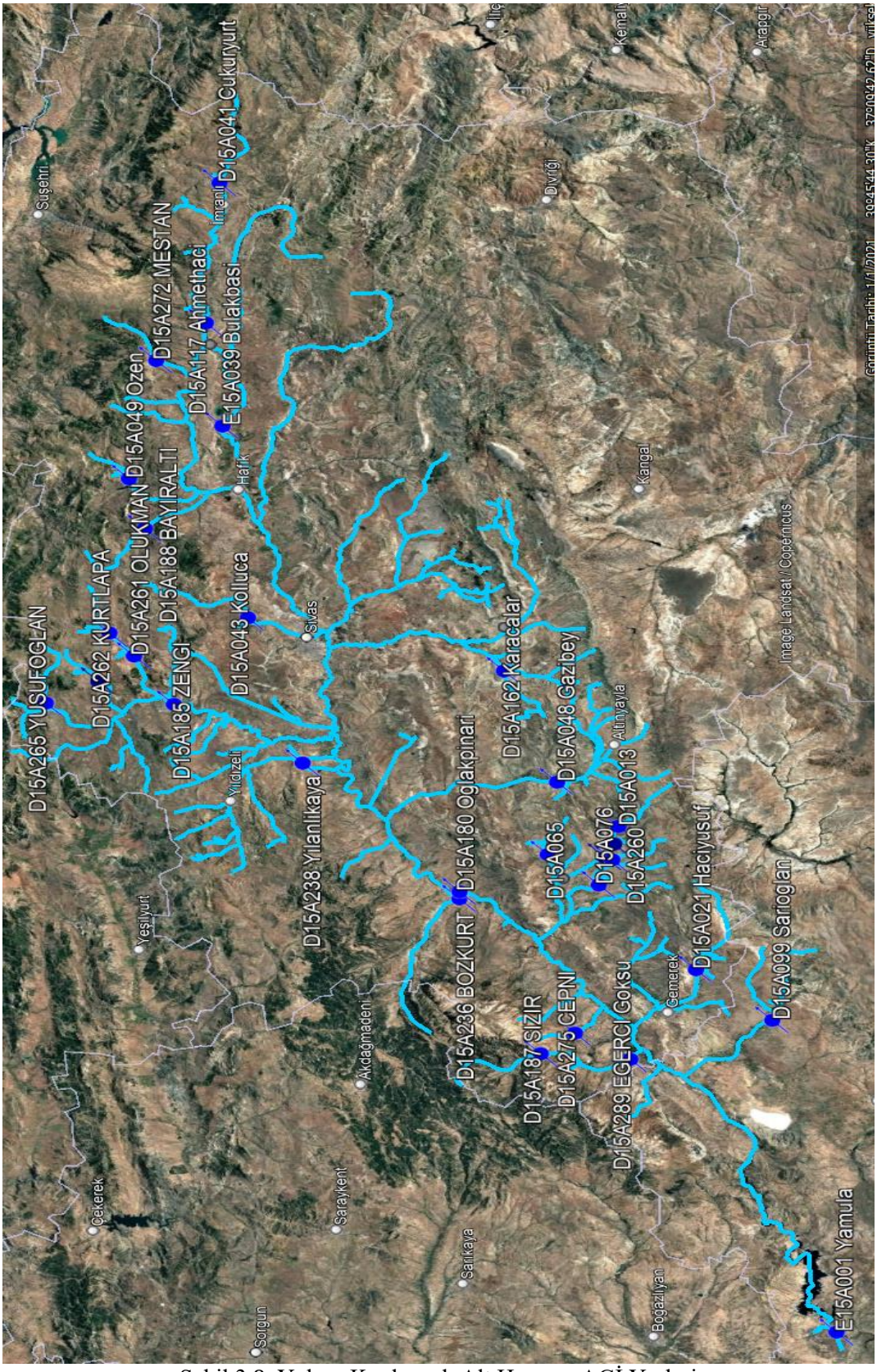
3.2.3 Akım Gözlem İstasyonları (AGİ)

Kızılırmak Nehri ve yan kolları üzerinde DSİ ve (mülga) EİE tarafından farklı tarihlerde açılmış olan çok sayıda AGİ bulunmaktadır. Havzanın çıkış bölgesinde Yamula Barajı civarında yer alan E15A001 nolu Yamula AGİ'de ki ölçümler 1938 yılında başlamış olup, çalışmada önemli yer tutmuştur. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda yapılan bu çalışmada bir kısmı açık ve bir kısmı da çeşitli nedenlerle kapatılmış olan 29 adet AGİ'ye ait akım verileri kullanılmıştır. AGİ'lerin bulunduğu nehir kolu, yağış alanı ve ölçüm aralığı gibi bilgileri de içeren karakteristik bilgiler Çizelge 3.3'de verilmiştir (DSİ, 2018).

Çizelge 3.3. Çalışmada Kullanılan Akım Gözlem İstasyonları (DSİ, 2018)

Sıra No	İstasyon No	İstasyon Adı	Akarsu Adı	Yağış Alanı (km^2)	Kot (m)	Ölçüm Tarihi
1	D15A041	Çukuryurt	Kızılırmak Nehri	378,80	1589	1964-1995
2	D15A117	Ahmethacı	Kızılırmak Nehri	693,42	1361	1967-2012
3	E15A039	Bulakbaşı	Kızılırmak Nehri	1642,0	1298	1972-2013
4	D15A043	Kolluca	Mismil Irmak	245,0	1330	1964-1994
5	D15A162	Karacalar	Karacalar Deresi	248,6	1383	1972-1996
6	D15A048	Gazibey	Üçgülüç Deresi	393,0	1360	1965-1964
7	D15A049	Özen	Pusat Deresi	141,1	1386	1966-1994
8	D15A188	Bayıraltı	Beydilli Deresi	198,7	1370	1979-1999
9	D15A099	Sarıoğlan Çiftliği	Kestovan Suyu	257,0	1210	1966-2006
10	D15A065	Maksutlu	Maksutlu Dere	43,73	1284	1965-1977
11	D15A076	Yapıaltın	Çaylak Suyu	52,0	1261	1965-1969
12	D15A260	Şarkışla	Kutanözü Dere	68,0	1280	1994-2007
13	D15A258	Cemel	Kanaközü Deresi	178		1993-1996
14	D15A013	Cemel	Konaközü Deresi	138		1962-1969
15	D15A284	Cemel	Kanaközü Deresi	172,5		2000-2010
16	D15A187	Sızır	Ayanözü Deresi	247,7	1425	1979-1994
17	D15A289	Eğerci	Göksu Dere	488,5	1425	2000-2013
18	D15A185	Zengi	Yıldız Irmağı	1035,0	1308	1980-2011
19	D15A186	Yıldız	Kayalıgöl Dere	31,25	1465	1979-1994
20	D15A272	Mestan	Kuzucağın Dere	111,0	1410	1997-2013
21	D15A261	Olukman	Dumanlı Çayı	254,9	1374	1994-2013
22	D15A021	Hacıyusuf	Mudarasın Dere	278,0	1227	1962-1994
23	D15A265	Yusufoğlan	Geçmiş Dere	35,5	1400	1996-2010
24	D15A236	Bozkurt	Akçakışla Deresi	414,2	1210	1988-2014
25	D15A238	Yılanlıkaya	Kalın Irmağı	360,5	1330	1989-2001
26	D15A262	Kurtlapa	Gökdere	47,9	1420	1994-2015
27	D15A275	Çepni	Pınarbaşı Kaynağ	20,1	1345	1997-2013
28	D15A180	Oğlakpınarı	Kızılırmak Nehri	11073,6	1188	1979-2013
29	E15A001	Yamula	Kızılırmak Nehri	15581,6	995	1938-2014

Çalışmada kullanılan AGİ'lerin havza içerisindeki yerleri ile nehirler üzerindeki konumu Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası AGİ Yerleri

3.2.4 Akarsular

Yukarı Kızılırmak havzasının ana su kaynağı Kızılırmak nehri ile birlikte buna bağlanan çok sayıda yan kol bulunmaktadır. Kızılırmak nehrine bağlanan önemli akarsulara ait liste Çizelge 3.4'de verilmiştir (DSİ, 2018).

Çizelge 3.4. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Akarsuları (DSİ, 2018)

S. No	Akarsuyun Adı	S. No	Akarsuyun Adı
1	Beydilli Deresi	11	Mısmıl Irmak
2	Çubuksuyu Deresi	12	Olukman Deresi
3	Fadlım Nehri	13	Pınarbaşı Deresi
4	Göksu Deresi	14	Sarıoğlan Deresi
5	Hacıkara Deresi	15	Şarkışla Acısu Kanak Deresi
6	Hafik Acısu Deresi	16	Tecer Nehri
7	Kaldıraközu Deresi	17	Üsgülüç Çayı
8	Kalin Deresi	18	Yıldız Irmağı
9	Karapınar Deresi Habeş Çayı	19	Y. Kızılırmak
10	Koşut Deresi	20	Zara Acısu deresi

3.2.5. Depolama Tesisleri

Çalışma sahası içerisinde suların depolanması amacıyla DSİ, (mülga) KHGM ve İ.Ö.İ tarafından yapılmış olan çok sayıda depolama tesisi bulunmaktadır. Bu depolama tesislerinden önemli olanların 68 adet gibi büyük kısmı, DSİ tarafından planlaması, projelendirmesi ve inşası yapılmış olan tesislerdir. DSİ tarafından inşa edilmiş 353,52 hm^3 depolama kapasitesine sahip 14 adet baraj ile 49,47 hm^3 depolama kapasitesine sahip 30 adet gölet işletme aşamasında bulunmaktadır. DSİ tarafından inşa edilerek işletilen önemli barajlar, İmranlı, Pusat Özen, Dört Eylül, Karacalar, Nevruz, Gazibey, Kanak, Yapıaltın ve Sarıoğlan'dır. DSİ tarafından inşa edilmiş olan depolama tesislerine ait genel karakteristik bilgiler EK-C1'de verilmiştir. Yine 37,65 hm^3 depolama kapasitesine sahip 1 baraj ile 5 gölet inşaat aşamasında bulunmaktadır. Planlama, proje aşamasında 4 adet baraj ile 14 adet gölet bulunmakta olup, bunlarında depolama kapasitesi 204,95 $hm^{3'}$dir. Bu depolama tesislerine ait genel karakteristik bilgiler EK-C2'de verilmiştir.

Yine özel sektör tarafından inşa edilerek işletmede olan, 3.513,40 hm^3 depolama kapasitesine sahip, aynı zamanda enerji de üreten Yamula Barajı ve Çermikler Barajı olmak üzere iki adet depolamalı baraj bulunmakta olup, bunlara ait yer genel karakteristik bilgiler EK-C3'de verilmiştir.

Havza içerisinde (Mülga) KHGM ve İ.Ö.İ. tarafından yapılmış olan 19,03 hm^3 depolama kapasitesine sahip 18 adet gölet tipinde depolama tesisi bulunmakta olup, bunlara ait bilgiler EK-C4'de verilmiştir.

Havzanın başlangıcında yer alan ve sulama amacıyla inşa edilmiş olan ilk depolama tesisi İmranlı Barajı'na ait genel görünüm Şekil 3.9'da verilmiştir. İmranlı Barajı kret kotu 1657,00 m ve depolama hacmi 62,50 hm^3 olan, kil çekirdekli zonlu dolgu tipinde bir barajdır (DSİ, 2021).



Şekil 3.9. İmranlı Barajı Genel Görünümü (DSİ, 2021)

Havzanın mansabında yer alan, en büyük su depolama kapasitesine sahip, hem sulama hem de enerji üretim amacı olan son depolama tesisi Yamula Barajı'dır. Yamula Barajı'nın genel görünümü Şekil 3.10'da verilmiştir. Kızılırmak Nehri üzerinde, Kayseri Şehir Merkezi'nin 30 km kuzeybatısında yer alan Yamula Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Yap-İşlet-Devret (YİD) modeli ile yapılan enerji ve sulama amaçlı Türkiye'nin önemli projelerinden birisidir. Kret kotu 1104,00 m, temelden 130,00 m yüksekliğinde ve depolama hacmi 3.476,00 hm^3 olan zonlu kil çekirdekli kaya dolgu tipinde bir barajdır (Ayen Enerji A.Ş., 2024).



Şekil 3.10. Yamula Barajı Genel Görünümü (Ayen Enerji A.Ş., 2024).

3.2.6 Sulama Tesisleri

Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda, başta DSİ olmak üzere, (mülga) KHGM ve İ.Ö.İ. tarafından yapılmış olan çok sayıda sulama tesisi ile yerel halk tarafından yapılmış olan halk sulamaları bulunmaktadır. Havza içerisinde yer alan tarım arazilerinin sulanmasında çoğunlukla yüzeysel sular kullanılmakta, ancak az miktarda da yeraltı suyundan faydalanılmaktadır. Çalışma sahasında yer alan ve mevcut suyu kullanarak talep oluşturan sulama tesislerinin büyük çoğunluğu DSİ tarafından inşa edilmiştir. Havza içerisinde su tüketimi en çok tarım sektöründedir. Havzada, hububat tarımı öncelikli olup, bunu şeker pancarı, patates ile yem bitkileri takip etmektedir.

DSİ tarafından inşa edilerek, işletmeye açılmış olan, cazibeli açık sulama sistemi ve borulu basınçlı sulama sistemine sahip 52 adet sulama tesisi ile brüt 65.831,00 ha tarım alanının sulamasına hizmet veren YÜS sulama tesisleri havza içerisinde birçok bölgeye dağılmış bulunmakta olup, bu tesislere ait sulama alanı, sulama yöntemi ve su ihtiyacı gibi karakteristik bilgiler EK-D1'de verilmiştir.

(Mülga) KHGM ve İ.Ö.İ tarafından da inşa edilmiş gölet gibi depolama tesisleri kullanılarak yapılan 18 adet sulama tesisi ile 4.178 ha tarım alanının sulamasına hizmet veren, çoğunluğu cazibeli açık sistem sulama sitemine sahip gölet YÜS sulama tesisleri ile havzanın farklı lokasyonlarında yer almaktadır. Bu tesislere ait sulama alanı, sulama yöntemi ve su ihtiyacı gibi karakteristik bilgiler EK-D2'de verilmiştir (DSİ, 2018).

(Mülga) KHGM ve İ.Ö.İ tarafından havza içerisinde birçok lokasyonda yapılmış olan cazibeli, açık kanal sisteminde 10.096 ha tarım alanının sulamasına hizmet veren, sulama tesisleri yer almaktadır. Bu tesislere ait sulama alanı, sulama yöntemi ve su ihtiyacı gibi karakteristik bilgiler EK-D3'de verilmiştir (DSİ, 2018).

Havza içerisinde halk tarafından nehir kenarlarına yakın bölgeler başta olmak üzere, kendi imkanları ile yaptıkları tesislerle suladıkları ve halk sulamaları olarak adlandırılan çok sayıda küçük ölçekli tesis bulunmaktadır. 93 adet tesis ile 8.029 ha tarımsal alan cazibeli açık sulama sistemi ile sulanmakta olup, bunlara ait bilgiler EK-D4'te verilmiştir.

Yukarı Kızılırmak Alt Havzası içerisinde hali hazırda DSİ tarafından planlama, proje ve inşaat aşamasında olan 18 adet YÜS sulama tesisi ile 18.700 ha tarım arazisinin de ilerleyen yıllarda yapılması planlanmış olup, bu tesislere ait genel karakteristik bilgiler EK-D5'de verilmiştir.

Havzada Sivas ve Kayseri il sınırları içerisinde yeraltısuyu kullanılarak yapılan sulamalar da bulunmaktadır. Bunların sulama sahası, yüzeysel sulama sahalarına göre oldukça düşüktür. DSİ tarafından inşa edilmiş olan 6 adet YAS sulama tesisi ile 1.267 ha tarım alanının sulaması yapılmakta olup, bu tesislere ait karakteristik bilgiler ile akiferden izin verilen yıllık su tahsis miktarları Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası DSİ YAS Sulama Tesisleri (DSİ, 2018)

İl Adı	**Sulama Adı**	**Sulama Alanı (ha)**	**Mevcut Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)**	**Projeli Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)**	**Yıllık Su Tahsisi (hm^3)**
Sivas	Gürçayır YAS	300	4608	2074	0,86
	Kömürkaya YAS	80	4010	2074	0,21
	Altınyayla YAS	280	3724	2074	1,09
	Harmandalı YAS	220	3724	2074	0,54
Kayseri	Özvatan YAS	187	5087	3425,86	0,80
	Mahzenin YAS	200	4570	4163,90	1,30
	Toplam	**1 267**			

İ.Ö.İ. tarafından Sivas ilinde yapılmış olan 1 adet YAS sulama tesisi ile 39 ha tarım alanının sulaması yapılmakta olup, bu tesise ait karakteristik bilgiler ile akiferden izin verilen yıllık su tahsis miktarları Çizelge 3.6'da verilmiştir (DSİ, 2018).

Çizelge 3.6. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İ.Ö.İ YAS Sulama Tesisleri (DSİ, 2018)

İl Adı	**Sulama Adı**	**Net Alan (ha)**	**Mevcut Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)**	**Projeli Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)**	**Yıllık Su Tahsisi (hm^3)**
Sivas	Gemerek YAS	39	4142	4102	0,16
	Toplam	**39**			

Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda işletmede bulunan 89.440 ha'lık tarımsal alanın sulanmasına hizmet eden sulama tesislerinin 35.373 ha'lık kısmı açık sistem cazibeli, 54.067 ha'lık kısmı ise borulu basınçlı sisteme sahiptir (Çizelge 3.7) (DSİ, 2018).

Çizelge 3.7. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Sulamaları (DSİ, 2018)

S.No	Adı	Açık Sistem Sulama Alanı (ha)	Kapalı Sistem Sulama Alanı (ha)	Toplam Sulama Alanı (ha)
1	DSİ YÜS Sulamaları	13.358	52.473	65.831
2	DSİ YAS Sulamaları		1.267	1.267
3	İ.Ö.İ. YÜS Sulamaları	10.096		10.096
4	İ.Ö.İ. Gölet Sulamaları	3.851	327	4.178
5	İ.Ö.İ. YAS Sulamaları	39		39
6	Halk Sulamaları	8.029		8.029
	TOPLAM	35.373	54.067	89.440

3.2.7 İçme Suyu

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), temel ihtiyaçların çoğunun karşılanmasını ve sağlık sorunlarının az olmasını sağlamak için kişi başına günde yaklaşık 100 litre su tüketimini önermektedir (WHO, 2003). DSİ tarafından hazırlanmış olan Pusat-Özen Barajı'ndan Sivas il merkezine içme suyu aktarılması işi gerekçe raporunda kişi başına günlük su ihtiyacı 2019 yılı için 106,32 litre, 2050 yılı için ise 150 litre olarak ön görülmüştür (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020).

Sivas il merkezinin içme-kullanma suyu ihtiyacı Dört Eylül Barajı, Tavra Kaynakları ve Pusat Özen Barajı'ndan karşılanmaktadır. Uzun vadede Beydilli Barajı yapılarak bu havzadaki suların da kullanılması amacıyla planlama çalışmaları devam etmektedir.

Pusat-Özen Barajı'ndan Sivas İl Merkezine İçme Suyu Aktarılması Gerekçe Raporu'nda, Sivas il merkezi içme kullanma suyu durumu genel olarak değerlendirildiğinde, Tavra Kaynakları'ndan 22 hm^3/yıl, Dört Eylül Barajı'ndan 13 hm^3/yıl ve Pusat Özen Barajı'ndan 8,42 hm^3/yıl olmak üzere toplamda yıllık 43,42 hm^3 su temin edilebileceği hesaplanmıştır. 2050 yılına kadar nüfusun 389.719 kişiden 575.226 kişiye çıkacağı ön görülmüştür. Sivas İl Merkezi nüfus ve su ihtiyacı gibi karakteristik bilgileri Çizelge 3.8'de verilmiştir (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020).

Çizelge 3.8. Sivas İl Merkezi Nüfus ve Su İhtiyacı (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020)

Yıl	Nüfus (Kişi)	Net Su İhtiyacı				Toplam Brüt Su İhtiyacı	
		Konut		Su İhtiyacı	Toplam Net Su İhtiyacı		
		l/k/gün	hm^3/yıl	hm^3/yıl	hm^3/yıl	l/k/g	hm^3/yıl
2019	353.178	106,32	13,705	4,964	18,669	246	31,700
2020	358.935	113,60	14,883	5,978	20,861	255	33,424
2025	388.909	120,88	17,159	7,028	24,187	258	36,686
2030	421.116	128,16	19,699	8,159	27,857	261	40,112
2035	455.699	135,44	22,528	9,375	31,903	263	43,723
2040	492.806	142,71	25,672	10,684	36,356	264	47,536
2045	532.594	150,00	29,160	12,094	41,254	265	51,568
2050	575.226	150,00	31,494	12,806	44,30	264	55,375

Sivas il merkezinin içme kullanma su ihtiyacının karşılanması amacıyla inşa edilmiş olan Dört Eylül Barajı 2006 yılında işletmeye açılmıştır. Zonlu toprak dolgu tipinde, temelden yüksekliği 62 metre ve aktif hacmi 80,41 hm^3'dür. Dört Eylül Barajı genel görünümü Şekil 3.11'de verilmiştir (DSİ, 2021).



Şekil 3.11. Dört Eylül Barajı Genel Görünümü (DSİ, 2021)

2019 yılı verilerine göre, Sivas il merkezine Tavra Kaynaklarından yıllık 19,1 hm³ ve Dört Eylül Barajı'ndan yıllık 12,3 hm³ arıtılmış su temin edilmiştir. Ancak son yıllardaki kuraklık nedeniyle, Dört Eylül Barajı'ndan gelmesi beklenen yıllık 33 hm³ su miktarı sağlanamamıştır. Sivas il merkezine ilave su temin edebilmek için, aynı zamanda sulama amacı da olan Pusat-Özen Barajı'ndan yıllık 8,42 hm³ su verilmesi planlanmıştır. Pusat-Özen Barajı genel görünümü Şekil 3.12'de verilmiştir (DSİ, 2021).



Şekil 3.12. Pusat Özen Barajı Genel Görünümü (DSİ, 2021)

Sivas il merkezine içme kullanma suyu temin etmede önemli bir su kaynağı olan Tavra Kaynakları'na ait aylık ortalama akım değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020). Akım değerleri incelendiğinde yıllık ortalama akımın yaklaşık 22 hm^3 olduğu ve son yıllarda akımın azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 3.9. Tavra Kaynakları Aylık Ortalama Akımları (hm^3) (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020).

Yıl	Aylar												Topl.
	E	**K**	**A**	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	
2013							2,77	3,04	2,97	2,88	2,80	2,65	
2014	2,57	2,46	2,67	2,59	2,2	2,27	2,27	2,19	2,03	1,95	1,89	1,88	26,97
2015	1,79	1,84	1,84	1,80	1,62	1,79	1,92	2,02	1,95	1,99	1,98	2,05	22,59
2016	2,28	1,75	1,17	1,25	1,29	1,44	1,64	1,44	1,53	1,85	1,97	1,67	18,98
2017	1,67	1,65	1,67	1,62	1,42	1,53	1,41	1,39	1,31	1,16	1,14	1,09	17,06
2018	1,14	1,13											
ORT.	**1,89**	**1,77**	**1,84**	**1,81**	**1,63**	**1,76**	**1,94**	**2,02**	**1,96**	**1,97**	**1,96**	**1,87**	**22,42**

Dört Eylül Barajı'na 1972 ile 2019 tarihleri arasında gelen aylık ortalama akımlar Çizelge 3.10'da verilmiştir. Çizelgede yer alan 1972-2019 yılları arası baraja gelen aylık ortalama akımlar incelendiğinde yıllık ortalama akım 32,06 hm^3 iken, 2007 yılındaki toplam akımın 15,47 hm^3 ve 2014 yılında ise 6,81 hm^3 gibi oldukça düşük değerlerde gerçekleştiği görülmüştür. Sivas Belediye Başkanlığı Su ve Kanalizasyon İdaresi Müdürlüğü'nün 2009-2019 yılları arasındaki verileri dikkate alındığında, Dört Eylül Barajı'ndan çekilen ham su miktarının yıllık olarak 13 hm^3 ile 20 hm^3 arasında olduğu, güvenli tarafta kalmak adına, barajdan çekilebilecek yıllık su miktarı olarak 13 hm^3 değerinin uygun bulunduğu ifade edilmiştir (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020).

Çizelge 3.10. Dört Eylül Barajı Aylık Ortalama Akımlar (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020)

Yıl	Aylar												Topl.
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	
1972	0,02	0,24	0,32	0,15	0,43	7,19	10,92	6,48	2,30	0,31	0,13	0,35	28,85
1973	0,59	0,53	0,35	0,35	0,71	1,97	6,82	3,90	1,07	0,35	0,15	0,11	16,90
1974	0,08	0,15	0,22	0,13	0,10	7,60	3,30	2,47	0,07	0,02	0,22	0,01	14,36
1975	0,13	0,03	0,08	0,03	0,03	10,05	13,14	7,84	0,70	0,16	0,00	0,00	32,20
1976	0,04	0,15	0,17	0,17	0,15	6,55	38,18	8,59	1,94	0,27	0,12	0,16	56,49
1977	0,57	0,35	0,52	0,17	3,91	13,72	15,37	5,86	1,44	0,10	0,01	0,02	42,04
1978	0,02	0,03	0,03	0,03	1,33	7,11	8,04	3,05	0,13	0,02	0,00	0,02	19,82
1979	0,11	0,17	0,18	1,37	5,07	5,32	2,33	2,32	2,14	0,09	0,01	0,00	19,11
1980	0,00	0,00	0,10	0,11	0,01	18,36	38,56	14,50	0,98	0,01	0,02	0,06	72,73
1981	0,40	0,71	1,87	2,48	2,36	20,78	10,73	8,58	3,05	0,57	0,23	0,18	51,95
1982	0,64	0,94	4,51	3,58	2,12	5,97	19,81	5,70	2,42	0,76	0,23	0,89	47,58
1983	0,50	0,42	0,35	0,25	0,28	8,34	12,95	5,12	1,49	0,29	0,03	0,11	30,14
1984	0,24	1,69	3,31	1,35	1,24	7,29	9,17	5,69	1,43	0,31	0,12	0,07	31,91
1985	0,19	0,36	0,47	0,52	0,47	4,59	21,07	5,32	1,21	0,39	0,14	0,20	34,91
1986	0,41	1,22	0,83	1,43	3,89	14,59	5,80	3,37	3,03	0,61	0,19	0,33	35,71
1987	0,52	0,52	0,52	0,71	4,96	4,75	18,85	6,04	1,52	0,59	0,13	0,12	39,21
1988	0,09	1,02	4,20	1,69	1,32	7,39	24,07	8,14	4,69	1,12	0,37	0,16	54,26
1989	0,78	1,23	3,53	1,53	1,19	13,34	3,60	0,58	0,45	0,26	0,10	0,13	26,70
1990	0,15	2,10	3,39	1,60	0,99	5,15	8,45	8,34	1,12	0,32	0,05	0,11	31,77
1991	0,23	0,31	0,32	0,24	0,21	6,84	7,26	5,36	0,94	0,14	0,05	0,08	21,99
1992	0,15	0,17	0,23	0,23	0,21	3,55	12,08	1,40	0,53	0,14	0,05	0,06	18,80
1993	0,15	0,47	0,60	0,51	0,51	5,34	28,51	14,11	2,25	0,35	0,07	0,09	52,95
1994	0,17	0,19	0,25	0,63	0,42	5,92	3,32	0,63	0,16	0,15	0,06	0,09	11,97
1995	0,18	0,51	0,49	1,02	1,00	5,81	12,35	9,81	2,33	0,91	0,37	0,29	35,06
1996	0,53	1,49	0,95	1,16	1,01	3,31	14,90	12,87	1,93	0,60	0,38	0,52	39,65
1997	1,23	0,90	1,79	2,18	1,28	1,58	10,67	8,57	2,69	0,90	0,51	0,40	32,71
1998	1,02	0,97	1,34	0,84	0,89	4,94	18,53	13,74	4,76	1,17	0,49	0,35	49,06
1999	0,45	0,69	2,03	0,99	1,03	3,51	11,55	6,59	2,14	0,87	0,38	0,26	30,47
2000	0,37	0,48	0,54	0,68	0,56	1,79	19,77	8,43	1,88	0,62	0,33	0,27	35,71
2001	0,39	0,39	0,45	0,46	0,43	2,12	3,68	4,66	1,08	0,41	0,21	0,14	14,42
2002	0,12	0,30	0,55	0,55	0,96	4,20	7,91	4,50	1,60	0,54	0,27	0,27	21,77
2003	0,22	0,36	0,25	0,58	0,52	1,02	11,40	5,69	1,59	0,41	0,24	0,15	22,43
2004	0,19	0,51	0,77	0,57	0,91	9,87	6,37	3,33	2,03	0,82	0,49	0,35	26,23
2005	0,36	0,42	0,53	2,47	0,52	5,06	10,53	6,93	2,10	1,06	0,75	0,66	31,38
2006	0,82	0,83	0,94	0,72	0,76	6,82	11,26	10,10	2,50	0,97	0,64	0,54	36,89
2007	0,80	1,36	0,97	0,63	0,37	2,08	3,57	2,55	1,08	0,80	0,66	0,60	15,47
2008	0,68	1,18	1,82	1,00	0,89	10,31	8,78	3,45	1,96	0,95	0,84	0,76	32,64
2009	0,92	0,98	0,95	0,95	2,58	5,79	9,61	8,96	2,42	0,87	0,32	0,31	34,66
2010	0,94	2,00	1,98	4,30	5,14	11,18	8,35	4,52	1,94	0,77	0,40	0,31	41,83
2011	0,62	0,56	0,62	0,57	0,67	4,92	10,49	9,08	3,34	1,20	0,45	0,34	32,86
2012	1,45	1,49	1,41	1,15	1,12	4,22	11,55	6,76	2,96	1,56	0,81	0,77	35,23
2013	0,47	0,40	0,78	1,02	1,77	10,97	10,97	5,14	2,53	0,71	0,52	0,46	35,72
2014	0,34	0,32	0,42	0,33	0,42	1,21	1,07	0,69	0,87	0,47	0,39	0,28	6,81
2015	0,41	0,81	1,45	1,59	1,91	5,78	10,82	7,31	2,53	0,87	0,51	0,37	34,37
2016	0,36	0,27	0,33	0,45	2,49	9,95	7,47	7,77	4,70	1,19	0,60	0,58	36,15
2017	0,45	0,33	0,36	0,39	0,44	2,44	5,86	3,74	1,37	0,77	0,43	0,27	16,86
2018	0,25	0,34	0,66	0,59	0,93	5,94	2,77	1,59	1,28	0,58	0,50	0,27	15,70
2019	0,36	0,43	1,47	2,50	2,38	4,14	8,36	7,64	2,22	1,29	0,99	0,63	32,41
Ort.	**0,42**	**0,65**	**1,05**	**0,98**	**1,31**	**6,68**	**11,69**	**6,20**	**1,89**	**0,60**	**0,31**	**0,28**	**32,06**

3. 3. WEAP (Water Evaluation and Planning System) Programı

Bu çalışmada WEAP yazılımı kullanılarak, Yukarı Kızılırmak Alt Havzası modellenmiş ve farklı senaryolar oluşturularak, havza yönetimi için politika analizleri üretilmiştir.

WEAP, su kaynaklarının planlanmasında bütüncül bir yaklaşım sunan bir yazılım aracıdır. SEI (Stockholm Çevre Enstitüsü) tarafından geliştirilmiştir. Dünyada çeşitli bölgeler, tatlı su yönetimiyle ilgili zorluklarla karşı karşıyadır. Kısıtlı su kaynaklarının dağıtımı, çevre kalitesi ve sürdürülebilir su kullanımına yönelik politikalar giderek daha fazla endişeye yol açmaktadır. Arz odaklı geleneksel simülasyon modelleri her zaman yeterli olmamaktadır. Son yıllarda, su tedarik projelerinin yanı sıra su kalitesi ve ekosistemin korunması gibi talep odaklı konuları da içeren bir su geliştirme yaklaşımı ortaya çıkmıştır.

WEAP, su kaynakları planlamasında bu unsurları içeren bir pratik araç sağlamayı amaçlamaktadır. WEAP, su sistemlerini simüle etme ve politika yönlendirmesi için entegre bir yaklaşım sunmaktadır. WEAP, su kullanım modelleri, ekipman verimlilikleri, geri dönüşüm, fiyatlar, hidroelektrik enerji talebi ve tahsisi gibi talep tarafı ile akarsu akışı, yeraltı suyu, rezervuarlar ve su transferleri gibi arz tarafındaki faktörleri eşit bir şekilde ele alır. WEAP, alternatif su geliştirme ve yönetim stratejilerini incelemek için bir çeşit laboratuvar işlevi görür.

WEAP; kapsamlı, basit ve kullanıcı dostu bir planlama aracı olarak tasarlanmış olup, planlamacının yerini almak yerine ona yardımcı olmayı amaçlar. Veri tabanı olarak, WEAP su talebi ve tedarik bilgilerini saklamak için bir sistem sunar. Tahmin aracı olarak, WEAP su talebini, arzını, akışını, depolanmasını, kirlilik oluşumunu, arıtılmasını ve boşaltılmasını simüle eder. Politika analizi aracı olarak, WEAP çeşitli su geliştirme ve yönetim seçeneklerini değerlendirir ve su sistemlerinin çeşitli ve birbirleriyle rekabet eden kullanımlarını dikkate alır.

Su kaynakları alanında bilgisayar modellemesi uzun bir geçmişe sahiptir. Birçok karmaşık model, matematiksel olarak belirsiz olması ve gerçek dünya problemlerine en iyi çözümleri bulma konusundaki aşırı iddialı girişimleri nedeniyle zorluklar yaşamıştır. Deneyimler, en iyi yaklaşımın model kullanıcısına yardımcı olacak, ancak onun yerine geçmeyecek basit ve esnek bir araç oluşturmak olduğunu göstermektedir. WEAP, su profesyonellerinin her yerde uygun araçlara erişmesini sağlamak için günümüzün kişisel bilgisayarlarının güçlü kapasitesini kullanan yeni nesil bir su planlama yazılımını temsil eder.

WEAP'in tasarımı, bir dizi metodolojik prensibe dayanmaktadır. Bu prensipler arasında entegre ve kapsamlı bir planlama çerçevesi, farklı kalkınma tercihlerinin etkilerini anlamak için senaryo analizlerinin kullanılması, talep yönetimi yeteneği, çevresel değerlendirme yeteneği ve kullanım kolaylığı bulunmaktadır (SEI, 2015).

WEAP modeli, matematiksel benzeşim yaklaşımına dayalı olarak geliştirilen bir entegre su kaynakları yönetimi ve planlaması karar destek sistemi olarak tanımlanmaktadır.

WEAP, şeffaf yapısı sayesinde farklı paydaşların açık bir sürece katılımını kolaylaştırır. Değişen hidrolojik ve politika senaryolarında su talebini, tedarik, su akışı, sızma, mahsul gereksinimleri, akışlar ve depolama ile kirlilik oluşumu, arıtılması, tahliye ve iç su kalitesini hesaplar. Ayrıca, çeşitli su geliştirme ve yönetim seçeneklerini değerlendirir ve su sistemlerinin çoklu ve rekabet eden kullanımlarını göz önünde bulundurur.

WEAP ile yerel, ulusal ve bölgesel ölçeklerde üst düzey planlama ve stratejik analiz, talep yönetimi ve su tahsisi gibi çalışmalar yapılabilir. Ancak, günlük operasyonlar, yüksek fiziksel detay ve arz ile talebin maliyet optimizasyonu gibi konular için uygun değildir. WEAP, sektörel talep analizleri, su tasarrufu, su hakları ve tahsis öncelikleri, yeraltı suyu ve dere akışı simülasyonları, rezervuar işletmeleri, hidroelektrik üretimi, kirlilik takibi, ekosistem gereksinimleri ve iklim değişikliğinin etkisi gibi analizlerin yapılmasına olanak tanır.

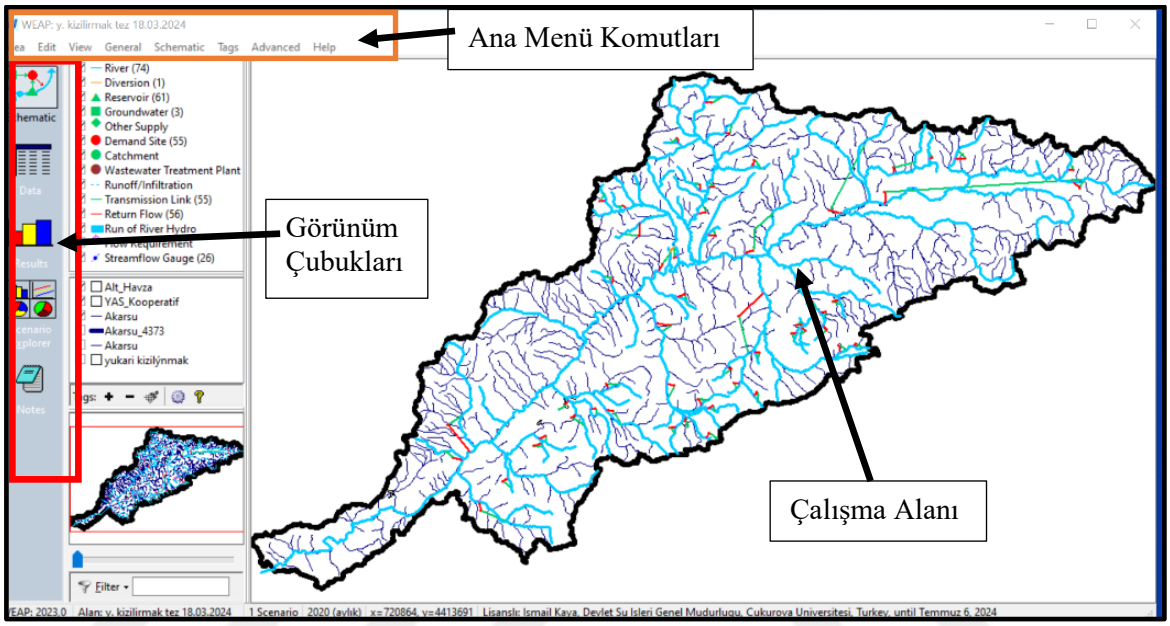
WEAP'in en önemli özelliklerinden biri senaryo analizleridir. Programda öncelikle güncel durumu yansıtan bir hesaplama senaryosu oluşturulur. Daha sonra, ekonomik, hidrolojik ve teknolojik eğilimler ve çeşitli referanslar yardımıyla bir referans senaryosu geliştirilir. Bu iki senaryoya ilave olarak, gelecekteki gelişmeler ve varsayımlar göz önünde bulundurularak birçok farklı senaryo oluşturulabilir. Tüm bu yaklaşımlar, su yöneticilerinin ve politikacıların finansal kararlarını güvence altına almak ve planlama sürecinde etkinliği sağlamak amacıyla senaryolar üzerine inşa edilmiştir.

Senaryo analizleri, WEAP modelinin temel unsurlarından biridir ve modeli çeşitli "eğer" sorularıyla test etmeye olanak tanır. Örneğin, nüfus artışı ve ekonomik gelişme örüntüsü değişirse, hazne işletme kuralları değiştirilirse, yeraltı suyu kaynakları tükenirse veya su koruma programları uygulanırsa ne olacağını sorgulayabiliriz. Ayrıca, ekosistemi koruma standartlarının sıkılaştırılması, yüzeysel suların yeraltı akiferlerinde depolanması, suyun geri dönüştürülmesi, verimli sulama tekniklerinin kullanılması, tarımsal ürün deseninin değiştirilmesi gibi durumlar da incelenebilir. İklim değişikliğinin su talep ve arzını nasıl etkileyeceği, membadaki kirliliğin mansap su kalitesine olan etkisi ve arazi kullanımı değişikliklerinin akımları nasıl değiştireceği gibi senaryolar, su yöneticileri ve karar vericiler için kritik öneme sahiptir. Bu analizler, farklı koşullar altında su yönetimi stratejilerini değerlendirerek daha bilinçli ve etkili kararlar alınmasını sağlar.

3.3.1. WEAP Model Yapısı

WEAP'in üst ve sol yan bölümünde ana menüler yer alır. Üst bölümde, Area, Edit, View, General, Schematic, Tags, Advanced ve Help olmak üzere sekiz ana menü komutu bulunur. Sol yan bölümde ise Schematic, Data, Results, Scenario Explorer ve Notes olmak üzere beş görünüm çubuğu sekmesi yer alır. Bu sekmeler, ekranın sol tarafında grafik simgeler olarak listelenir.

WEAP modeli, çalışma alanının coğrafi olarak ifade edildiği Schematic (şema) bölümü, kaynak (arz) ve talep bölgeleri verilerinin girildiği Data (veri) bölümü, sonuçların gözlemlerle kıyaslandığı Results (sonuçlar) bölümü, senaryoların sonuçlarının birlikte görüldüğü Scenario Explorer (senaryo araştırmacısı) ve notların tutulduğu Notes (notlar) bölümü olmak üzere beş ana bölümden oluşur. Bu yapısı sayesinde, WEAP'in temel işlevlerine kolayca erişim sağlanır. WEAP yazılımının ana menülerinin gösterimi Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. WEAP Programı Ana Gösterimi

3.3.2. WEAP Programı İle Model Kurma

Bir havzada WEAP Modelinin geliştirilmesi adına süreçler basitçe şu şekilde tariflenebilir:

1. Problemi tanımlama
2. Senaryo geliştirme
3. Ön veri toplama
4. Model kurma
5. İleri düzey veri toplama
6. Model düzeltme
7. Senaryo yürütme
8. Yayımlama

Modelde mevcut talep noktaları belirlendikten sonra, bu taleplerin karşılanması için seçilen kaynaklardan talep noktalarına iletim hatları oluşturulmaktadır. Kaynakla talebi birleştiren iletim hatları (transmission link) oluşturulması sırasında hattın fiziksel kapasitesi, kayıpları, kısıtları ve öncelik sıraları da model tarafından dikkate alınmaktadır. Modelde talepler hesaplanırken sistemin kayıpları, buharlaşma vb. hesaplanmayan kayıplar da göz önüne alınarak sistem doğru bir şekilde modellenmektedir.

Havzanın su ihtiyaçları, yerüstü kaynağı olarak akarsu ve kollarından sağlanmaktadır. Modelde akarsu ve kollarının debi değerleri, mevcut akım gözlem istasyonlarındaki ölçülmüş değerlerle kontrol edilmektedir. Ayrıca, akarsu üzerinde, baraj gölü gibi rezervuar depolama hacimleri bulunmakta ve su taleplerinin karşılanmasında kullanılmaktadır. Modelde hazneye ait karakteristik değerleri (hazne kapasitesi, başlangıç hacmi, hacim alan eğrisi, baraj gölündeki net buharlaşma) ve işletmeye yönelik veriler işlenmektedir.

WEAP yazılımına veri girişlerinin yapılarak, modelin oluşturulmasından sonra senaryo yöneticisi ile farklı senaryolar tanımlanarak analizler yapılmaktadır.

WEAP programında modelin veri girişleri ve senaryo araştırmaları tamamlandıktan sonra, analizler ve sonuçların değerlendirilmesi aşamasına geçilir. Sonuç görünümüne tıklandığında, yeniden hesaplama yapılıp yapılmaması sorulur ve "evet" seçeneğiyle sonuçlar güncel veriler ve senaryolarla yeniden hesaplanır. Programın dinamik yapısı sayesinde modeldeki her değişiklik anında tüm analiz ve sonuçlara yansır, bu da senaryo analizlerinin hızlı bir şekilde izlenip değerlendirilmesini sağlar. Sonuçlar grafik, tablo veya metin formatında incelenebilir ve word, excel gibi yazılımlara aktarılabilir, böylece analiz ve sonuçlar daha düzenli bir şekilde raporlanabilmektedir.

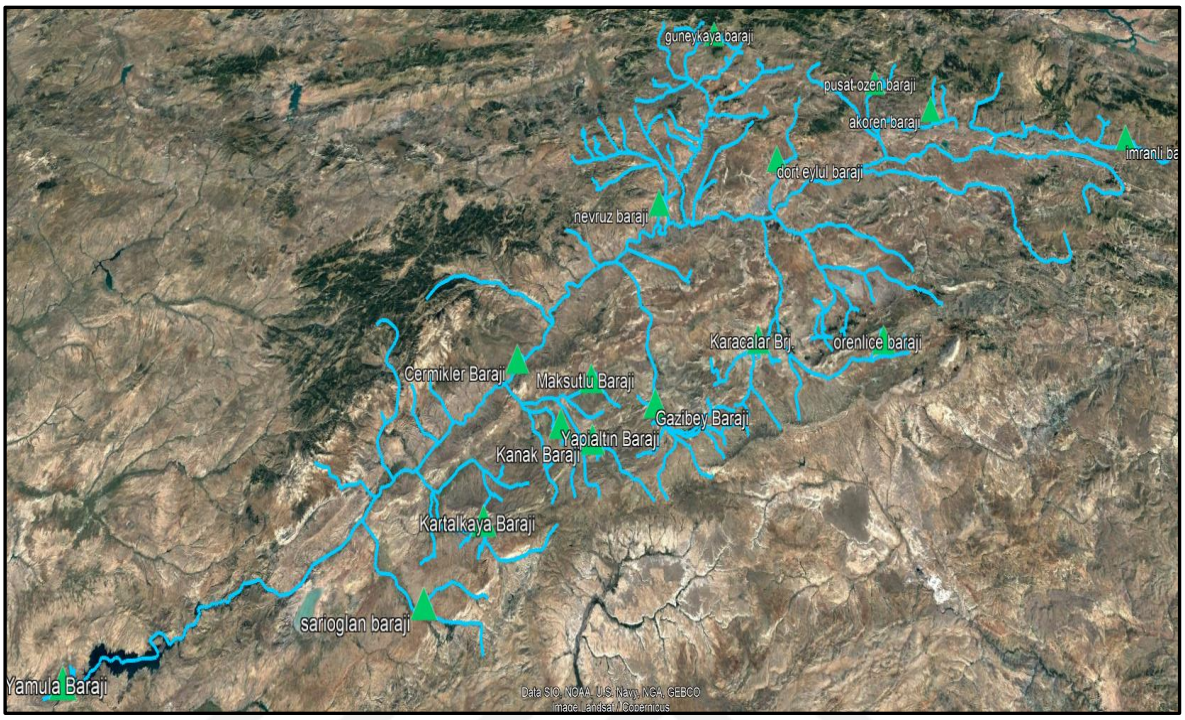
3.4. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası WEAP Modelinde Kullanılan Veriler

Yukarı Kızılırmak Havzası'nın WEAP programı ile modeli oluşturulmuştur. Modelin oluşturulmasında kullanılan akım verileri, meteorolojik veriler, sulama ve depolama tesisleri, kaynaklar gibi veriler havza içerisinde yer alan farklı kurumlardan temin edilmiştir.

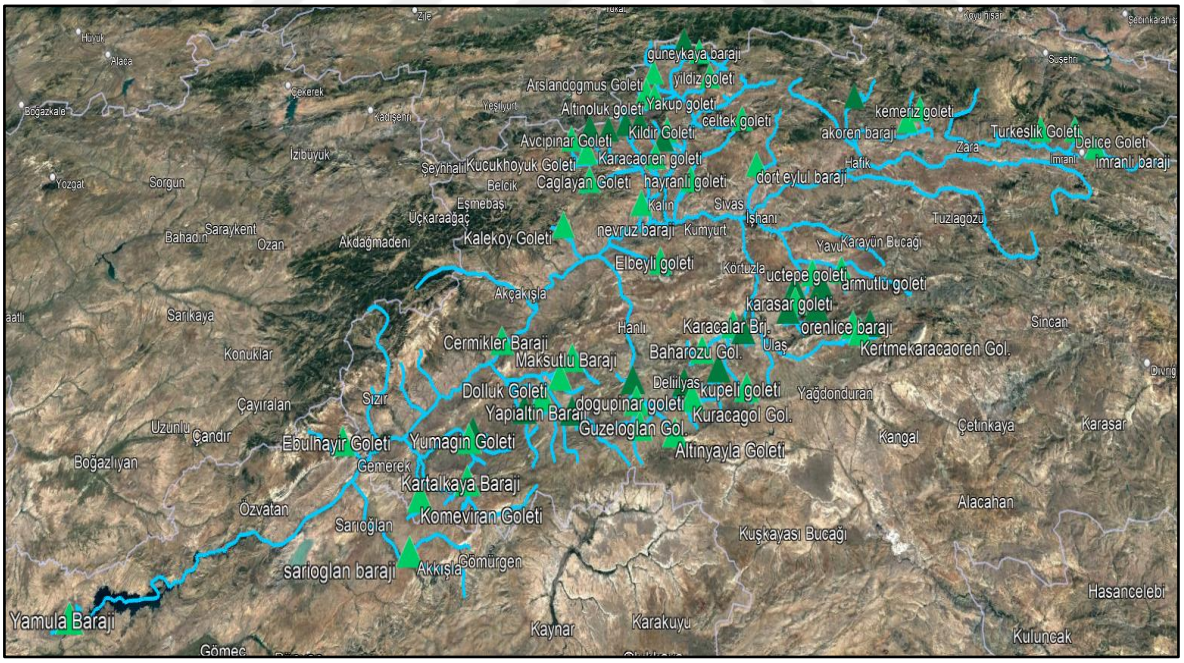
Havzaya ait meteorolojik veriler, MGM ve DSİ tarafından işletilmekte olan meteoroloji istasyonlarından temin edilmiştir. MGM istasyonlarında genellikle yağış, sıcaklık, buharlaşma, nem, rüzgâr, basınç ve güneşlenme miktarı, DSİ istasyonlarında ise genellikle yağış ve buharlaşma gözlemleri yapılmaktadır.

Depolama tesisleri ile ilgili olarak baraj ve göletlere ait bilgiler (depolama hacmi, aktif hacim, ölü hacim, buharlaşma, kot-hacim grafiği vb.) DSİ 19. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir (DSİ, 2021). "Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu" ve DSİ 19. Bölge Müdürlüğü envanterinde de yer almış olan İ.Ö.İ. göletlerine ait bilgiler temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan

önemli barajlar Şekil 3.14'te ve göletleri de içeren depolama tesisleri ise Şekil 3.15'de havza içerisinde bulundukları konumları gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda Yer Alan Önemli Barajların Görünümü



Şekil 3.15. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda Yer Alan Depolama Tesisleri (Baraj, Gölet) Görünümü

Yeraltı suyuyla ilgili olarak akiferler ve suyun kullanımına yönelik veriler DSİ 19. Bölge Müdürlüğü ve Kızılırmak Master Planından alınmıştır.

Suyun büyük oranda tüketildiği sulama tesisleri ve su kullanım miktarları ile ilgili veriler DSİ 19. Bölge Müdürlüğü ve "Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu"'ndan alınarak kullanılmıştır. Havza içerisinde 89.440 ha alanda sulu tarım yapılmaktadır. Bu alanın 35.373 ha'lık kısmı açık sistem cazibeli sulama sistemi ile sulanmaktadır. 54.067 ha'lık alan ise basınçlı modern sulama sistemi ile sulanmaktadır. Hali hazırda DSİ tarafından inşa, proje ve planlama aşamasında olan, basınçlı sulama sistemi ile sulanması ön görülmüş olan 18.700 ha alan bulunmaktadır. Bu projelerin sulama sahasındaki tarım alanların büyük çoğunluğu halk sulamaları ve İ.Ö.İ. tarafından yapılmış olan açık sistem sulama sistemleri ile sulanmaktadır.

WEAP kullanılarak havza modelinin oluşturulması; akım verilerinin ve su bütçesinin güncellenmesi, modelleme ve işletme senaryolarının belirlenmesi, programın kalibrasyonu, simülasyon ve işletme çalışmaları aşamalarını içerir.

Nehir akımları ile ilgili veriler (mülga) EİEİ ve DSİ tarafından işletilmiş olan AGİ istasyonlarından temin edilmiştir. Çalışma kapsamında Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda yer alan, bir kısmı açık ve bir kısmı da kapatılmış durumda olan yirmi dokuz adet AGİ'ye ait gözlem kayıtları kullanılmıştır. Havzanın üst kısımlarında sulama ve içme suyu gibi amaçlarla gerçekleştirmiş olan projelerden dolayı AGİ'lerin bir kısmına müdahale edilmiş durumdadır. Çalışmada, ortak bir nokta oluşturulması ve kıyas yapılabilmesi için AGİ'lere ait verilerin benzer koşulları taşıması gerekmektedir. AGİ'lere ait gözlemlerin farklı tarihleri kapsaması ve akarsular üzerinde yapılmış olan tesisler ve sulama amacıyla kullanılan sular nedeniyle müdahale edilmiş olmasından dolayı, akımların öncelikle akarsu üzerinde hiç tesis ve sulama yokmuş gibi doğallaştırılması, aynı yıllar esas alınarak uzatılması ve eksik olan verilerin tamamlanması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan AGİ'lere ait doğallaştırılmış akımlar DSİ "Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu"'dan alınmıştır (DSİ, 2018).

Bu çalışmada kullanılan AGİ'ler Çizelge 3.11'de verilmiştir (DSİ, 2018). Çizelge incelendiğinde Kızılırmak Nehri ve yan kollarında farklı lokasyonlarda olmak üzere 29 adet AGİ bulunmaktadır. Çizelgede, AGİ'lere ait numara, akarsu adı, ölçüm tarihi ve aylık ortalama doğal akımları (m^3/s olarak) yer almaktadır. Akım ölçümlerinin başlangıç ve bitiş tarihlerinin farklı olduğu ve en uzun ölçüme sahip AGİ'nin E15A001 numaralı Kızılırmak Nehri üzerinde yer alan Yamula ve ölçüm aralığının da 1938 ile 2014 yılları arasında olduğu görülmüştür. Çalışmada kullanılan AGİ'lerin ölçüm tarihleri 2013 yılına kadar uzatılmış olan aylık ortalama doğal akım değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.11. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası AGİ Aylık Ortalama Doğal Akımlar (m^3/s)(DSİ, 2018)

S. No	AGİ NO	AGİ ADI	AKARSU ADI	ÖLÇÜM TARİHİ		E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
1	D15A041	Çukuryurt	Kızılırmak	1964	1995	1,20	1,92	2,24	2,29	2,37	7,75	19,71	13,91	5,36	1,96	1,21	1,17
2	D15A117	Ahmethacı	Kızılırmak	1967	2012	1,59	2,66	3,07	3,15	3,25	13,01	33,21	20,30	6,70	2,34	1,39	1,33
3	E15A039	Bulakbaşı	Kızılırmak	1972	2013	2,43	4,38	4,92	4,46	5,59	24,76	59,83	38,48	12,74	4,11	2,23	1,99
4	D15A043	Kolluca	Mismil	1964	1994	0,15	0,25	0,40	0,43	0,63	2,89	4,96	2,31	0,70	0,20	0,11	0,11
5	D15A162	Karacalar	Karacalar	1972	1996	0,15	0,26	0,32	0,37	0,52	1,60	2,22	1,42	0,68	0,20	0,12	0,10
6	D15A048	Gazibey	Üçgülüç	1965	1964	0,19	0,28	0,36	0,41	0,60	1,63	1,83	1,25	0,60	0,38	0,34	0,26
7	D15A049	Özen	Pusat	1966	1994	0,34	0,66	0,96	0,98	1,30	3,89	7,90	4,35	1,45	0,53	0,35	0,31
8	D15A188	Bayıraltı	Beydilli	1979	1999	0,37	0,89	1,05	1,03	1,34	5,68	9,28	3,97	1,27	0,41	0,26	0,25
9	D15A099	Sarıoğlan	Kestovan	1966	2006	0,34	0,51	0,66	0,74	0,89	1,39	1,71	1,16	0,72	0,53	0,44	0,25
10	D15A065	Maksutlu	Maksutlu	1965	1977	0,02	0,04	0,07	0,09	0,13	0,23	0,31	0,25	0,13	0,09	0,08	0,02
11	D15A076	Yapıaltın	Çaylak	1965	1969	0,05	0,06	0,08	0,10	0,14	0,31	0,34	0,27	0,15	0,12	0,13	0,07
12	D15A260	Şarkışla	Kutanözü	1994	2007	0,04	0,07	0,10	0,12	0,14	0,46	0,71	0,48	0,22	0,07	0,04	0,04
13	D15A258	Cemel	Kanaközü	1993	1996	0,03	0,82	0,37	0,63	0,89	1,93	2,58	1,52	0,46	0,08	0,03	0,04
14	D15A013	Cemel	Konaközü	1962	1969	0,09	0,18	0,46	0,65	0,81	2,54	2,02	0,84	1,03	0,12	0,07	0,12
15	D15A284	Cemel	Kanaközü	2000	2010	0,20	0,31	0,37	0,47	0,67	1,43	1,69	1,21	0,67	0,26	0,16	0,19
16	D15A187	Sızır	Ayanözü	1979	1994	0,14	0,22	0,29	0,35	0,43	0,77	1,39	1,02	0,54	0,25	0,16	0,10
17	D15A289	Eğerci	Göksu	2000	2013	2,75	3,10	3,03	3,08	3,44	4,75	8,66	5,85	4,03	2,97	2,67	2,58
18	D15A185	Zengi	Yıldız	1980	2011	3,14	4,60	6,10	5,66	8,12	22,84	31,83	17,52	7,77	4,28	3,31	2,87
19	D15A186	Yıldız	Kayalıgöl	1979	1994	0,01	0,06	0,11	0,10	0,24	0,87	1,32	0,69	0,18	0,05	0,03	0,01
20	D15A272	Mestan	Kuzucağın	1997	2013	0,34	0,62	0,65	0,62	0,77	3,05	7,39	4,80	1,50	0,43	0,24	0,22
21	D15A261	Olukman	Dumanlı	1994	2013	0,69	1,14	1,71	1,68	2,47	6,93	10,39	5,13	1,72	0,79	0,58	0,53
22	D15A021	Hacıyusuf	Mudarasın	1962	1994	0,30	0,40	0,56	0,76	0,99	1,90	1,91	1,43	0,98	0,44	0,31	0,26
23	D15A265	Yusufoğlan	Geçmiş	1996	2010	0,11	0,17	0,27	0,26	0,36	1,10	1,86	0,88	0,32	0,15	0,11	0,10
24	D15A236	Bozkurt	Akçakışla	1988	2014	0,34	0,56	0,57	0,62	0,74	1,84	3,79	2,38	1,13	0,51	0,36	0,27
25	D15A238	Yılanlıkaya	Kalın	1989	2001	0,60	0,85	0,93	0,98	1,26	3,20	5,30	3,78	1,79	0,98	0,71	0,54
26	D15A262	Kurtlapa	Gökdere	1994	2015	0,11	0,20	0,32	0,31	0,43	1,16	1,68	0,84	0,31	0,13	0,09	0,08
27	D15A275	Çepni	Pınarbaşı	1997	2013	0,19	0,20	0,20	0,21	0,23	0,30	0,40	0,41	0,34	0,26	0,22	0,20
28	D15A180	Oğlakpınarı	Kızılırmak	1979	2013	14,03	22,49	31,15	28,60	40,23	108,59	186,28	114,20	48,70	23,17	16,41	13,61
29	E15A001	Yamula	Kızılırmak	1938	2014	20,02	27,33	34,63	37,78	52,46	131,86	229,72	144,35	68,20	30,61	20,44	17,76

3.5. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası WEAP Modeli Oluşturulması

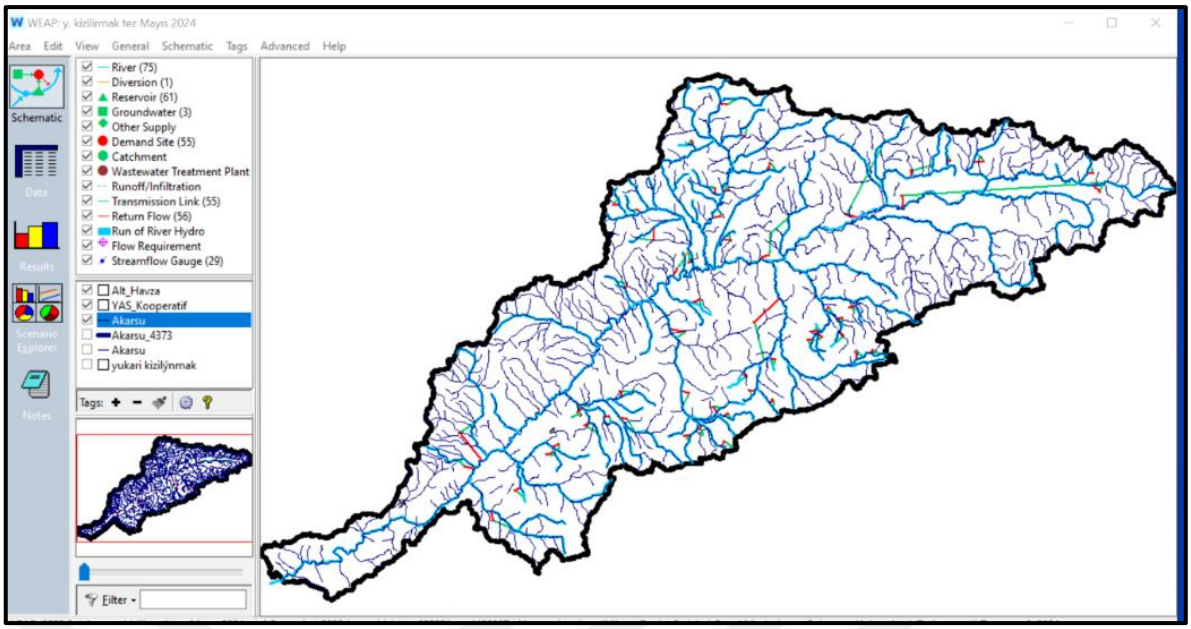
Modelleme sürecinde, modelin bileşenleri yerleştirilip genel düzenlemeler tamamlandıktan sonra, analiz ve sonuçların değerlendirilebilmesi için veri girişlerinin yapılması önemlidir. Her bir talep noktası, düğüm noktası, iletim hatları, akarsu, baraj, yeraltı su kaynakları, atık su arıtma vb. gibi model unsurlarının verilerinin düzgün bir şekilde girilmesi gerekmektedir.

WEAP ile model oluşturmadan önce, çalışılacak saha ve bu saha içerisindeki nehirler, barajlar, göletler, regülatörler, sulama sahaları ve diğer bileşenlere ait katmanların Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) tabanlı ArcGIS programı kullanılarak shapefile (.shp) formatına dönüştürülmesi faydalıdır. Bu bağlamda, havza sınırları, Kızılırmak Nehri ve bu nehre bağlanan yan kollar gibi bileşenler, WGS84 (World Geodetic System 1984) koordinat sistemi kullanılarak ArcGIS programında .shp uzantılı vektör formatına çevrilmiştir.

WEAP modeline öncelikle Yukarı Kızılırmak Havzasının sınırını çevreleyecek şekilde havza birimi işlenmiştir. Daha sonra ise Kızılırmak nehri ve buna bağlanan yan kollardaki nehirler havzaya işlenmiştir. Bu şekilde .shp uzantılı olarak dışarıdan modele eklenen katmanlar görsel olarak model içerisinde yer almaktadır. Bu durumda hem işlem kolaylığı olmuş hem de görsellik açısından daha uygun bir görünüm almıştır. Veri girişi, analiz gibi diğer işlemler bu haliyle katmanlara uygulanamaz. Bu işlemlerin katmanlara uygulanabilmesi için WEAP programındaki modelleme araçları vasıtasıyla çizilmiş olması gerekmektedir.

Genel menü altındaki yıllar ve zaman adımları sekmesinde veri girişi için bir başlangıç ve bitiş dönemi tanımlanmıştır. Seçilen bu başlangıç yılı, hesaplamalar, analizler, tüm senaryolar ve sonuçlar için kritik bir zaman adımı olan güncel rapor adımıdır. Her türlü veri değerlendirmesi, analizi ve senaryo çalışmaları bu güncel rapor zaman adımından itibaren yapılmıştır.

Kızılırmak nehrinin Yukarı Kızılırmak alt havzasında yer alan kısmı ile beraber önemli yan kolları WEAP programı içerisinde yer alan modelleme araçları kullanılarak programa veri olarak işlenmiştir. Kızılırmak nehri ile yan kolları üzerindeki nehirlerin üzerinde yer alan baraj ve gölet gibi depolama tesisleri, havza içerisinde yer alan yer altısuyu kaynakları, talep noktaları olarak havzada yer alan sulama alanları, iletim hat bağlantıları ve AGİ'ler gibi modelin kritik katmanları oluşturulmuştur. Havzadaki DSİ projelerinin WEAP progamı ile modellenmesindeki amaç daha sonra yapılacak çalışmalar için bu modellerin temel oluşturmasıdır. Şekil 3.16'da Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'ndaki DSİ projeleri, .shp uzantılı olarak programa vektörel katman olarak eklenmiş haliyle görünümü verilmiştir.



Şekil 3.16. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası WEAP Şematik Görünümü

Çalışma alanının sınırları belirlendikten sonra, model üzerinde çalışmada kullanılacak noktasal elemanlar konulmuştur. Bu noktasal elemanlar; akım gözlem değerlerinin belirtildiği AGİ'ler, su kaynakları (nehirler, baraj ve gölet gibi depolama tesisleri ve yeraltı suyunun temin edildiği akiferler), suyun sulama, içme ve kullanma suyu olarak kullanıldığı talep bölgesidir (sulama alanları, içme suyu kullanılan birimler gibi).

Havzadaki tarımsal üretim, endüstriyel kullanım, ekonomik faaliyetler ve yerleşim yerleri özellikleri dikkate alınarak su ihtiyacı belirlenmektedir. Su ihtiyacı tarımsal faaliyetlerde ekilen ürün desenine, kullanılan sulama yöntemine, tesis tipine (açık kanal, basınçlı borulu şebeke) ve şebekedeki kayıp kaçak oranına bağlıdır. Yerleşim yerlerinin gelişmişliği ve şehirleşme oranları su ihtiyacının değişimi açısından önemlidir. Havzanın su ihtiyaçları, havzada bulunan akarsu ve yan kolları, yeraltı suyu kaynakları, baraj ve gölet gibi depolama tesisleri vasıtasıyla karşılanmaktadır.

Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda; Kızılırmak nehri ve yan kollarının modele tanıtılmasından sonra, hali hazırda işletmede olanlarla birlikte bir kısmı da kapatılmış olan olmak üzere 29 adet AGİ'ye ait bilgiler modele aylık ortalama akım verisi olarak girilmiştir.

Havza içerisinde yer alan İmranlı Barajı, Pusat Özen Barajı, Dört Eylül Barajı, Karacalar Barajı başta olmak üzere önemli miktardaki baraj ve gölet gibi depolama tesislerine ait veriler (depolama hacmi, buharlaşma, ölü hacim, aktif hacim, hacim-kot grafiği) modele girilmiştir. Depolama tesislerine ait buharlaşma bilgileri Çizelge 3.12'de verilmiştir (DSİ, 2018).

Çizelge 3.12. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Depolama Tesisleri Buharlaşma Bilgileri (DSİ, 2018).

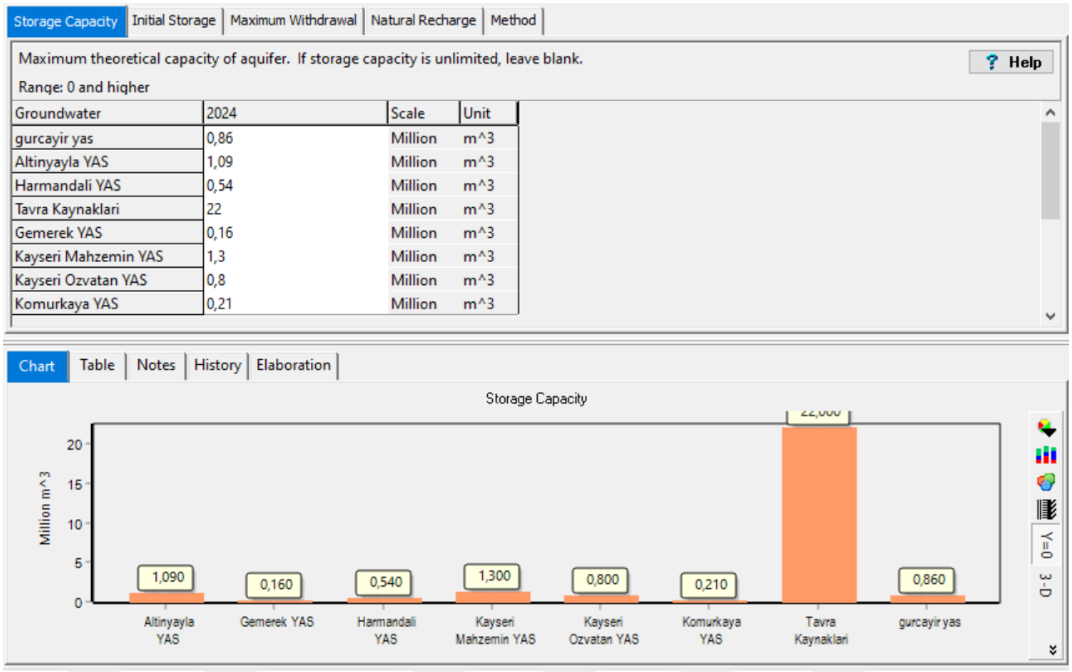
Baraj Adı	Net Buharlaşma Miktarı (mm)												
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Top.
İmranlı	38,24	0,00	0	0	0	0	0,00	10,97	82,48	146,28	152,59	101,89	532,45
Pusat Özen	0,00	0,00	0	0	0	0	0,00	0,00	62,74	122,73	122,10	78,90	386,47
Dört Eylül	24,87	0,00	0	0	0	0	0,00	21,10	75,50	124,16	126,75	82,90	455,28
Karacalar	55,06	1,56	0	0	0	0	2,62	38,85	94,66	153,44	163,19	116,36	625,74
Gazibey	71,99	2,24	0	0	0	0	33,34	48,63	107,37	156,85	157,37	120,72	698,51
Maksutlu	31,3	0	0	0	0	0	0	20,7	71,5	123,1	125,8	91,8	464,20
Kanak	30,07	0,00	0	0	0	0	0,00	19,50	70,28	121,85	124,62	90,60	456,92
Yapıaltın	32,03	0,00	0	0	0	0	0,00	21,47	72,24	123,82	126,59	92,57	468,72
Çermikler	39,32	0,00	0	0	0	0	5,64	34,03	84,73	134,12	137,06	98,93	533,83
Nevruz	39,78	0,00	0	0	0	0	0,00	36,54	87,35	132,55	132,67	91,52	520,41
Güneykaya	43,89	0,00	0	0	0	0	19,44	40,66	107,13	151,70	151,99	116,43	631,24
Yıldız Göl.	5,51	0,00	0	0	0	0	0,00	0,00	84,51	146,49	148,83	93,82	479,16
Kartalkaya	29,74	0	0	0	0	0	0	34,54	83,39	136,39	132,82	93,13	510,01
Sarıoğlan	71,45	0	0	0	0	0	30,56	75,9	130,03	187,87	197,18	144,63	837,62
Yamula	35,26	0,00	0	0	0	0	2,38	40,33	84,21	139,82	137,47	92,03	531,50

Havzada, Sivas ve Kayseri il sınırları içersinde YAS sulamasında kullanılan akiferlere ait bilgiler Çizelge 3.13'te verilmiştir (DSİ, 2018).

Çizelge 3.13 Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İçerisinde Yer Alan Akiferler (DSİ, 2018).

S.No	Akifer Adı	Tahsis Edilen Su Miktarı (m^3)	Net Sulama Alanı (ha)
1	Gürçayır	860.000	300
2	Kömürkaya	210.000	80
3	Altınyayla	1.090.000	280
4	Harmandalı	540.000	220
5	Kayseri Özvatan	800.000	187
6	Kayseri Merkez Mahzemin	1.300.000	200
7	Gemerek	160.000	39

Sivas il merkezi içme kullanma suyu temininde önemli bir yeri olan Tavra kaynaklarından tahsis edilebilen su miktarı yılda 22 hm^3 olarak alınmıştır. Gürçayır, Kömürkaya, Altınyayla, Harmandalı, Özvatan, Mahzenin ve Gemerek akiferleri ve içmesuyu temin edilen Tavra kaynakları ile ilgili bilgiler WEAP modeline tanımlanmış ve modeldeki görünümü Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası WEAP Akifer Görünümü

Havza içerisinde yer alan talep bölgeleri olarak adlandırılan sulamalar için sulama alanı, ekilen bitki türüne göre ihtiyaç duyulan yıllık su tüketimleri, aylık su kullanım yüzdesi, sulamada kaybedilen su miktarı gibi sulama tesislerine ait veriler programa işlenmiştir. Sulama sahaları ile suyun temin edildiği depolama ve nehirler gibi kaynaklar arasında bağlantılar, öncelik sıralaması ve suyun kullanımından sonraki geri dönüşümü ile ilgili bağlantılara ait veriler modele işlenmiştir.

Sulamaya verilen suyun tüketim değeri; borulu basınçlı sulamalarda %90, cazibeli ve açık kanal sistemlerde bu değer %80 olarak, halk sulamalarında %70 olarak kullanılmıştır.

Sulamalar, DSİ tarafından inşa edilmiş olan, İ.Ö.İ. tarafından inşa edilmiş olan ve halk sulamaları şeklinde programa tanıtılmıştır.

Halk sulamaları; İmranlı, Zara, Hafik, Sivas Merkez. Ulaş, Yıldızeli, Şarkışla, Gemerek ve Kayseri halk sulamaları olarak ayrı ayrı tanımlanarak programa tanıtılmıştır.

İ.Ö.İ tarafından yapılmış olan depolamalı tesislere ait sulamalar Grup 1, 2, 3 ve 4 Gölet Sulamaları olarak, ayrıca İ.Ö.İ. tarafından yapılmış olan yüzeysel sulamalar ise İmranlı, Zara, Hafik, Sivas Merkez, Yıldızeli, Şarkışla, Gemerek ve Kayseri İ.Ö.İ. Sulamaları olarak programa veri girişi yapılmıştır.

Halk sulamaları açık sistem olup, su kayıpları yüksektir. Sulamada kullanılan suyun yaklaşık olarak %30'unun kaybolduğu kabul edilmiştir.

İ.Ö.İ.'ne ait yüzeysel sulamalar ise açık kanal şeklinde cazibeli sulamalar olup, bunların da sulama yapıları eski olup, su kayıpları yüksektir. Bu tesislerde de sulamada kullanılan suyun yaklaşık olarak %20'sinin kaybolduğu kabul edilmiştir. Yine mülga K.H.G.M. tarafından inşa edilmiş olan İ.Ö.İ. Gölet Sulamalarına ait sulama tesisleri de eski olup, sulamada kayıp kaçak su miktarı yüksek olmaktadır. Bu tesislerde de sulamada kullanılan suyun yaklaşık olarak %20'sinin kaybolduğu kabul edilmiştir.

DSİ tarafından yapılmış olan sulama tesisleri iki türlüdür. Bunlardan ilki açık sistem cazibeli sulama sistemleridir. Ana kanal ve sulama şebekesi açık kanal şeklindedir. Bu tesisler eski olup, su kaybıda yüksektir. Bu tesislerdeki su kaybı olarak %20 değeri kabul edilmiştir. DSİ tarafından inşa edilen ikinci türdeki sulama tesisleri ise borulu, basınçlı sulama sistemleridir. Bunlarda su kayıpları minimize edilmiş olup, modern sulama tekniklerinin, yağmurlama, damlama gibi sulama sistemlerinin kullanılması ile de önemli oranda su tasarrufu elde edilmektedir. Son yıllarda inşa edilen tesislerin tamamına yakını bu türden tesisler olup, bu tesislerde su kaybı olarak %10 değeri kabul edilmiştir.

YAS sulamaları ise borulu sulama sistemine sahip olup, su kaybı olarak %10 değeri kabul edilmiştir.

Bitki su ihtiyaçlarına örnek olarak, Sivas il merkezine içme-kulanma suyuda vermekte olan Pusat Özen Barajı'ndan sulama suyu ihtiyacını karşılayan, sulama sistemi kapalı, basınçlı borulu olan Pusat Özen Sulaması sahasında yer alan bitkilerin su taleplerine bağlı olarak aylar bazındaki su ihtiyacı Çizelge 3.14'de verilmiştir (DSİ, 2021).

Çizelge 3.14. Pusat Özen Sulaması Bitki Su İhtiyaçları (DSİ, 2021).

AYLAR	Bitki Sulama Suyu İht.	Çiftlik İhtiyacı	Çiftlik İhtiyacı	Diversiyon İht.	Sulama Suyu İhtiyacı	Modül	Borulu Sulama Sahası	
							Brüt	Net
	mm	mm	m^3/ha	mm	m^3/ha	l/s/ha	ha	ha
Randıman		0.80		0.98				0.90
Ekim	1.30	1.625	16.25	1.66	16.58	0.01	11293	10164
Kasım	0.00	0.00	0	0.00	0	0	11293	10164
Aralık	0.00	0.00	0	0.00	0	0	11293	10164
Ocak	0.00	0.00	0	0.00	0	0	11293	10164
Şubat	0.00	0.00	0	0.00	0	0	11293	10164
Mart	0.00	0.00	0	0.00	0	0	11293	10164
Nisan	0.00	0.00	0	0.00	0	0	11293	10164
Mayıs	2.43	3.04	30.375	3.10	30.99	0.01	11293	10164
Haziran	30.51	38.14	381.375	38.92	389.15	0.15	11293	10164
Temmuz	131.26	164.08	1640.75	167.42	1674.23	0.63	11293	10164
Ağustos	97.91	122.39	1223.87	124.89	1248.85	0.47	11293	10164
Eylül	43.18	53.98	539.75	55.08	550.76	0.21	11293	10164
TOPLAM	306.59	383.24	3832.38	391.06	3910.59			

Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda sulamada kullanılan suyun aylar bazında kullanılma oranı Çizelge 3.15'de verilmiştir (DSİ, 2021). Çizelge incelendiğinde, havzadaki bitkilerin sulama suyu ihtiyacının Mayıs ayında başladığı ve Ekim ayında sonlandığı, tarımsal sulamada suyun en çok Temmuz ve Ağustos aylarında, en az ise Ekim ayında tüketildiği görülmektedir. Bu veriler de programa girilmiştir.

Çizelge 3.15. Sulamada kullanılan suyun aylık kullanılma yüzdesi (DSİ, 2021)

E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
0,10	0	0	0	0	0	0	0,50	5,60	37,40	35,90	20,50

Sivas il merkezinin içme suyu ihtiyacı için il merkezindeki nüfus miktarı, bireysel ihtiyaç ve temin edildiği kaynaklar ve önem sıralaması veri olarak programa girilmiştir.

Sivas il merkezi nüfus ve su kullanımına ilişkin bilgiler Çizelge 3.16'da verilmiştir.

Çizelge 3.16. Sivas İçmesuyu Genel Bilgi (DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020)

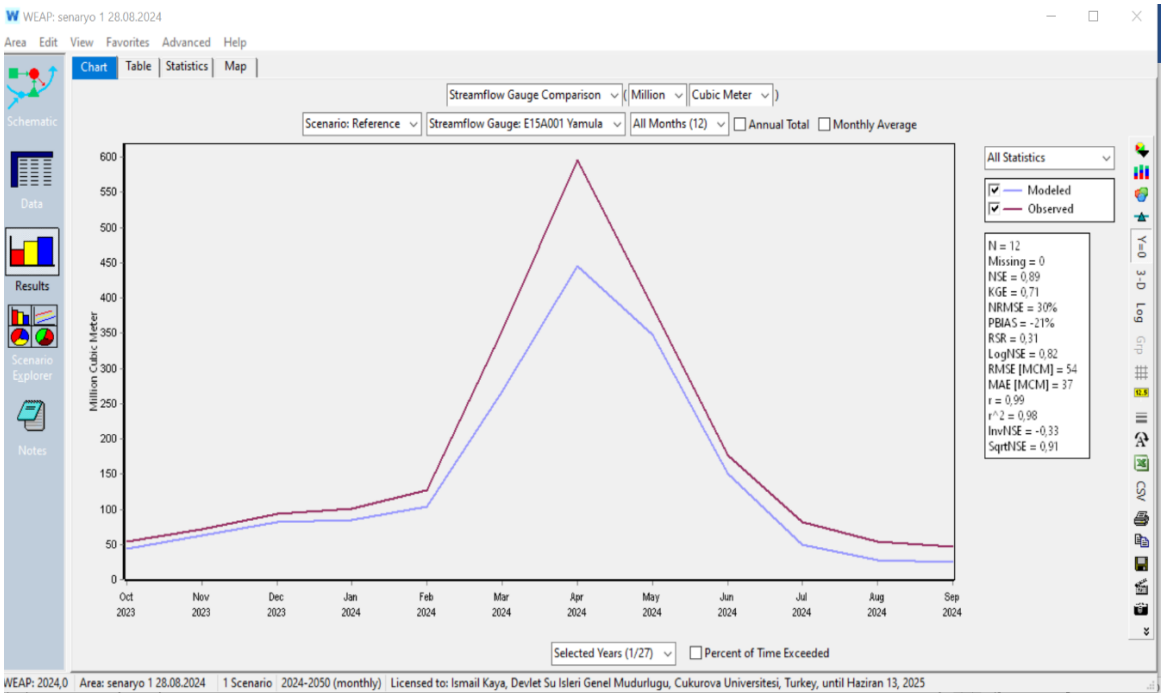
Yıl	Nüfus (Kişi)	Su Kullanım Miktarı m^3/kişi/yıl
2019	353.178	90,00
2020	358.935	90,00
2024	389.719	90,00
2025	388.909	90,62
2030	421.116	93,69
2035	455.699	96,77
2040	492.806	99,85
2045	532.594	102,92
2050	575.226	106,00

Sivas il merkezi içme kullanma suyunun 1. öncelikle Tavra Kaynakları, 2. öncelikle Dört Eylül Barajı ve 3. olarak ise Pusat Özen Barajı'ndan karşılanacağı öngörülmüştür. Mevcut durumda, Tavra kaynaklarından 22 hm^3 , Dört Eylül Barajından 13 hm^3 ve Pusat Özen Barajından yılda 8,42 hm^3 su Sivas il merkezine verilecek şekilde planlanmıştır. Nüfus olarak 2024 yılı 389.719 kişi olarak alınmış, 2050 yılına kadar 575.226 kişi olacak şekilde lineeer bir artış olacağı kabul edilmiştir. Sivas merkez içme kullanma suyunda tüketim değeri 59 olarak kullanılmış, kayıp kaçak oranı %41 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, kayıp kaçak oranı da göz önüne alınarak tüketilen su miktarı esas alınarak bir kişinin yıllık su tüketiminin 90 m^3 olduğu, 2045 yılında kayıp kaçak oranının %20 seviyelerine düşürüleceği ve bu yıldan itibaren 2050 yılına kadar da %20 olarak sabit kalacağı, 2050 yılında bir kişinin yıllık su tüketiminin 106 m^3 olacağı öngörülmüştür.

3.5.1 Modelin Doğrulanması

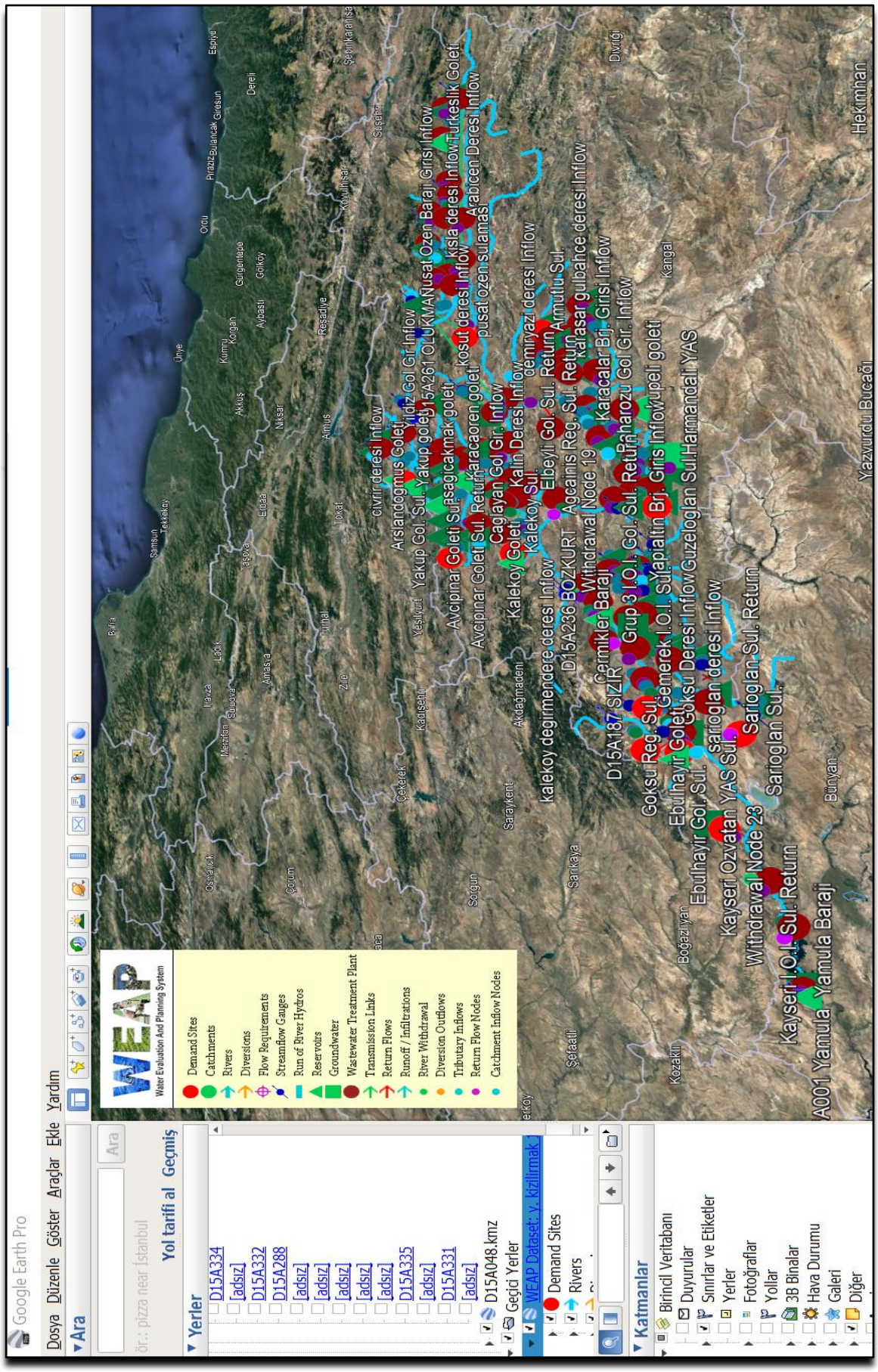
Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda model oluşturulup, senaryolar da belirlendikten sonra modelin doğruluğunun ve performansının test edilmesi amacıyla, Nash-Sutcliffe verimlilik katsayıları (The Nash-Sutcliffe efficiency coefficients) (NSE) ve R^2 kullanılarak kurmuş olduğumuz modelin performansı değerlendirilmiştir. Havzanın çıkış noktasında yer alan ve uzun yıllara ait gözlemlenmiş değerleri de bulunan Yamula Barajı AGİ (E15A001) değerleri baz alınmıştır.

Yapmış olduğumuz WEAP modeli doğrulama grafiği Şekil 3.18'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde; NSE değerinin 0,89 ve R^2 değerinin ise 0,98 olduğu, bu sonuçlar değerlendirildiğinde gözlenmiş akımlarla, modele girilmiş akım değerlerinin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 3.18. WEAP Model Doğrulama Grafiği

Yukarı Kızılırmak Havzası ile ilgili olarak gerekli veri girişleri yapıldıktan sonra oluşturulan, nehirler, depolama tesisleri, sulama alanları, YAS akiferleri ve bağlantı linklerinin yer aldığı WEAP modelinin Google Earth görüntüsü Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası WEAP Modeli Google Earth Görünümü

3.5.2 Senaryolar

WEAP programının en önemli özelliği, senaryo analizleridir. WEAP modelleme programı, mevcut durumu baz alarak geleceğe yönelik senaryolarla su gereksinimlerini, maliyetleri ve çevresel etkileri değerlendirme ve karşılaştırma olanağı sağlar. Senaryolar hazırlanırken, sistemin "ne olur?" sorularına yanıt verecek şekilde senaryo araştırmaları yapılması amaçlanmıştır. Örneğin, nüfus artışı değişirse ne olur? İçme kullanma suyu tüketiminde kayıp oranı azaltılırsa ne olur? Rezervuar işletme kuralları değişirse ne olur? Yeraltı suyu tamamen tüketildiğinde ne olur? Daha verimli bir sulama yöntemi kullanılırsa ne olur? Havza içerisindeki yağışa bağlı olarak akımlar azalırsa ne olur? gibi sorulara cevap aranmıştır. Veri görünümü penceresinde, senaryo seçeneklerinin düzenlendiği senaryoları yönetme sekmesi bulunmaktadır. Bu sekmede, hangi senaryoların dahil edileceği ve bu araştırmaların hangi dönemlerde yapılacağı belirlenebilmektedir. Girilen verilerin güncel durumu, veri penceresinin alt kısmında grafik, çizelge veya liste formatında izlenebilmektedir.

Yukarı Kızılırmak Havzası'nın WEAP ile modeli oluşturulduktan sonra, işletme çalışmasına yönelik olarak suyun kullanımı ve yönetiminde değerlendirmede bulunmak amacıyla belirli kabuller ile çeşitli senaryolar üretilmiştir. Havzanın başlangıcında yer alması ve düşen yağışların ilk bu bölgede depolanması nedeniyle su haklarından da 1. öncelikli olarak yararlanması düşünülmüştür. Zaman dilimi olarak 2024 ile 2050 yılları arası alınmıştır.

Senaryo çalışmalarında; öncelikli olarak 1. durum (mevcut durum), 2. olarak iyimser ve 3. olarak da kötümser yağışların azalıp, ihtiyaçların arttığı ve 4. olarak da kötümser yağışların azaldığı, sulama tesislerinde iyileştirme yapılmaması durumu (en kötü senaryo) olmak üzere 4 değişik durum için senaryolar oluşturulmuştur. Çalışma periyodu olarak 2050 yılına kadar olan durum değerlendirilmiştir. Tüm senaryolarda depolama tesislerinin su seviyesi olarak başlangıçta minimum su seviyesinde olduğu, YAS ile ilgili olarak ise kullanılan su kadar miktarın yeniden akifere deşarj olacağı kabul edilmiştir.

Mevcut durumun değerlendirildiği ilk durumda; uzun yıllara ait aylık doğal akımların olacağı ve depolama tesislerinin başlangıçta min su seviyesinde oldukları kabul edilmiştir. Sulamalarla ilgili olarak; halk sulamalarında kullanılan suyun yaklaşık olarak %30'unun kaybolduğu, İ.Ö.İ. gölet sulamalarında %20'sinin kaybolduğu, İ.Ö.İ. YÜS sulamalarında %30'unun kaybolduğu, DSİ açık sistem sulama sistemlerinin olduğu sulamalarda %20 ve basınçlı borulu sistemlerde %10 ve YAS sulamalarında %10 su kaybının olduğu, bitki su tüketiminin planlamada belirtilen miktarlar olacağı kabul edilmiştir.

Sivas il merkezinin içme suyu ihtiyacı için il merkezindeki nüfus olarak 2024 yılı 389.719 kişi olarak alınmış, Sivas il merkezi içme kullanma suyunda tüketim değeri 59 olarak kullanılmış, kayıp kaçak oranı %41 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, kayıp kaçak oranı da göz önüne alınarak tüketilen su miktarı esas alınarak bir kişinin yıllık su tüketiminin 90 m^3 olduğu kabul edilmiştir. Mevcut durumda, Sivas il merkezi içme kullanma suyunun 1. öncelikle Tavra Kaynakları, 2. öncelikle Dört Eylül Barajı ve 3. olarak ise Pusat Özen Barajı'ndan karşılanacağı öngörülmüştür.

İyimser senaryo olarak senaryo-2'de, havza genelinde su miktarında azalma olmayıp, uzun yıllar aylık ortalama doğal akım değerlerinin olacağı, yağışların yeterli olacağı ve bu nedenle baraj, gölet gibi depolama tesislerinin doluluk oranlarının düşmeyeceği, buharlaşma miktarının fazla artmayacağı varsayılmıştır. Sulama alanları sabit tutulmuş ve planlamada belirtilen bitki su tüketimlerinin olabileceği öngörülmüştür. Yine cazibeli açık kanal, İ.Ö.İ. ve halk sulamalarında yapılan iyileştirmelerle, sulama sistemlerindeki mevcut %20-30 olan kayıp miktarının %10'a kadar indirilebileceği kabul edilmiştir.

Sivas il merkezinin içme suyu ihtiyacı ile ilgili olarak; (a) içme kullanma suyunun 1. öncelikle Tavra Kaynakları, 2. öncelikle Dört Eylül Barajı ve 3. olarak ise Pusat Özen Barajı'ndan karşılanacağı, (b) il merkezindeki nüfus miktarı olarak 2024 yılı için 389.719 kişi ve 2050 yılına kadar 575.226 kişi olacak şekilde lineeer bir artış olacağı, (c) Sivas merkez içme kullanma suyunda kayıp kaçak oranının başlangıçta %41 olduğu ve 2045 yılına kadar lineer bir şekilde azalarak kayıp kaçak oranının %20 seviyelerine düşürüleceği ve bu yıldan itibaren 2050 yılına kadar da %20 olarak sabit kalacağı, (d) kayıp kaçak oranı da göz önüne alınarak tüketilen su miktarı esas alınarak bir kişinin yıllık su tüketiminin başlangıçta 90 m^3 iken, bunun lineer bir şekilde artarak 2050 yılında bir kişinin yıllık su tüketiminin 106 m^3 olacağı kabul edilmiştir.

Kötümser durum olarak senaryo-3'te; sıcaklıkların arttığı, buna bağlı olarak yağışların azaldığı, nehir akımlarının %20 oranında düştüğü durum öngörülmüştür. Sulama alanları sabit tutulmuş ve basınçlı sulama sistemlerindeki su tüketimlerinin planlamada belirtilen değerler olabileceği öngörülmüştür. Mevcut durumdaki 35.373 ha açık sistem sulama sistemlerinin kapalı borulu basınçlı sistemlere dönüştürülerek su tüketimlerinin planlamada belirtilen değerlerden azalarak mevcut durumda %20-30 olan su kayıp miktarının 2050 yılına kadar lineer olarak %10 oranına indirilebileceği kabul edilmiştir.

Sivas il merkezinin içme suyu ihtiyacı ile ilgili olarak; (a) içme kullanma suyunun 1. öncelikle Tavra Kaynakları, 2. öncelikle Dört Eylül Barajı ve 3. olarak ise Pusat Özen Barajı'ndan karşılanacağı, (b) il merkezindeki nüfus miktarı olarak 2024 yılı için 389.719 kişi ve 2050 yılına kadar 575.226 kişi olacak şekilde lineeer bir artış olacağı, (c) Sivas merkez içme kullanma suyunda kayıp kaçak oranının başlangıçta %41 olduğu ve 2045 yılına kadar lineer bir şekilde azalarak kayıp kaçak oranının %20 seviyelerine düşürüleceği ve bu yıldan itibaren 2050 yılına kadar da %20 olarak sabit kalacağı, (d) kayıp kaçak oranı da göz önüne alınarak tüketilen su miktarı esas alınarak

bir kişinin yıllık su tüketiminin başlangıçta 90 m^3 iken, bunun lineer bir şekilde artarak 2050 yılında bir kişinin yıllık su tüketiminin 106 m^3 olacağı kabul edilmiştir.

En kötümser durumun var olduğu kabul edilen senaryo-4'te; sıcaklıkların arttığı, buna bağlı olarak yağışların azaldığı, nehir akımlarının %20 oranında düştüğü durum öngörülmüştür. Sulama alanları sabit tutulmuş ve basınçlı sulama sistemlerindeki su tüketimlerinin planlamada belirtilen değerler olabileceği öngörülmüştür. Mevcut durumdaki 35.373 ha açık sistem sulama sistemlerinin kapalı borulu basınçlı sistemlere dönüştürülmediği ve su tüketim değerlerinin planlamada belirtilen değerlerde olacağı, mevcut durumdaki %20-30 olan su kayıp miktarının 2050 yılında da aynen kalacağı koşullar kabul edilmiştir.

Sivas il merkezinin içme suyu ihtiyacı ile ilgili olarak; (a) içme kullanma suyunun 1. öncelikle Tavra Kaynakları, 2. öncelikle Dört Eylül Barajı ve 3. olarak ise Pusat Özen Barajı'ndan karşılanacağı, (b) il merkezindeki nüfus miktarı olarak 2024 yılı için 389.719 kişi ve 2050 yılına kadar 575.226 kişi olacak şekilde lineeer bir artış olacağı, (c) Sivas merkez içme kullanma suyunda kayıp kaçak oranının başlangıçta %41 olduğu ve bunun azalmayıp 2050 yılında da %41 olduğu, (d) kayıp kaçak oranı da göz önüne alınarak tüketilen su miktarı esas alınarak bir kişinin yıllık su tüketiminin başlangıçta 90 m^3 iken, bunun lineer bir şekilde artarak 2050 yılında bir kişinin yıllık su tüketiminin 106 m^3 olacağı kabul edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yukarı Kızılırmak Alt Havzası WEAP Modelinin oluşturulup, modelin doğrulaması, farklı senaryolar oluşturulması aşamalarından sonra run edilen WEAP programı ile çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Havza politika analizlerinin oluşturulması için bu sonuçlar irdelenmiştir.

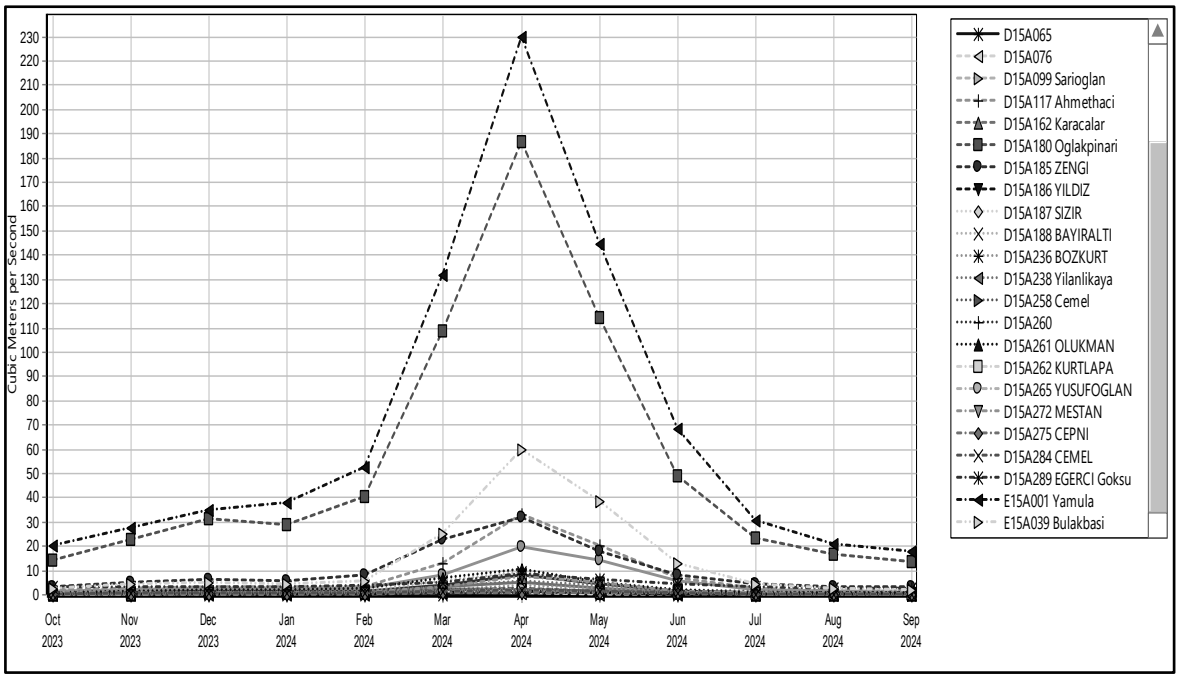
Çalışma kapsamında mevcut durumun yer aldığı Senaryo-1 durumu ile iklim değişikliğine bağlı olarak yağışların değişimi, havza kaynak durumu ve talepleri dikkate alan 2024-2050 yılları arasındaki peryotta iyimser ve kötümser koşulları içeren senaryo-2, senaryo-3 ve senaryo-4 durumlarını içeren analizler yapılmıştır.

Senaryo-1: Bu senaryoda; bozulmamış doğal akımlar esas alınarak, uzun yıllara ait aylık ortalama akımlar kullanılarak, mevcut durumdaki sulamaların planlamada öngörülen bitki su ihtiyacı esas alınarak havzanın sulama suyu bütçesi ve Sivas il merkezinin mevcut koşullar altındaki içme-kullanma suyu su bütçesi irdelenmiştir.

İçme ve kullanma suyunda mevcut durumda kayıp kaçak oranı %41 ve bu miktara bağlı olarak kişi başına yıllık su tüketimi de 90 m^3 olarak alınmıştır. Sulamada kullanılan suyun yüzde olarak (%) Ekim ayında 0,10; Mayıs ayında 0,50; Haziran ayında 5,60; Temmuz ayında 37,40; Ağustos ayında 35,90 ve Eylül ayında 20,50'sinin kullanılacağı kabul edilmiştir.

WEAP ile yapılan senaryo-1 analizi sonucunda aşağıda yer alan sonuçlar elde edilmiştir:

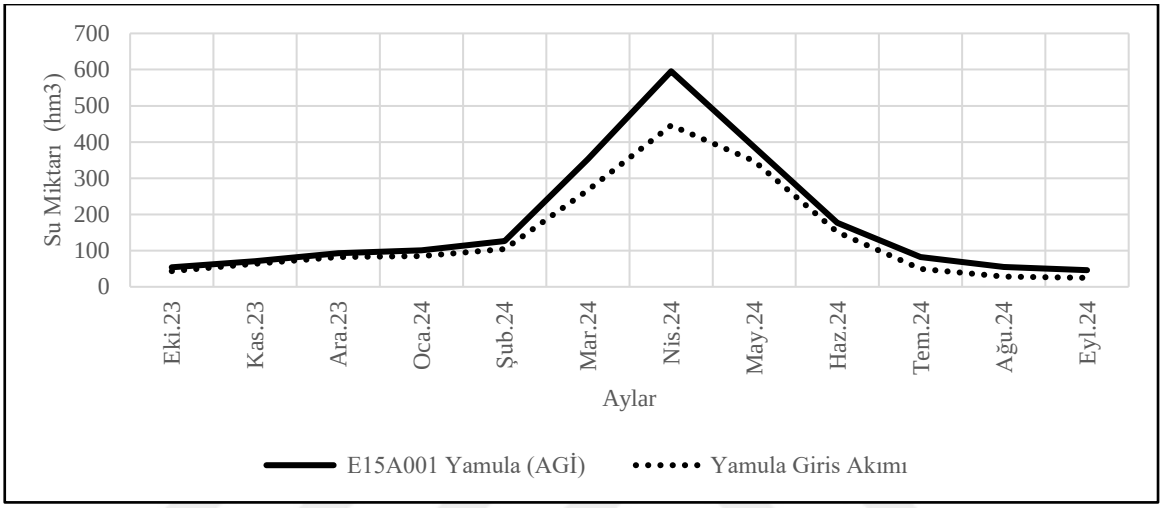
Şekil 4.1'de analiz sonucunda elde edilen uzun yıllara ait doğal aylık ortalama akımlar gösterilmiştir.



Şekil 4.1. AGİ'lere Ait Doğal Aylık Ortalama Akımlar

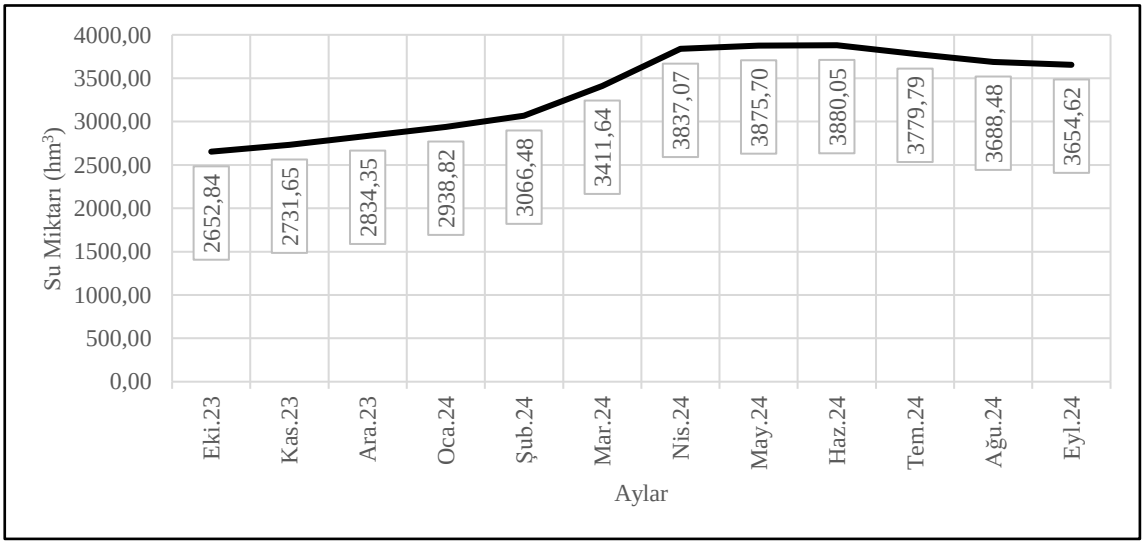
a- Havza genelinde yeraltı su kaynakları dahil yaklaşık olarak 2.157,10 hm^3 su bütçesinin bulunduğu hesaplanmıştır.

b- Havza içerisindeki gelen ve çıkan su miktarlarını değerlendirmek için en önemli kıyas alınabilecek noktasal veri Yamula Barajı girişindeki su miktarı olarak değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda Yamula Barajı giriş bölgesinde elde edilen akım değeri 1.691,82 hm^3 olarak bulunmuştur. Şekil 4.2'de E15A001 Yamulu AGi'ye ait doğal akımlar ile analiz sonucunda elde edilen yaklaşık aynı lokasyondaki elde edilen akım değerleri grafiği verilmiştir.



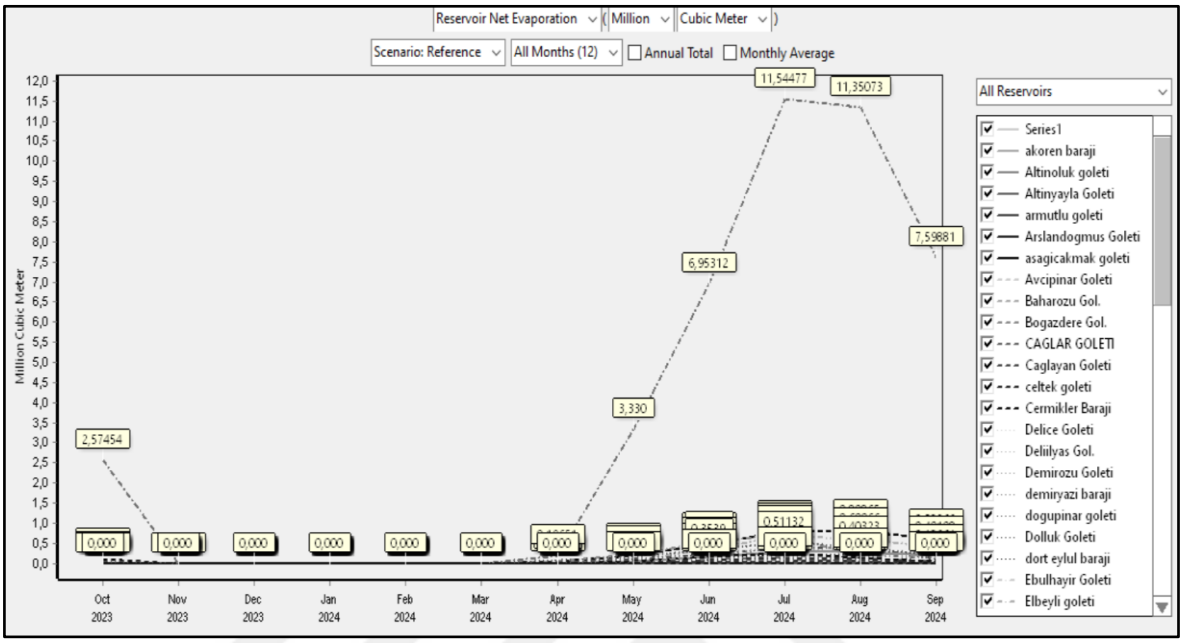
Şekil 4.2. Yamula Barajı Giriş Akımları (Mevcut Durum)

c- Analiz sonucunda depolama tesislerindeki su hacmi 3.654,62 hm^3 bulunmuş olup, Şekil 4.3'de grafik olarak gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, Mayıs ve Haziran aylarında su miktarı maksimum değere ulaşırken, Temmuz ayından itibaren su miktarının düşme eğilimine girdiği görülmüştür.



Şekil 4.3. Depolama Tesisleri Aylık Su Hacmi Grafiği (Mevcut Durum)

d- Senaryo-1 analizi sonucunda Yukarı Kızılırmak Havza'sı içerisinde yer alan depolama tesislerinden yıllık toplam 58,79 hm^3 suyun buharlaştığı hesap edilmiş olup, depolama tesislerine ait buharlaşma grafiği Şekil 4.4'de verilmiştir.



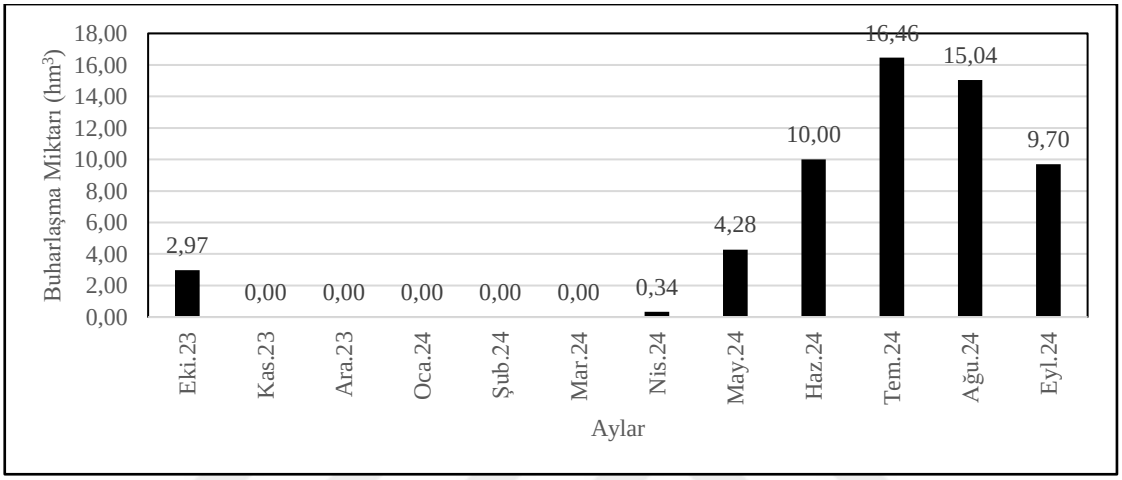
Şekil 4.4. Depolama Tesisleri Toplam Buharlaşma Grafiği (Mevcut Durum)

Büyük depolama tesislerindeki buharlaşma değerleri Çizelge 4.1.'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1. Depolama Tesisleri Buharlaşma Miktarı

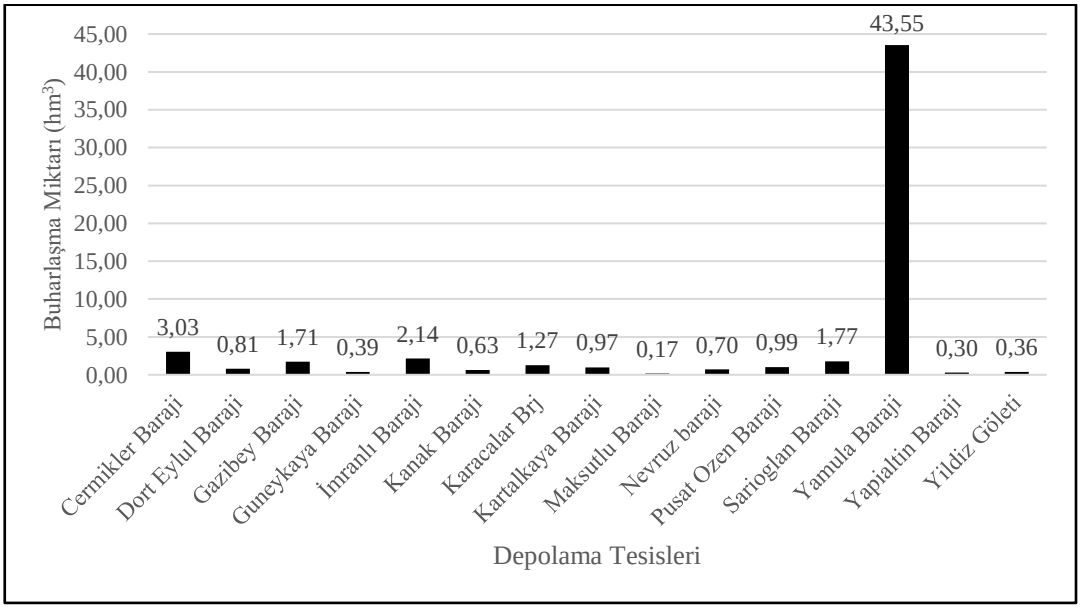
S.No	Depolama Tesisi Adı	Buharlaşma Miktarı (m^3)
1	Çermikler Barajı	3.025.464
2	Dört Eylül Barajı	807.641
3	Gazibey Barajı	1.712.798
4	Güneykaya Barajı	391.376
5	İmranlı Barajı	2.137.817
6	Kanak Barajı	633.859
7	Karacalar Barajı	1.265.130
8	Kartalkaya Barajı	971.138
9	Maksutlu Baraji	172.596
10	Nevruz Barajı	699.168
11	Pusat Özen Barajı	992.943
12	Sarıoğlan baraji	1.769.443
13	Yamula Barajı	43.548.478
14	Yapıaltın Barajı	304.428
15	Yıldız Göleti	361.937
	TOPLAM	58.794.214

Şekil 4.5'de depolama tesislerinin aylar bazında buharlaşma grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, buharlaşmaların Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında yüksek olduğu, en büyük değerin ise Temmuz ayında gerçekleştiği, Kasım ile Nisan ayları arasında diğer aylarla kıyaslandığında neredeyse hiç buharlaşma meydana gelmediği görülmektedir. Bölgenin iklim durumu değerlendirildiğinde bu ayların kış ve bahar aylarına denk geldiği, kış aylarının karlı ve buzlu olduğu göz önüne alınırsa birçok göl yüzeyinin bu bölge içerisinde buzla kaplı olması nedeniyle buharlaşmanın da sıfıra yakın olması kabul edilebilir bulunmaktadır.



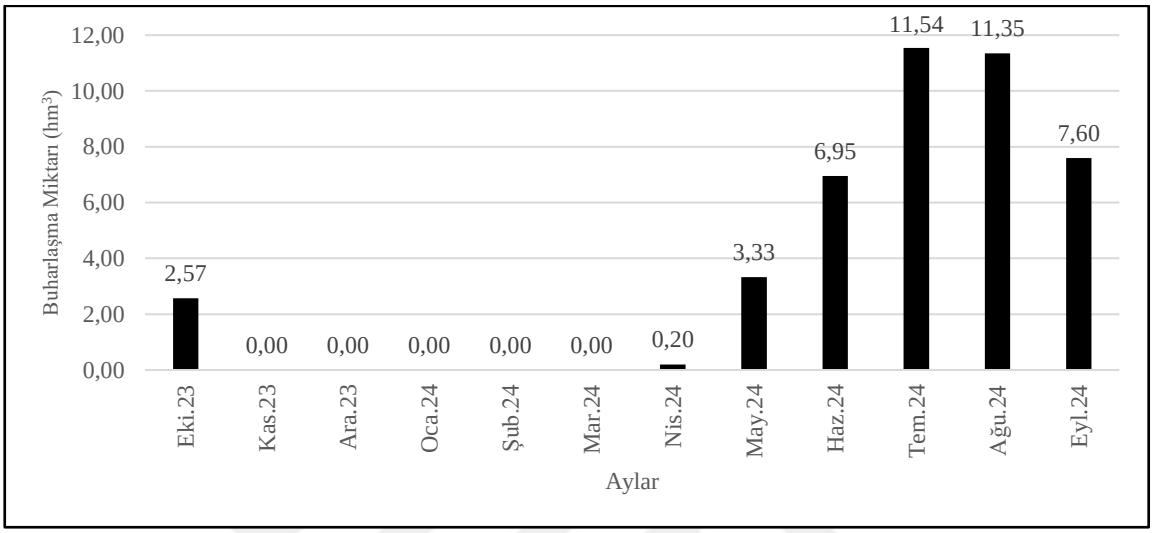
Şekil 4.5. Depolama Tesisleri Aylar Bazında Buharlaşma Grafiği (Mevcut Durum)

Şekil 4.6'da depolama tesislerinin yıllık buharlaşma grafiği verilmiştir. Grafikte en büyük buharlaşan su miktarının 43,55 hm^3 ile Yamula Barajı'nda meydana geldiği, bu değerin diğer depolama tesislerinde meydana gelen toplam buharlaşmadan oldukça fazla olduğu, toplam buharlaşma miktarının yaklaşık olarak %74'ünü oluşturduğu görülmüştür.



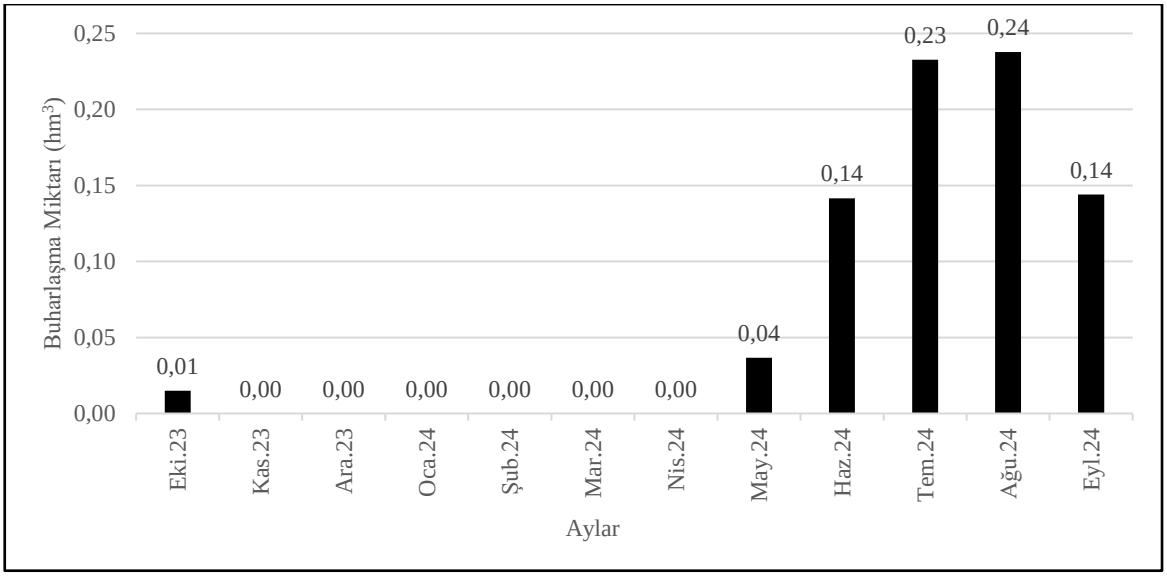
Şekil 4.6. Depolama Tesisleri Buharlaşma Grafiği (Mevcut Durum)

Havza içerisinde en yüksek buharlaşmanın meydana geldiği görülen Yamula Barajı'nın aylar bazında buharlaşma grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir. Yamula Barajı havzanın en güneyinde yer almakta olup, hacim ve yüzey alanı olarak havzadaki en büyük tesistir. Bu bölgedeki sıcaklıklar da havza içerisindeki en yüksek değerlerin olduğu kesimdir. Dolayısı ile elde edilen değerlerin coğrafik koşullarla da uyumlu olduğu görülmüştür.



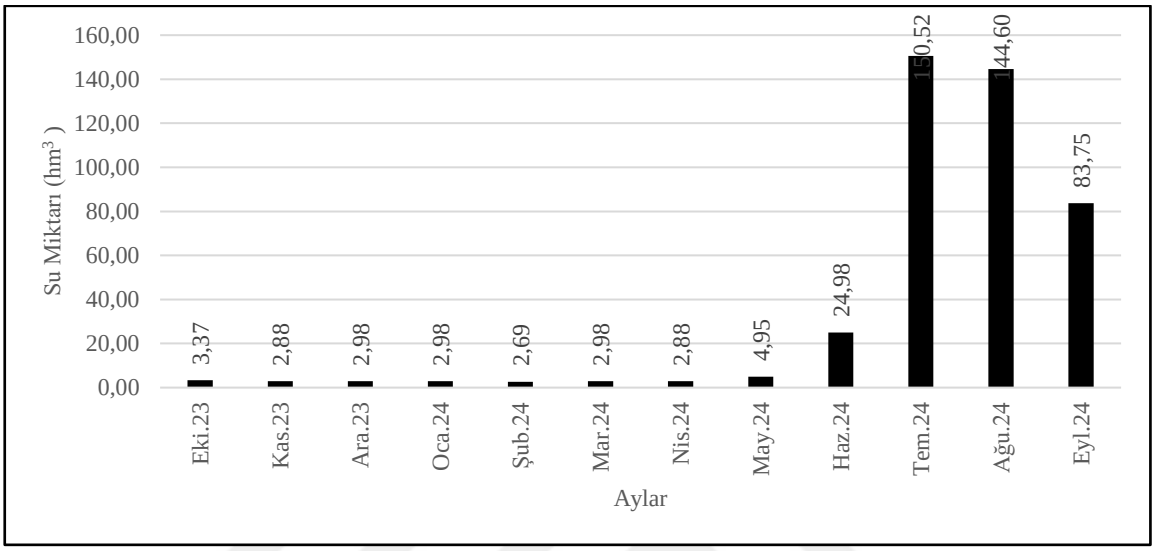
Şekil 4.7. Yamula Barajı Buharlaşma Grafiği (Mevcut Durum)

Sivas il merkezinin içmesuyu ihtiyacının karşılandığı Dört Eylül Barajı'nda meydana gelen aylık buharlaşma değerlerine ait grafik Şekil 4.8'de verilmiştir. Mevcut senaryoda yıllık buharlaşma miktarının 0,81 hm^3 olduğu görülmüştür. Sivas il merkezinin 2024 yılı için talep edilen içmesuyu ihtiyacı miktarının 37,14 hm^3 olduğu esas alındığında, barajdan buharlaşarak kaybolan su miktarının toplam ihtiyaç miktarının %2,2'si gibi bir değere tekabül ettiği görülmüştür.



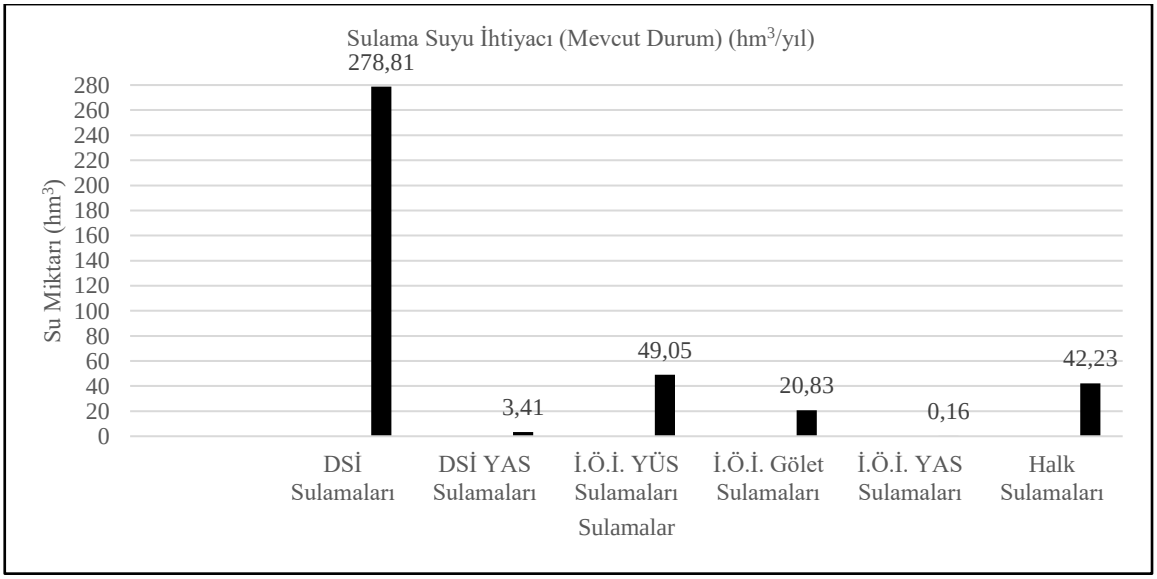
Şekil 4.8. Dört Eylül Barajı Buharlaşma Grafiği (Mevcut Durum)

e- Mevcut durum analizinde, Yukarı Kızılırmak Havzası'nda yer alan tarımsal sulama ve Sivas il merkezi içme ve kullanma suyu için ihtiyaç duyulan toplam su miktarı 429,57 hm^3 olarak bulunmuştur. Aylar bazında su talep grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek su talebinin tarımsal sulamanın yoğun olduğu Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında olduğu, en büyük değerin ise Temmuz ayında olduğu görülmüştür.



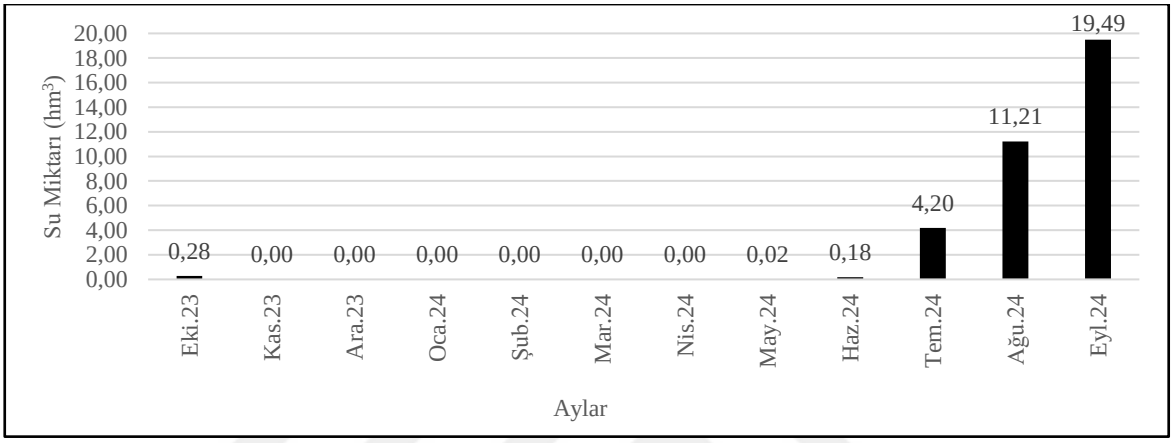
Şekil 4.9. Su Talep Grafiği (Mevcut Durum)

f- Sulamaların tamamı için 394,49 hm^3 suya ihtiyaç bulunduğu hesaplanmıştır. Sulama tesislerinin sulama suyu taleplerini gösteren grafik Şekil 4.10'da verilmiştir. Grafiği incelediğimizde, Halk sulamaları için 42,23 hm^3, İ.Ö.İ.'si tarafından yapılmış olan sulamalar için 69,88 hm^3, DSİ sulamaları için 278,81 hm^3, DSİ YAS sulamaları için 3,41 hm^3 ve İ.Ö.İ. YAS sulama tesisleri için 0,16 hm^3 su gerektiği hesaplanmıştır.



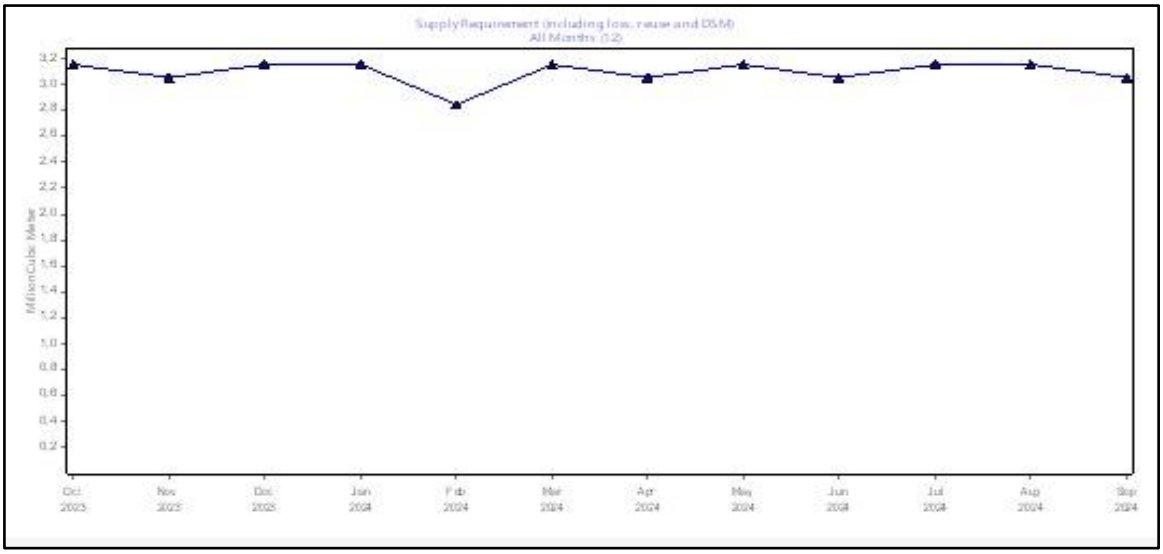
Şekil 4.10. Tesislerin Sulama Suyu İhtiyaç Grafiği (Mevcut Durum)

g- Havza genelindeki tesislerin karşılanamayan su ihtiyacı miktarı 35,37 $hm^{3'}$ olarak hesaplanmış olup, Şekil 4.11'de aylar bazında eksik su miktarı grafiği verilmiştir. Karşılanamayan su miktarı özellikle Ağustos ve Eylül aylarında olmaktadır. Bu miktarın yaklaşık 5,60 $hm^{3'}$ü Yapıaltın Barajı'ndan alınan suyla sulanan sulama sahasından kaynaklanmaktadır. Bu sulama sahasındaki sulama sistemi açık kanal olup, su kayıplarının yüksek olduğu, bir sulamadır. Yapıaltın Barajı'nın depolamış olduğu su sulama sahasının tamamının mevcut haliyle sulanması halinde yetmemektedir.



Şekil 4.11. Karşılanamayan Su İhtiyaç Grafiği (Mevcut Durum)

h- Bu senaryoda, uzun yıllara ait aylık ortalama akımlar kullanılarak mevcut durumdaki Sivas il merkezi içme ve kullanma suyu durumu değerlendirildiğinde, 2024 yılı için talep edilen su miktarının 37,14 hm^3 olduğu hesaplanmış olup, aylar bazında içmesuyu ihtiyaç grafiği Şekil 4.12'de verilmiştir. Talep edilen suyun 22,00 $hm^{3'}$nün Tavra yeraltı suyu kaynaklarından, 13,26 $hm^{3'}$ünün Dört Eylül Barajı'ndan ve 1,88 $hm^{3'}$ünün ise Pusat Özen Barajı'ndan temin edildiği görülmüştür.



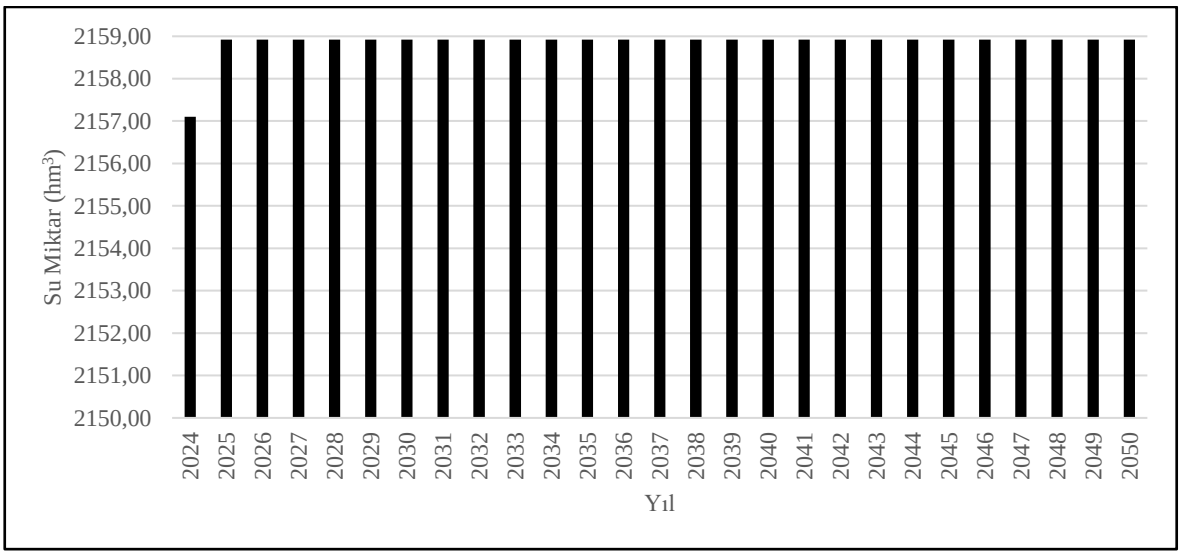
Şekil 4.12. Sivas İl Merkezi İçmesuyu İhitiyaç Grafiği (Mevcut Durum)

Senaryo-2: İyimser senaryodur. Bu senaryoda, uzun yıllara ait aylık ortalama akımlar kullanılarak, mevcut durumdaki açık sistem sulama tesislerinin 2050 yılına kadar doğrusal bir şekilde kapalı borulu basınçlı sistemlere dönüştürülmesi, bu şekilde DSİ sulamaları, halk sulamaları ve İ.Ö.İ. sulamalarındaki yıllık su tüketiminin 3900 m^3/hektar olacağı, sulama sistemlerinde yapılacak iyileştirmelerle, mevcut durumda %20-30 olan su kayıp miktarının %10'a kadar indirilebileceği durumdaki su bütçesi irdelenmiştir. 2050 yılına kadar su kaynakları miktarında herhangi bir artış veya eksiltme yapılmamıştır. 2024'den 2050 yılına kadar 35.373 ha olan açık sistem olan sulama tesislerinin (halk sulaması, DSİ Sulamaları, İ.Ö.İ. sulamaları) lineer bir şekilde doğrusal olarak kapalı borulu basınçlı sisteme dönüştürüleceği ve bu sulamalarda bitki su ihtiyacının da yıllık 3.900 m^3/ha olacağı öngörülmüştür. Yine sulamada kullanılan suyun yüzde (%) olarak; Ekim ayında 0,10; Mayıs ayında 0,50; Haziran ayında 5,60; Temmuz ayında 37,40; Ağustos ayında 35,90 ve Eylül ayında 20,50'sinin kullanılacağı kabul edilmiştir.

Bu senaryoda, uzun yıllara ait aylık ortalama akımlar kullanılarak nüfus ve günlük tüketimin arttığı (kişi başı günlük su tüketiminin 90 m^3'ten 106 m^3'e yükseleceği), içme ve kullanma suyunda mevcut durumda %41 olan kayıp miktarının da 2050 yılına kadar %20'a kadar düşeceği kabul edilerek Sivas il merkezinin içme-kullanma suyu su bütçesi irdelenmiştir.

WEAP ile yapılan senaryo-2 analizi sonucunda aşağıda yer alan sonuçlar elde edilmiştir:

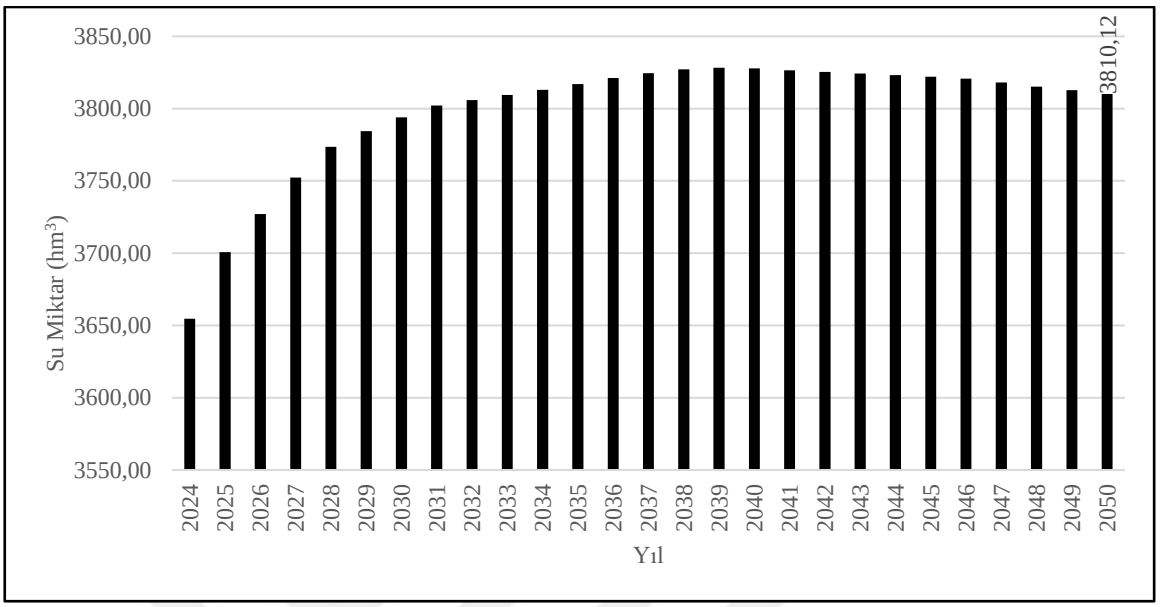
a- Senaryo-2 nin WEAP analizi sonucunda, 2050 yılında havza genelinde yeraltı su kaynakları dahil 2.158,92 hm^3 su bütçesinin bulunduğu hesaplanmıştır. Yıllar itibariyle havza su bütçesi grafiği Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.13 Havza Su Bütçesi Grafiği (Senaryo-2)

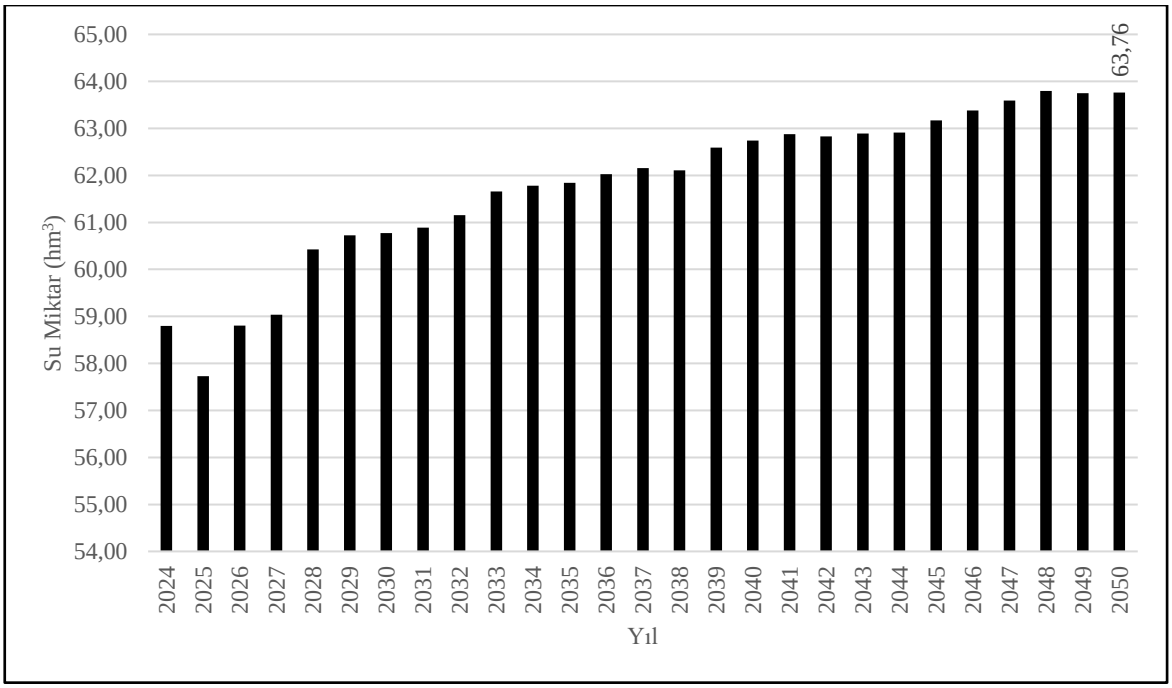
b- Havza içerisindeki gelen ve çıkan su miktarlarını göz önüne aldığımızda, en önemli veri olarak Yamula Barajı'na giriş lokasyonundaki 1.691,82 hm^3 su miktarının arttığı ve 2050 yılı için 1.776,62 hm^3 olduğu hesaplanmıştır.

c- Depolama tesislerindeki su hacminin 2050 yılında 3.810,12 hm^3 olduğu hesaplanmıştır. Yıllar itibariyle su depolama grafiği Şekil 4.14'de verilmiştir.



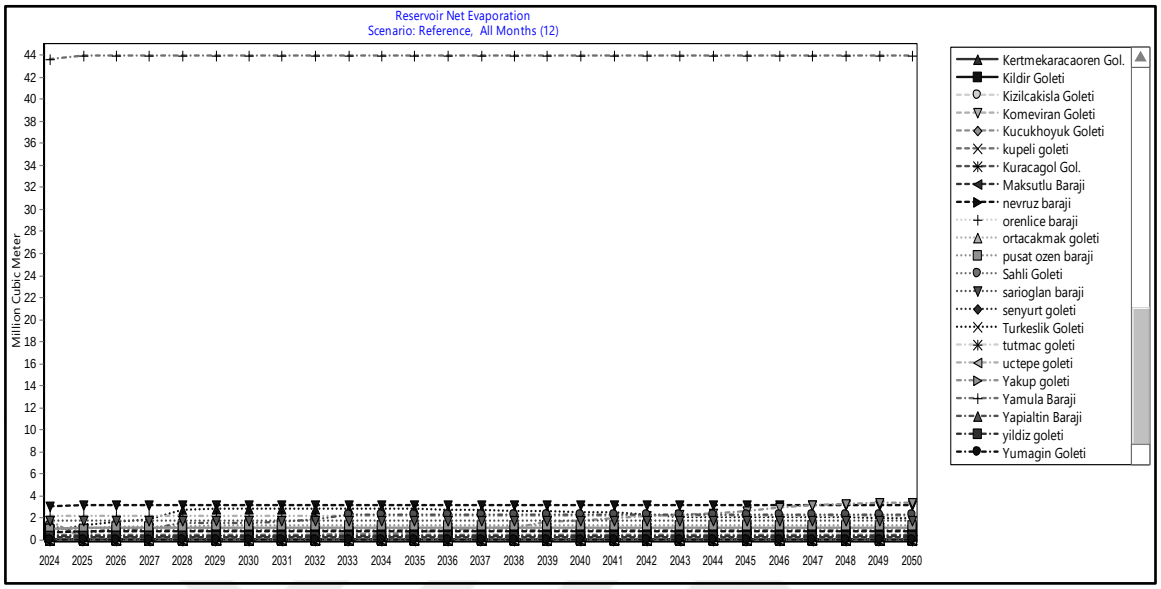
Şekil 4.14. Havza Depolama Tesisleri Yıllık Su Depolama Grafiği (Senaryo-2)

d- Şekil 4.15'de yıllar itibariyle depolama tesislerinin yıllık toplam buharlaşma miktarları verilmiştir. Grafikteki değerlere baktığımız zaman depolama tesislerinde ki yıllık toplam buharlaşmanın 58,79 hm^3'ten artarak 2050 yılında 63,76 hm^3'e yükseldiği görülmüştür.



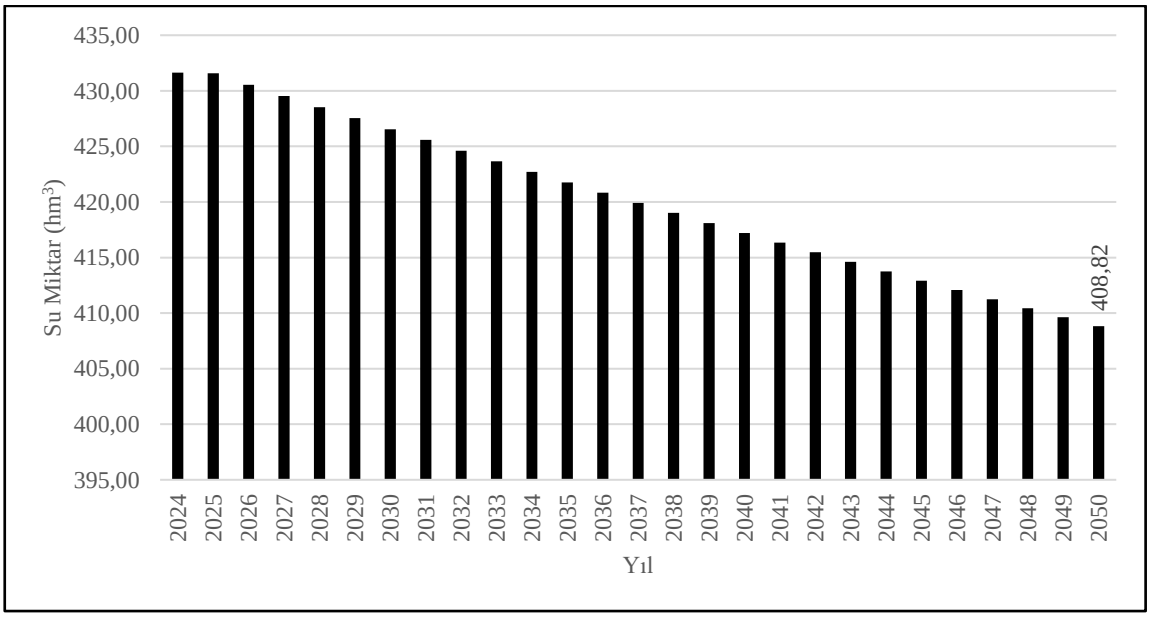
Şekil 4.15. Havza Depolama Tesisleri Toplam Yıllık Buharlaşma Grafiği (Senaryo-2)

Depolama tesislerinin yıllar bazında, ayrı ayrı olarak buharlaşma miktarları Şekil 4.16'da verilmiştir. Grafiği incelediğimizde buharlaşma değeri olarak en büyük değerin 2050 yıında 43,89 hm^3 olarak Yamula Barajı'nda olduğu görülmüştür.



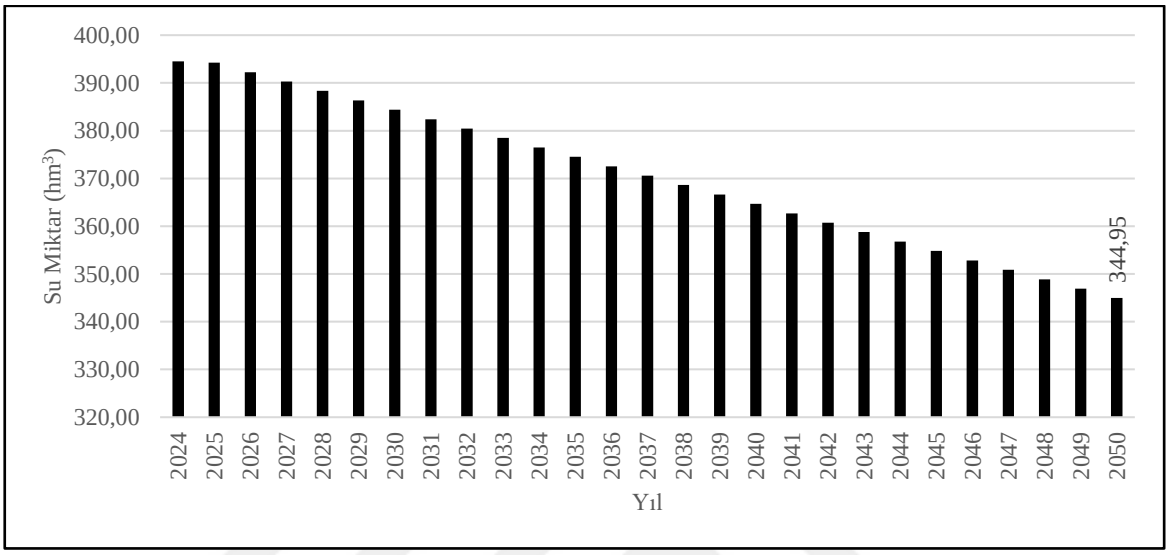
Şekil 4.16. Havza Depolama Tesisleri Yıllık Buharlaşma Grafiği (Senaryo-2)

e- Yukarı Kızılırmak Havzası'nda yer alan tarımsal sulama ve Sivas il merkezi içme-kullanma suyu için ihtiyaç duyulan su miktarı hesap edilmiş ve analiz sonuçları yıllar bazında Şekil 4.17'de verilmiştir. Yıllık su talep grafiği incelendiğinde, 2024 yılından 2050 yılına doğru azalma eğilimi olacağı görülmektedir. Buna göre, su talep miktarının 431,63 hm^3'ten 2050 yılında 408,82 hm^3'e düşeceği hesaplanmıştır.



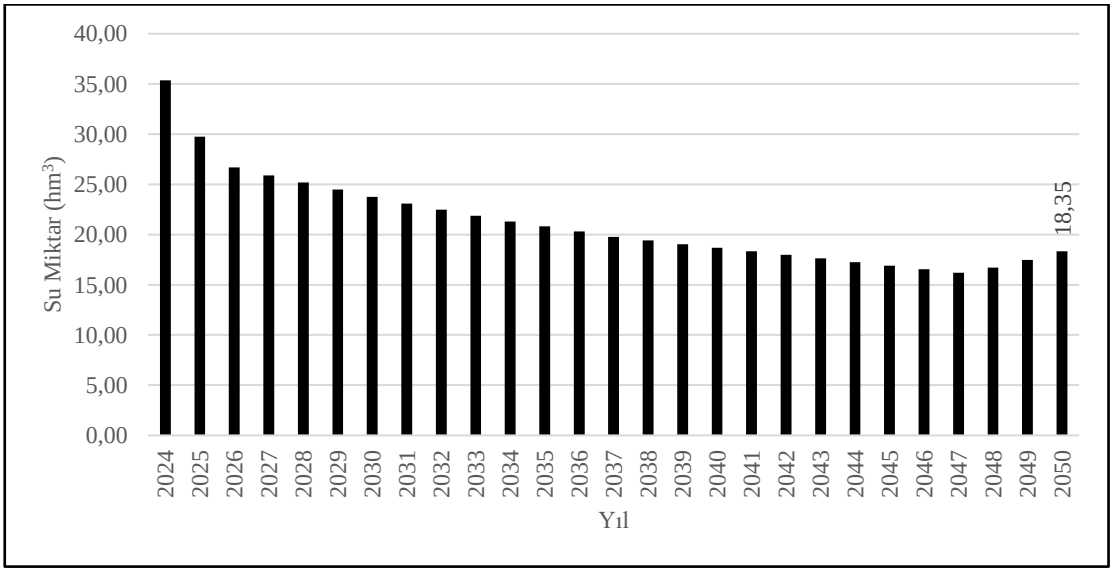
Şekil 4.17. Havza Tesisleri Yıllık Su Talep Grafiği (Senaryo-2)

f- Tarımsal sulama için ihtiyaç duyulan su miktarı hesap edilmiş ve analiz sonuçları yıllar bazında Şekil 4.18'de verilmiştir. Sulamaların tamamı için 2024 yılında 394,49 hm^3 suya ihtiyaç var iken, 2050 yılında ise su ihtiyacının azaldığı ve 344,95 hm^3 olduğu hesaplanmıştır. Senaryo gereği sulama sistemlerinde yapılacak iyileştirmelere bağlı olarak yıllar bazında sulama suyu ihtiyacının azaldığı, su ihtiyaç talebinin azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.



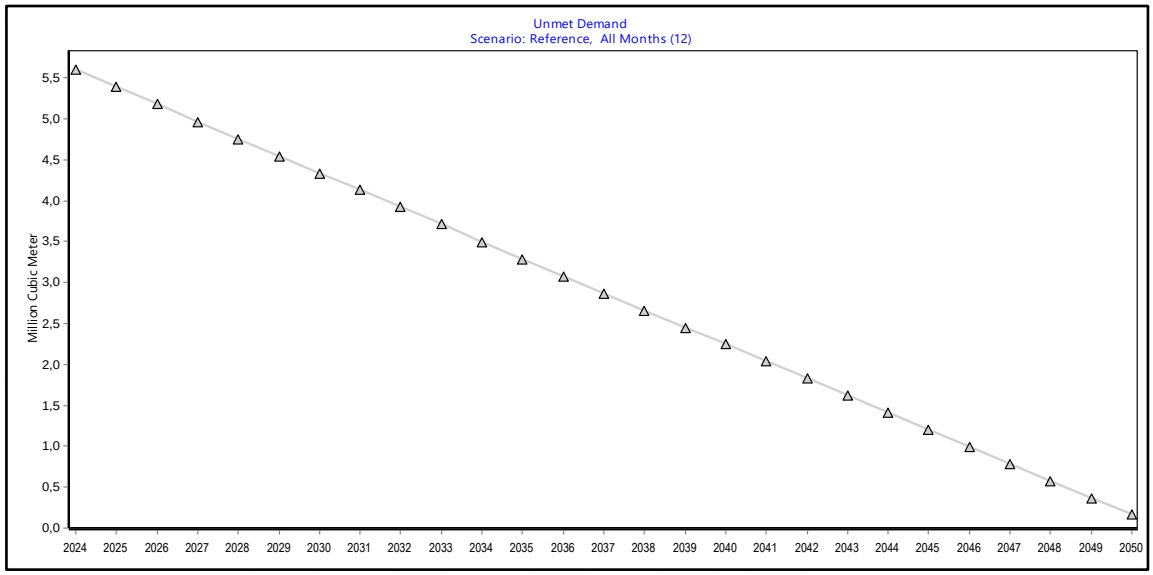
Şekil 4.18. Havza Tesisleri Yıllık Sulama Suyu Talep Grafiği (Senaryo-2)

g- Havza genelinde karşılanamayan su miktarı 35,37 hm^3 iken yıllar içerisinde doğrusal olarak azalarak 18,35 hm^3'e düştüğü hesaplandı ve Şekil 4.19'da grafik göterimi verilmiştir. Senaryo gereği sulama sistemlerinde yapılacak iyileştirmelere bağlı olarak açık kanal sulama sistemi şeklinde olan 35.373 ha tarımsal alanın kapalı borulu sisteme dönüştürülmesi neticesinde ihtiyaç duyulan ve karşılanamayan su miktarının oldukça azalmış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.19. Havza Tesisleri Yıllık Karşılanamayan Su Miktarı Grafiği (Senaryo-2)

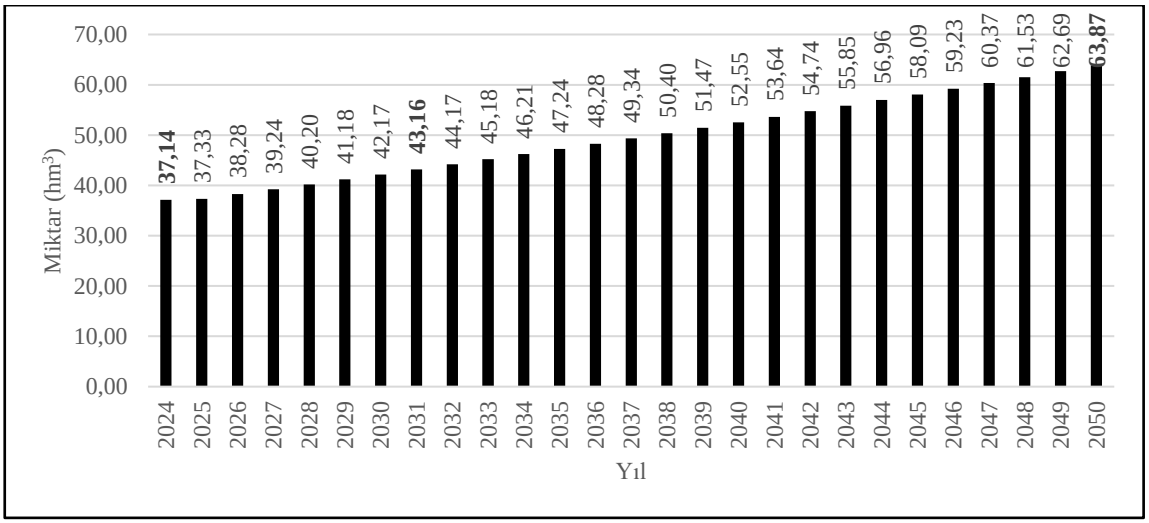
Örnek olarak, Yapıaltın Barajı'ndan alınan suyla sulama yapılan ve açık kanal sulama sistemine sahip olan tesisin sulama sisteminde yıllar bazında yapılacak iyileştirmelere bağlı olarak yıllık karşılanamayan su miktarının azalma eğiliminde olduğu görülmüş ve 2050 yılında bu miktarın yaklaşık 0,17 hm^3 olacağı hesap edilmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Yapıaltın Barajı Yıllık Karşılanamayan Su Miktarı Grafiği (Senaryo-2)

h- Sivas il merkezi yıllar itibariyle içme ve kullanma suyu durumu hesap edilmiş ve sonucu Şekil 4.21'de verilmiştir. Grafik değerlendirildiğinde, 2024 yılı için talep edilen su miktarının 37,14 hm^3 olduğu, bunun yıllar itibariyle doğrusal olarak artarak 2050 yılı için 63,87 hm^3'e yükseldiği hesaplanmıştır. Dört Eylül Barajı'ndan buharlaşarak kaybolan su miktarının 2024 yılında 0,81 hm^3 iken bunun da 2050 yılında 1,94 hm^3 olduğu hesaplanmıştır.

Tavra yeraltı suyu kaynaklarından 22,00 hm^3, Dört Eylül Barajı'ndan 13,00 hm^3 ve Pusat Özen Barajı'ndan 8,42 hm^3 olmak üzere normal koşullarda 43,42 hm^3 su temin edileceği planlandığında, geriye 20,45 hm^3 ilave bir su ihtiyacı doğmaktadır. İhtiyaç duyulan bu su miktarı Pusat Özen Barajı'ndaki içmesuyu hissesi artılıp, sulama suyu miktarı azaltılarak karşılanabilir. İkinci bir alternatif olarak, ilave bir su kaynağı olarak planlaması yapılan Beydilli Barajı'nın inşaatının yapılması gerekecektir. Grafiği incelediğimizde 2031 yılındaki su ihtiyacının 43,16 hm^3 olduğu görülmüştür. Dolayısı ile 2031 yılına kadar bir tedbir alınması zorunluluğu bulunmaktadır.



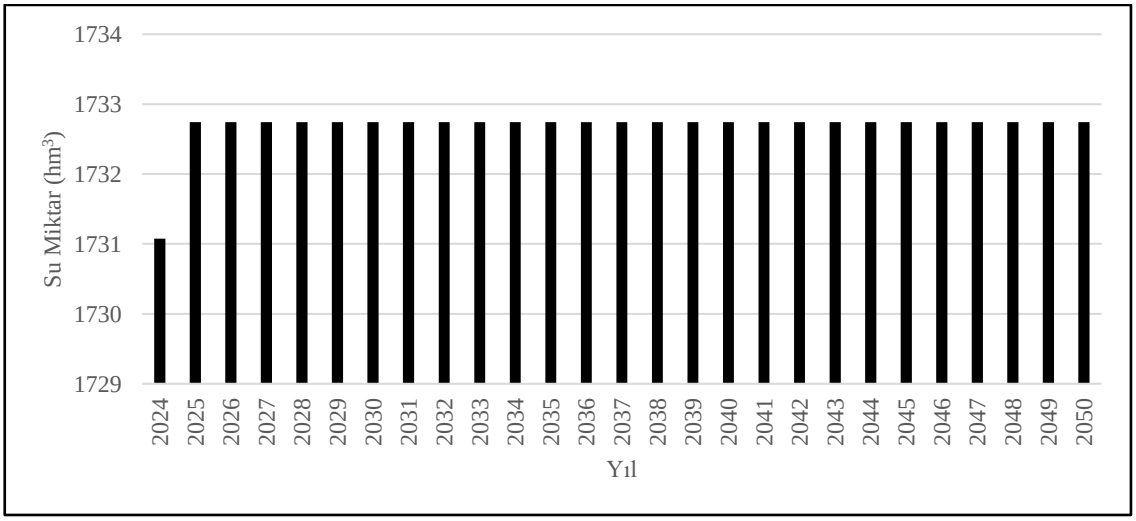
Şekil 4.21. Sivas İl Merkezi Yıllık İçme-kullanma Suyu Miktarı Grafiği (Senaryo-2)

Senaryo-3: Kötümser; Bu senaryoda, sıcaklıkların artması, yağışların azalması ve buna bağlı olarak su miktarının % 20 azalması, mevcut durumdaki 35.373 ha açık sistem sulama sistemlerinin kapalı borulu basınçlı sistemlere dönüştürülerek mevcut durumda %20-30 olan su kayıp miktarının %10'a kadar indirilebileceği durumdaki su bütçesi irdelenmiştir.

Bu senaryoda, nüfus ve günlük tüketimin arttığı (kişi başı günlük su tüketiminin 90 m^3'ten 106 m^3'e yükseleceği), içme ve kullanma suyunda mevcut durumda %41 olan kayıp miktarının da 2050 yılına kadar %20'a kadar düşeceği kabul edilerek Sivas il merkezinin içme-kullanma suyu su bütçesi irdelenmiştir.

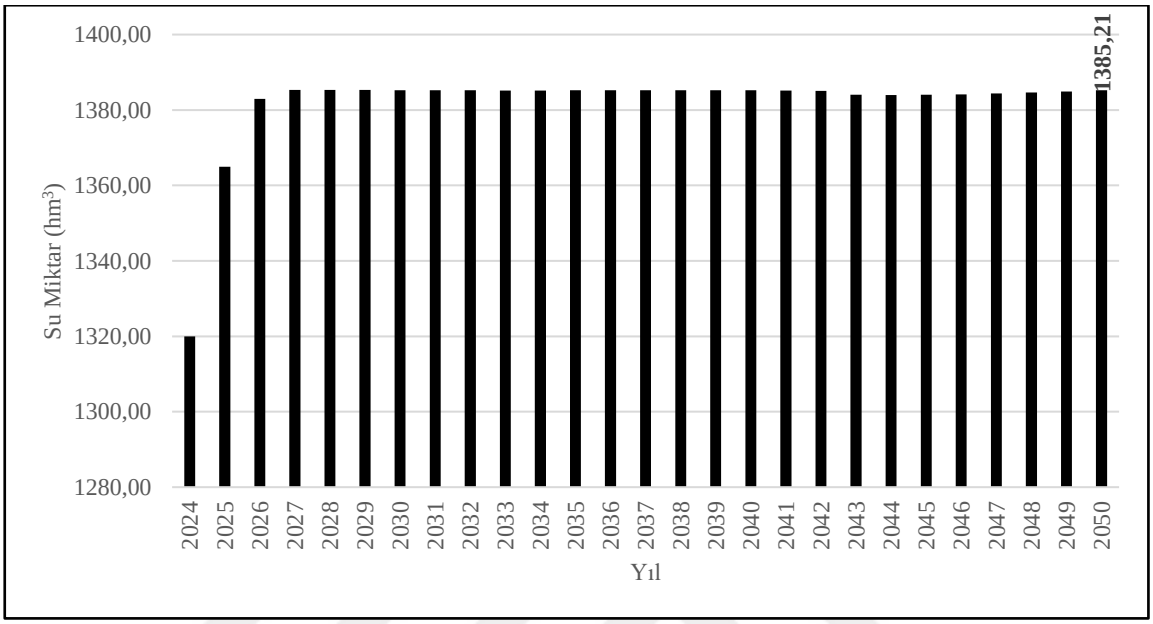
WEAP ile yapılan senaryo-3 analizi sonucunda aşağıda yer alan sonuçlar elde edilmiştir:

a- Havza genelinde yeraltı su kaynakları da dahil olmak üzere 2050 yılında 1.732,74 hm^3 su bütçesinin bulunduğu hesaplanmıştır. Yıllar itibariyle havza su bütçesi grafiği Şekil 4.22'de verilmiştir.



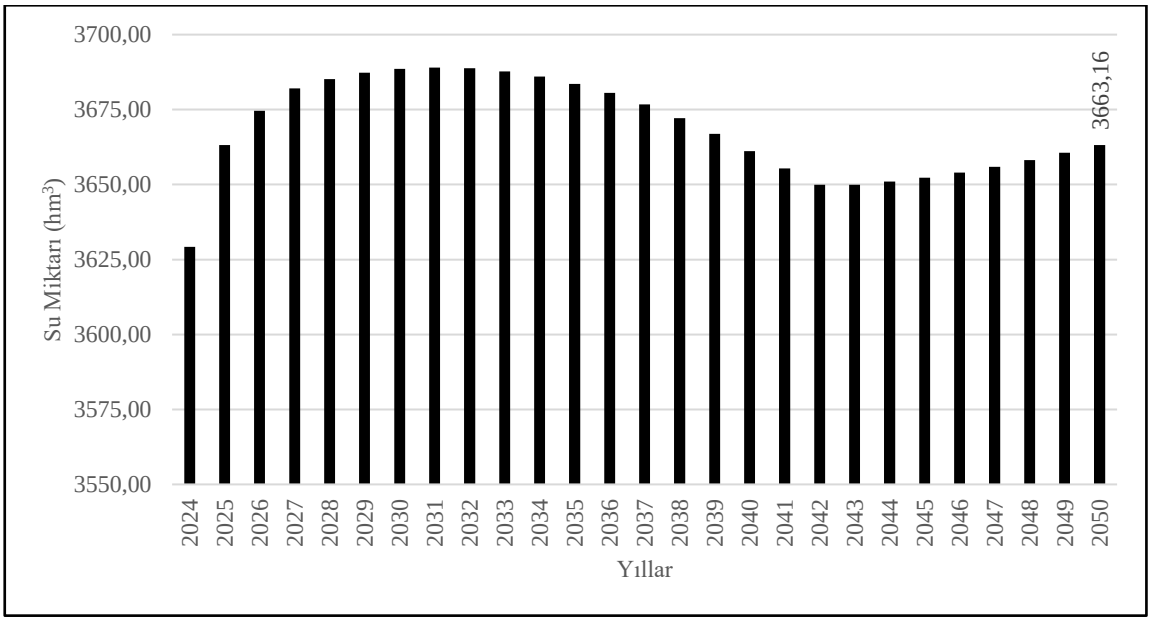
Şekil 4.22 Havza Su Bütçesi Grafiği (Senaryo-3)

b- Havza içerisindeki gelen ve çıkan su miktarlarını göz önüne aldığımızda, en önemli veri olarak Yamula Barajı'na giren suyun aylık ortalama akım verilerine göre su miktarının azaldığı ve 2050 yılı için 1.385,21 hm^3 olduğu hesap edilmiş olup, Şekil 4.23'de yıllar itibariyle durumu gösterilmiştir.



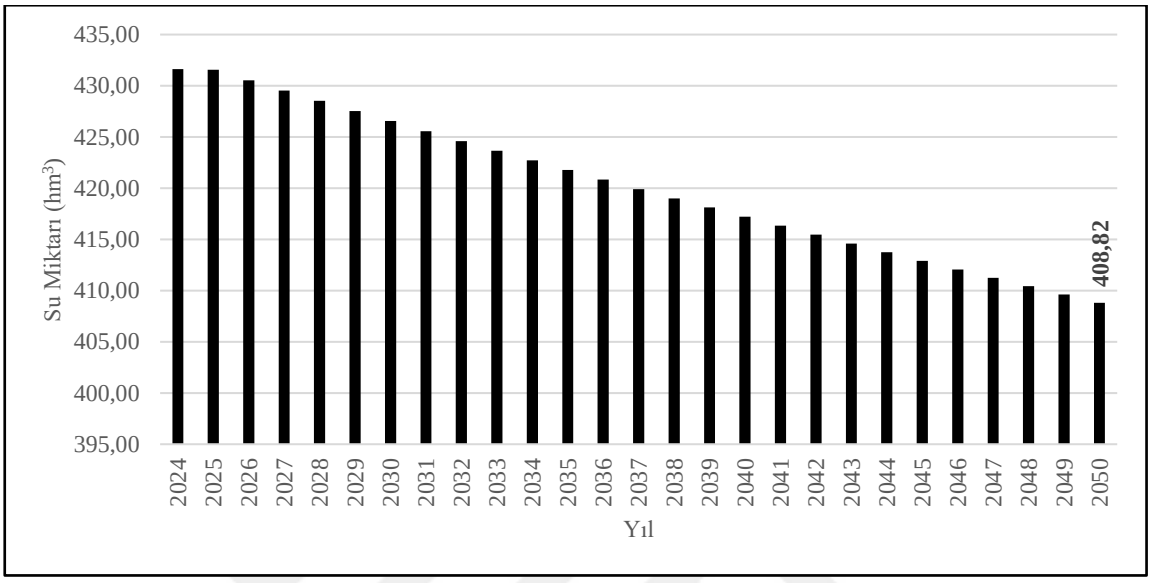
Şekil 4.23. Yamula Barajı Girişi Akım Grafiği (Senaryo-3)

c- Depolama tesislerindeki su hacminin 2050 yılında 3.663,16 hm^3 olduğu hesap edilmiştir. Şekil 4.24'de yıllar itibariyle durumu gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde 2050'li yıllara doğru depolama hacminde azalma eğilimi olduğu görülmüştür.



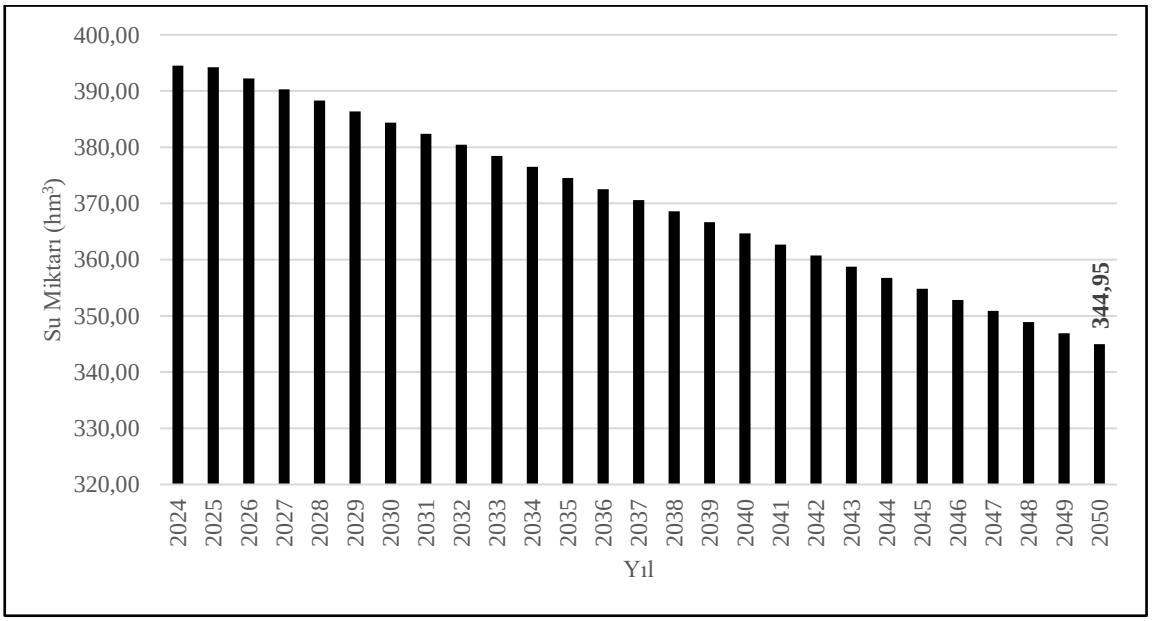
Şekil 4.24. Havza Depolama Tesisleri Yıllık Su Depolama Grafiği (Senaryo-3)

d- Tarımsal sulama ve Sivas il merkezi içme-kullanma suyu için ihtiyaç duyulan su miktarı hesap edilmiş ve sonuçları yıllar itibariyle Şekil 4.25'de gösterilmiştir. Grafiği incelediğimizde 2024 yılında 431,63 hm^3 olarak hesaplanan su ihtiyacının azalarak 2050 yılında 408,82 hm^3'e düştüğü, yıllar bazında talep edilen su miktarında bir azalma eğilimi olduğu görülmüştür.



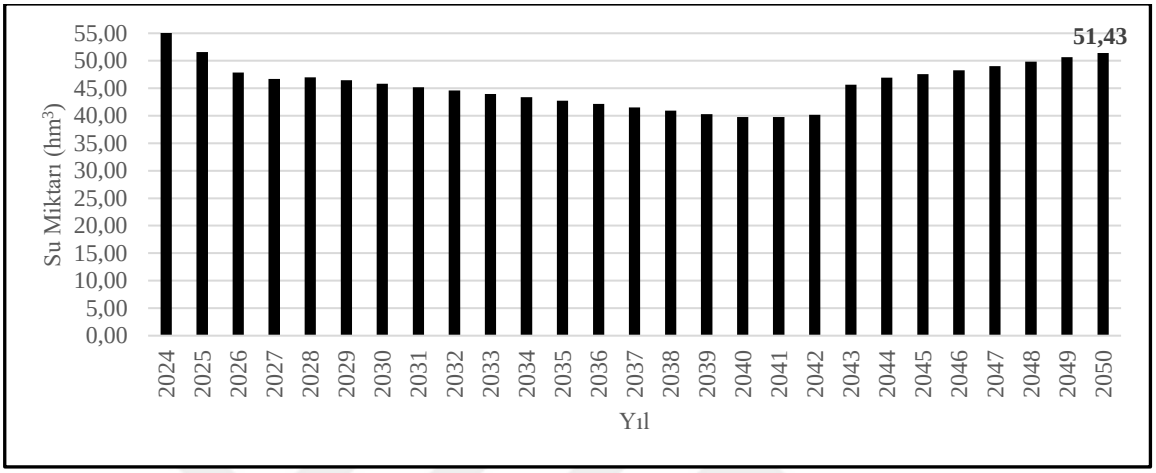
Şekil 4.25. Havza Tesisleri Su Talep Grafiği (Senaryo-3)

e- Senaryo-3 kapsamında sulama tesislerinin su ihtiyacı hesaplanmış ve Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde sulamaların tamamı için 2050 yılında 344,95 hm^3 suya ihtiyaç bulunduğu hesaplanmıştır. Sulama tesislerinde yapılacak iyileştirmelere ve yeni sulama sistemlerine bağlı olarak sulama suyu ihtiyacının 2025 yılından itabaren yıllar bazında azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.



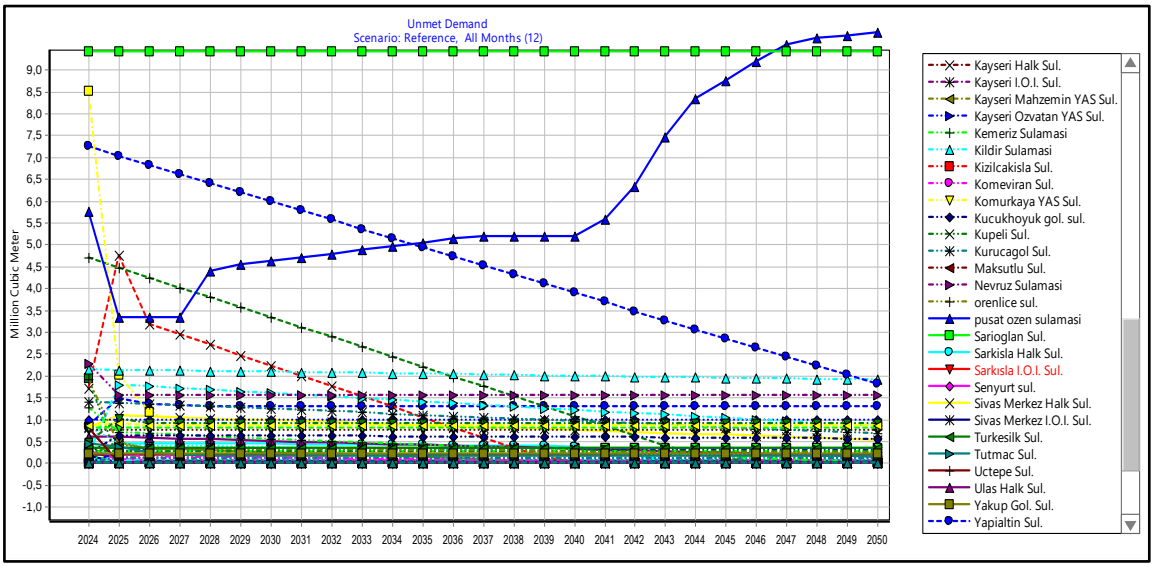
Şekil 4.26. Havza Sulama Tesisleri Yıllık Su Talep Grafiği (Senaryo-3)

f- Havza genelinde karşılanamayan su talep miktarı hesap edilmiş ve Şekil 4.27'de yıllar itibariyle toplam değerleri verilmiştir. Karşılanamayan su miktarı 2024 yılında 61,15 hm^3 iken yıllar içerisinde azalarak 51,43 hm^3'e düştüğü, su talep miktarının toplamda yıllar bazında öncelikle azalma eğiliminde olduğu, 2042 yılından sonra arttığı, ancak genelde ise 2024 yılına göre bir azalma olduğu görülmüştür.



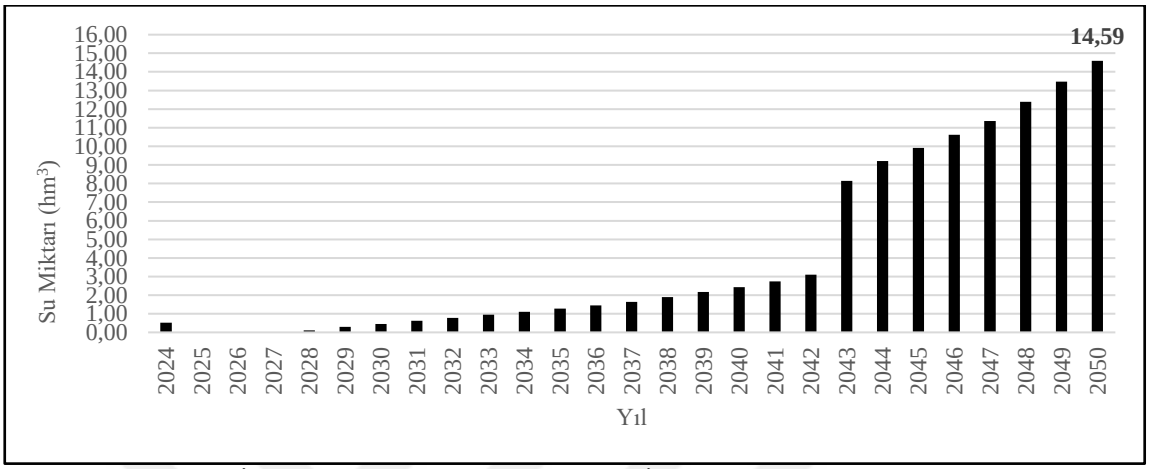
Şekil 4.27. Havza Tesisleri Yıllık Karşılanamayan Su Talep Grafiği (Senaryo-3)

Havza içerisinde yer alan sulama tesislerin karşılanamayan su ihtiyaçları Şekil 4.28'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde sulama tesislerinin yıllar bazında karşılanamayan sulama suyu miktarının açık kanal sistemli olan sulamalarda (yapılması planlanan iyileştirmelere bağlı olarak) azalma eğiliminde olduğu grafikten net bir şekilde görülmektedir. Yine içmesuyuna su verilmesi nedeniyle Pusat Özen Barajı'ndan sulama yapan Pusat Özen Sulaması'nda karşılanamayan su miktarının artış eğiliminde olduğu ve 2040 yılından sonra dikkat çekici miktarda bu artışın büyüdüğü görülmüştür.



Şekil 4.28. Sulama Tesisleri Yıllık Karşılanamayan Su Talep Grafiği (Senaryo-3)

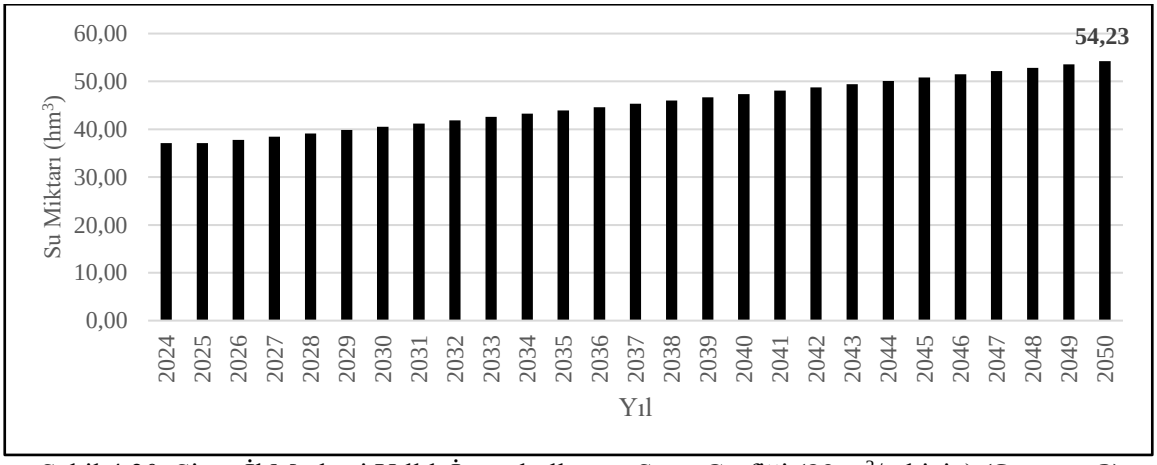
g- Sivas il merkezi içme ve kullanma suyu durumu hesap edilmiş ve Şekil 4.29'de gösterilmiştir. 2024 yılı için talep edilen su miktarının 37,14 hm^3 olduğu, bunun doğrusal olarak artarak 2050 yılı için 63,87 hm^3'e yükseldiği, karşılanamayan su miktarının 14,59 hm^3 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.29. Sivas İl Merkezi Karşılanamayan Yıllık İçme-kullanma Suyu Grafiği (Senaryo-3)

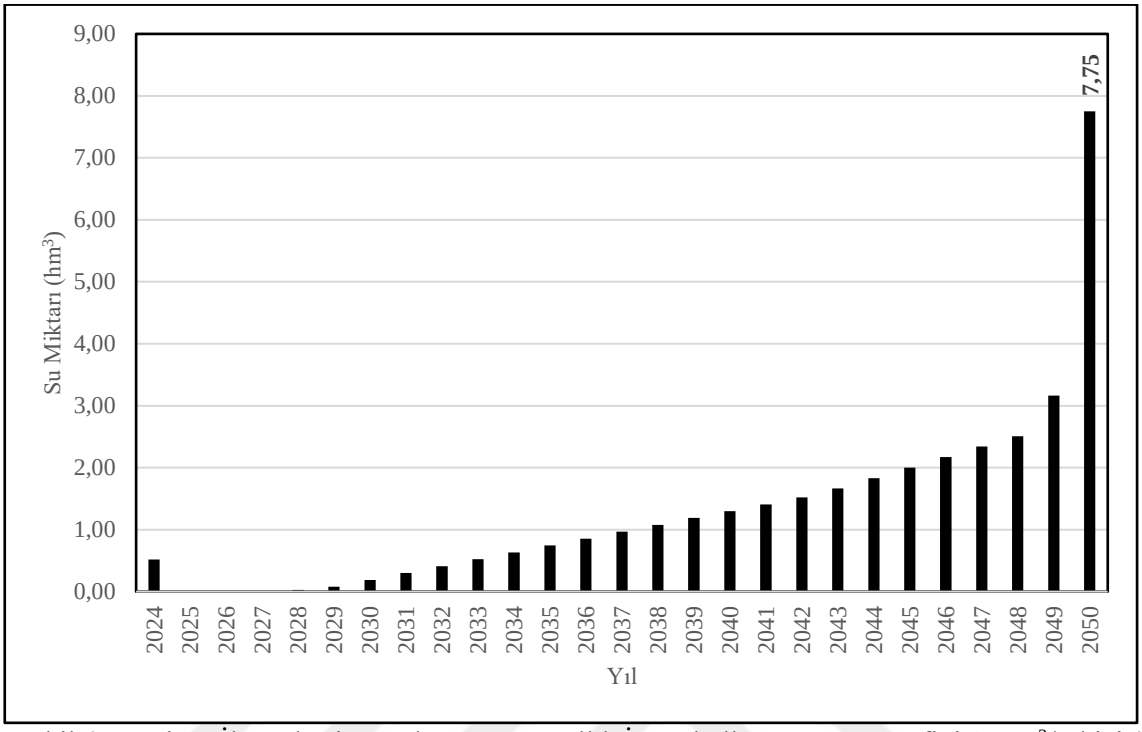
Senaryo-3 kapsamında Sivas il merkezinde kişi başına yıllık tüketilen su miktarının 90 m^3'ten 2050 yılında 106 m^3'e artacağı öngörülmüştü. Akımların azalacak olması nedeniyle kişi başına yıllık su tüketiminin artmayıp, 90 m^3 olarak kullanılacağı öngörüsü ile yapılan analizde Sivas içmesuyu talep miktarının ve karşılanamayan su miktarının azaldığı, ancak havzanın geneline ait su bütçesi, depolama tesisleri depolama hacmi ve havza çıkış noktasında Yamula Barajı girişindeki akım miktarları üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı hesaplanmıştır.

2050 yılında kişi başına su tüketiminin 90 m^3 olması durumu için Sivas il merkezi içme ve kullanma suyu durumu hesap edilmiş ve Şekil 4.30'da gösterilmiştir. 2024 yılı için talep edilen su miktarının 37,14 hm^3 olduğu, bunun doğrusal olarak artarak 2050 yılı için 54,23 hm^3'e yükseldiği görülmüştür.



Şekil 4.30. Sivas İl Merkezi Yıllık İçme-kullanma Suyu Grafiği (90 m^3/yıl için) (Senaryo-3)

Sivas il merkezinin karşılanamayan içmesuyu miktarı 7,75 hm^3 olarak hesap edilmiş olup, değişim grafiği Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31. Sivas İl Merkezi Karşılanamayan Yıllık İçme-kullanma Suyu Grafiği (90 m^3/yıl için) (Senaryo-3)

Kişi başına yıllık su tüketiminin 90 m^3 ile 106 m^3 arasında kullanımına yönelik olarak yapılan iki analiz sonucunda elde edilen ihtiyaç duyulan ve karşılanamayan su miktarlarına ait hesaplamalar Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Hesaplama incelendiğinde ihtiyaç duyulun içmesuyu miktarı 63,87 hm^3'ten 54,23 hm^3'e, karşılanamayan su miktarı ise 14,59 hm^3'ten 7,75 hm^3'e düşmüştür.

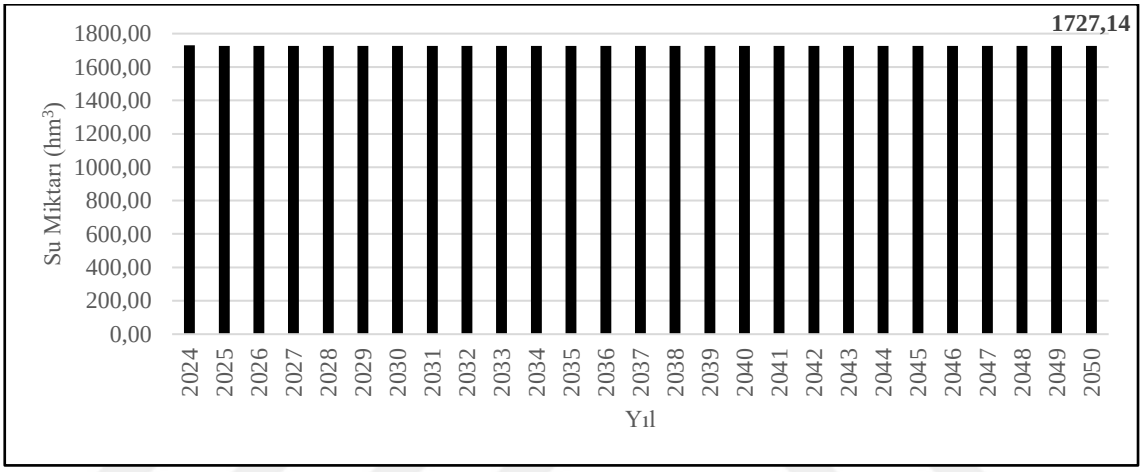
Çizelge 4.2. Sivas İçmesuyu Talep ve Karşılanamayan Su Miktarları Karşılaştırması

Kişi Başına Yıllık Su Tüketimi	2050 Yılı İhtiyaç	2050 Yılı Karşılanamayan Su Miktarı
m^3	hm^3	hm^3
106	63,87	14,59
90	54,23	7,75

Senaryo-4: Kötümser; Bu senaryoda, sıcaklıkların artması ve buna bağlı olarak yağışların ve su miktarının %20 azalması durumuna göre mevcut durumdaki su bütçesi irdelenmiştir. Sulamaların fiili durumda kullandıkları bitki su ihtiyacı esas alınarak, cazibeli açık kanal, İ.Ö.İ. ve halk sulamalarında yapılan sulama sistemlerindeki mevcut %20-30 olan kayıp miktarı ve Sivas ilçe merkezi içme ve kullanma suyunda kayıp kaçak miktarının %41 olduğu ve 2050 yılında kişi başına yıllık 106 m^3'lük tüketim durumu kabul edilmiştir.

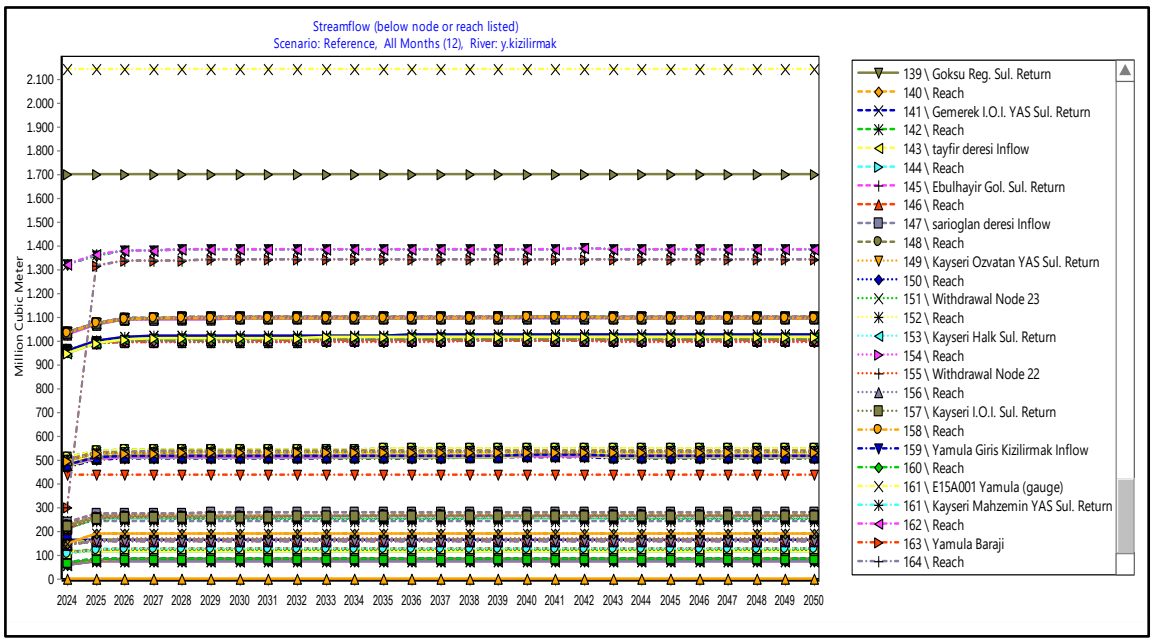
WEAP ile yapılan senaryo-4 analizi sonucunda aşağıda yer alan sonuçlar elde edilmiştir:

a- Havza genelinde yeraltı su kaynakları dahil 2050 yılında 1.727,14 hm^3 su bütçesinin bulunduğu hesap edilmiş olup, Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



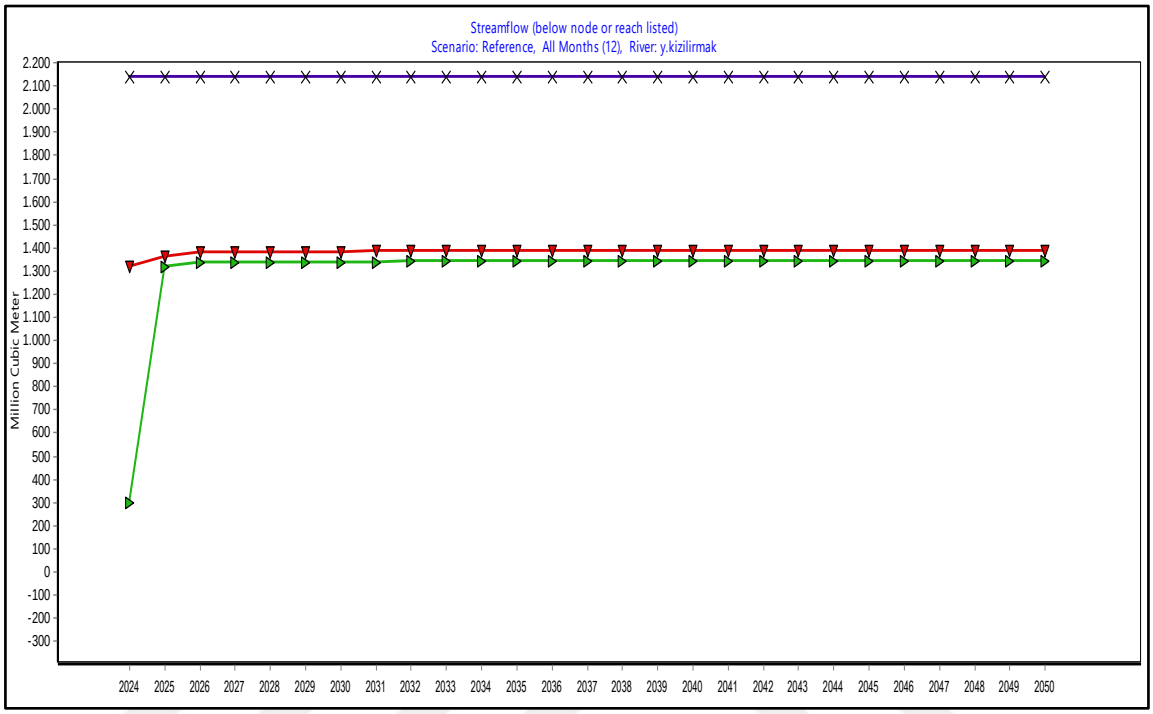
Şekil 4.32. Havza Su Bütçesi Grafiği (Senaryo-4)

b- Havza içerisindeki gelen ve çıkan su miktarları hesap edilmiş ve Şekil 4.33'de gösterilmiştir.



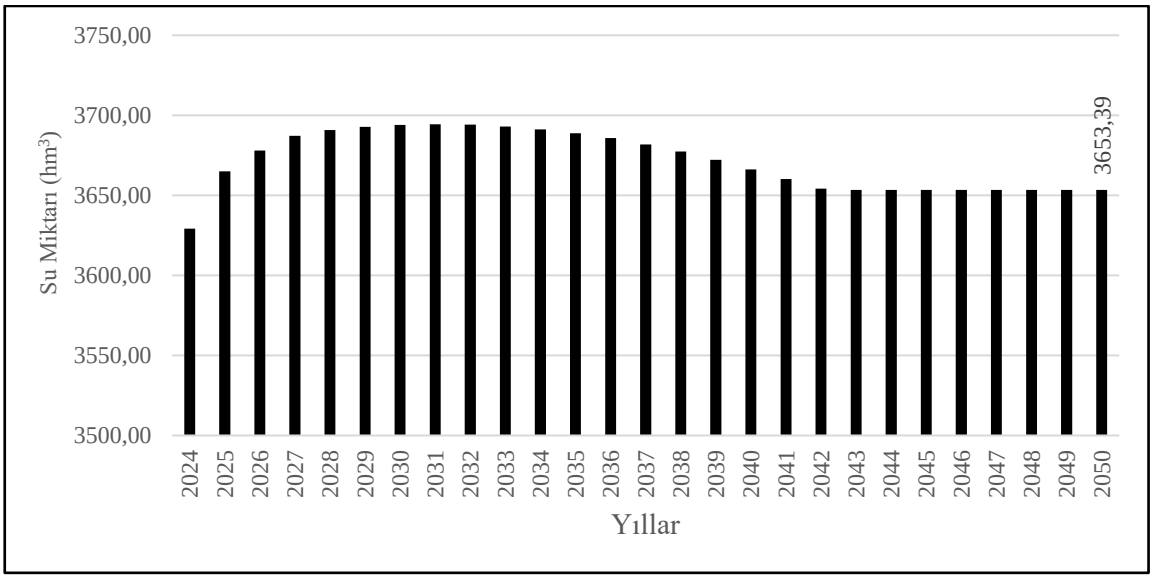
Şekil 4.33. Havza Nehirleri Su Miktarları Grafiği (Senaryo-4)

Havzanın farklı noktalarındaki akarsuların su miktarı için yapılmış olan hesaplamalarda, değerlendirme için Yamula Barajı'na giriş lokasyon bölgesi esas alındığında, bu noktada aylık ortalama akım verilerine göre su miktarı azalmakta olup, 2050 yılı için 1.385,11 hm^3 olarak hesap edilmiştir. Bu durum Şekil 4.34'de gösterilmiştir.



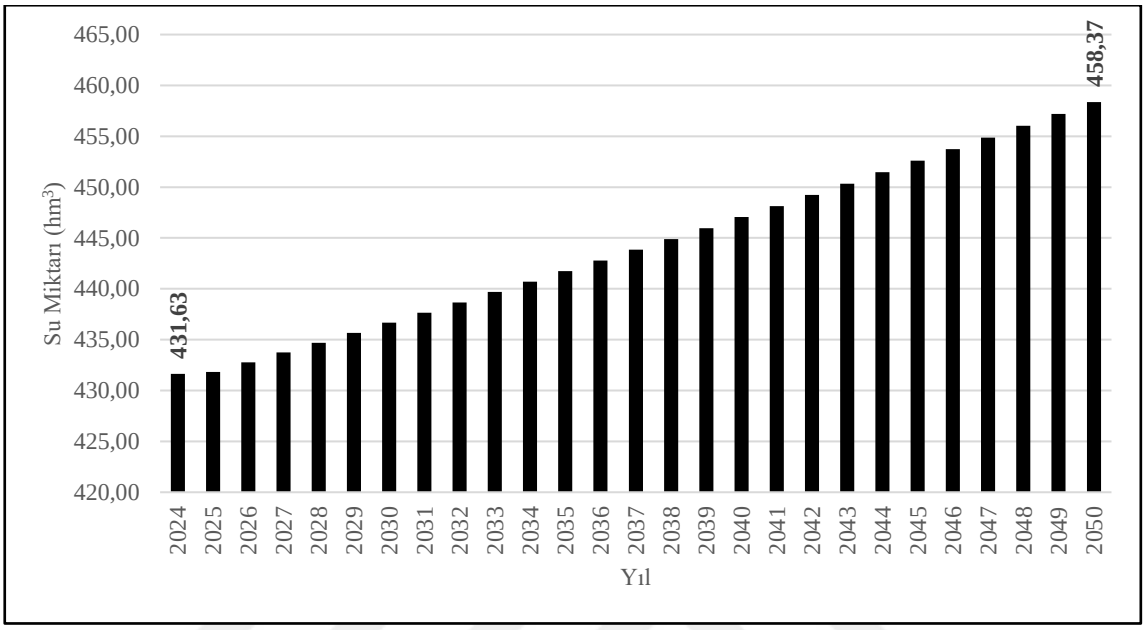
Şekil 4.34. Yamula Barajı Giriş Akımları Grafiği (Senaryo-4)

c- Depolama tesislerindeki su hacimleri Şekil 4.35'te gösterilmiş olup, 2050 yılında toplam 3.653,39 hm^3 su miktarı olduğu hesap edilmiştir.



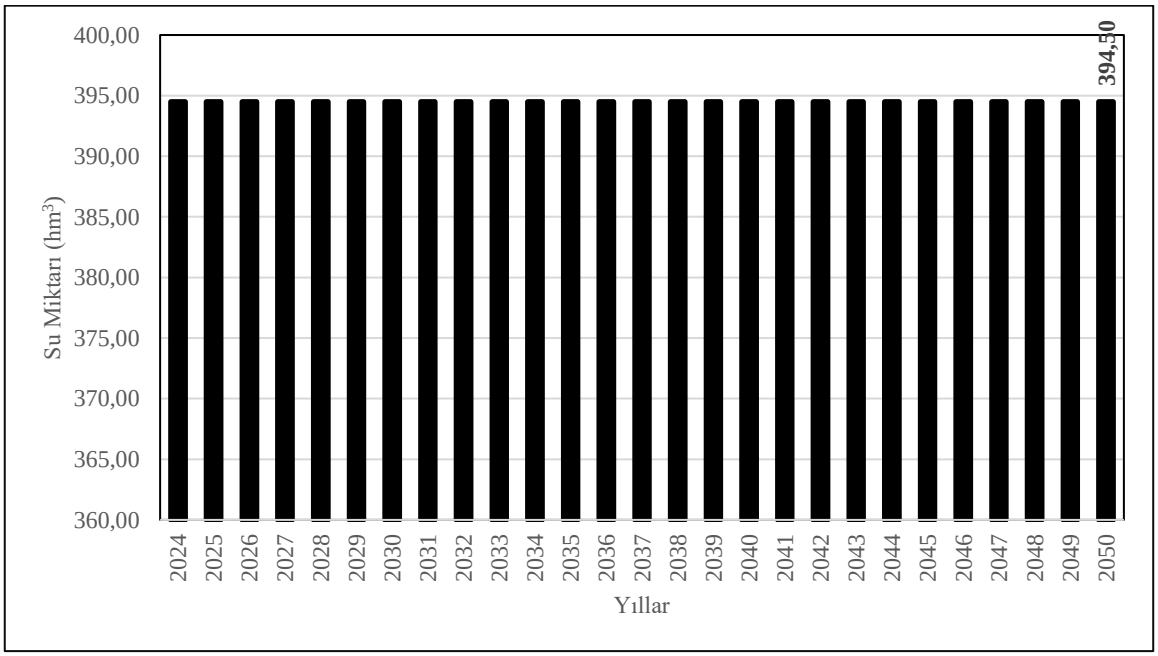
Şekil 4.35. Havza Depolama Tesisleri Yıllık Su Depolama Grafiği (Senaryo-4)

d- Yukarı Kızılırmak Havzasında yer alan tarımsal sulama ve Sivas il merkezi içme-kullanma suyu için ihtiyaç duyulan su miktarı hesap edilmiş ve sonuçları Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde talep edilen su miktarının artış eğiliminde olduğu, 2024 yılında 431,63 hm^3 iken, artarak 2050 yılında 458,37 hm^3'e yükseldiği hesaplanmıştır.



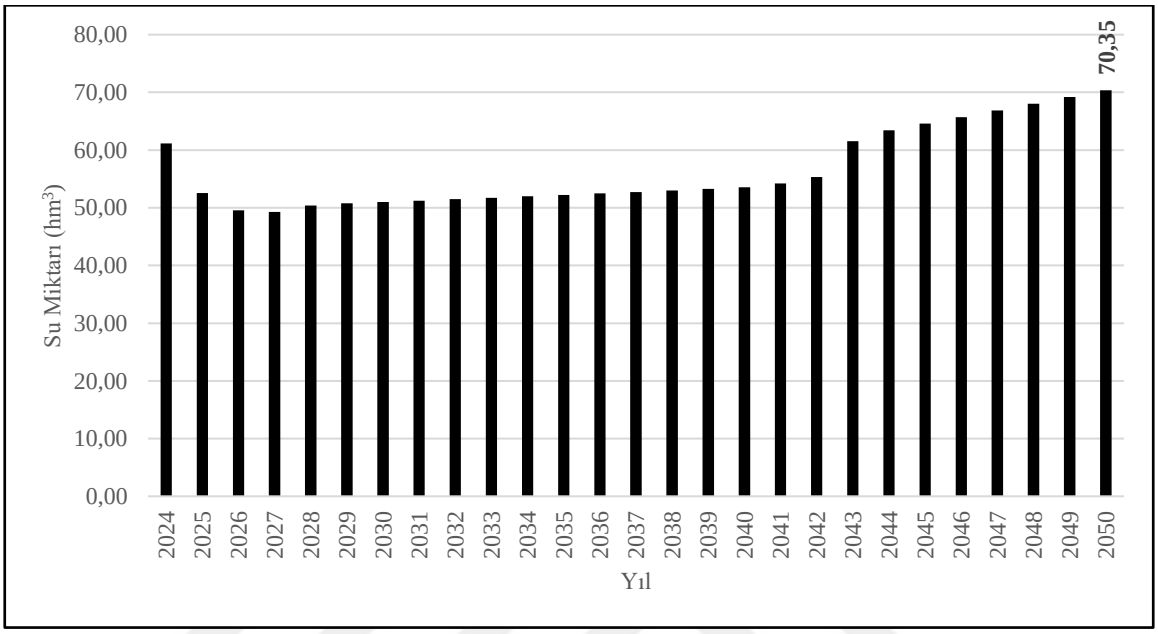
Şekil 4.36. Havza Tesisleri Yıllık Su Talep Grafiği (Senaryo-4)

e- Sulamaların tamamı için 2050 yılında 394,50 hm^3 suya ihtiyaç bulunduğu hesap edilmiştir. Yıllar itibariyle ihtiyaç grafiği Şekil 4.37'de gösterilmiştir.



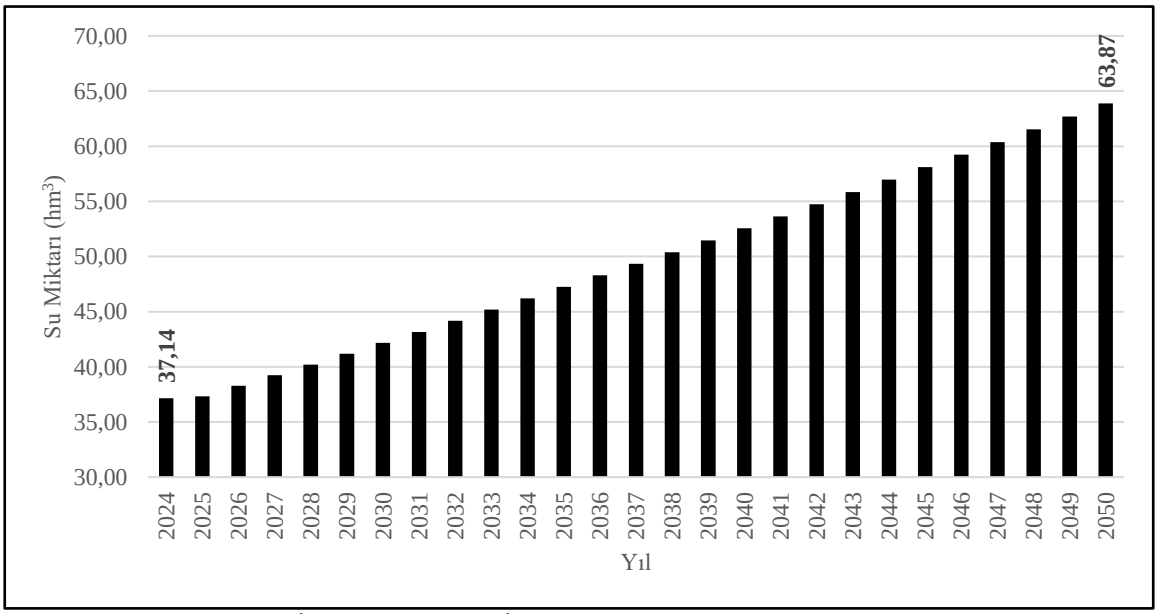
Şekil 4.37. Sulama Tesisleri Yıllık Su Talep Grafiği (Senaryo-4)

f- Havza genelinde karşılanamayan su miktarı yıllar itibariyle hesap edilmiş ve Şekil 4.38'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, karşılanamayan su miktarının artış eğiliminde olduğu ve 2024 yılında 61,15 hm^3 olan karşılanamayan su miktarının yıllar içerisinde artarak 70,35 hm^3'e yükseldiği hesaplanmıştır.



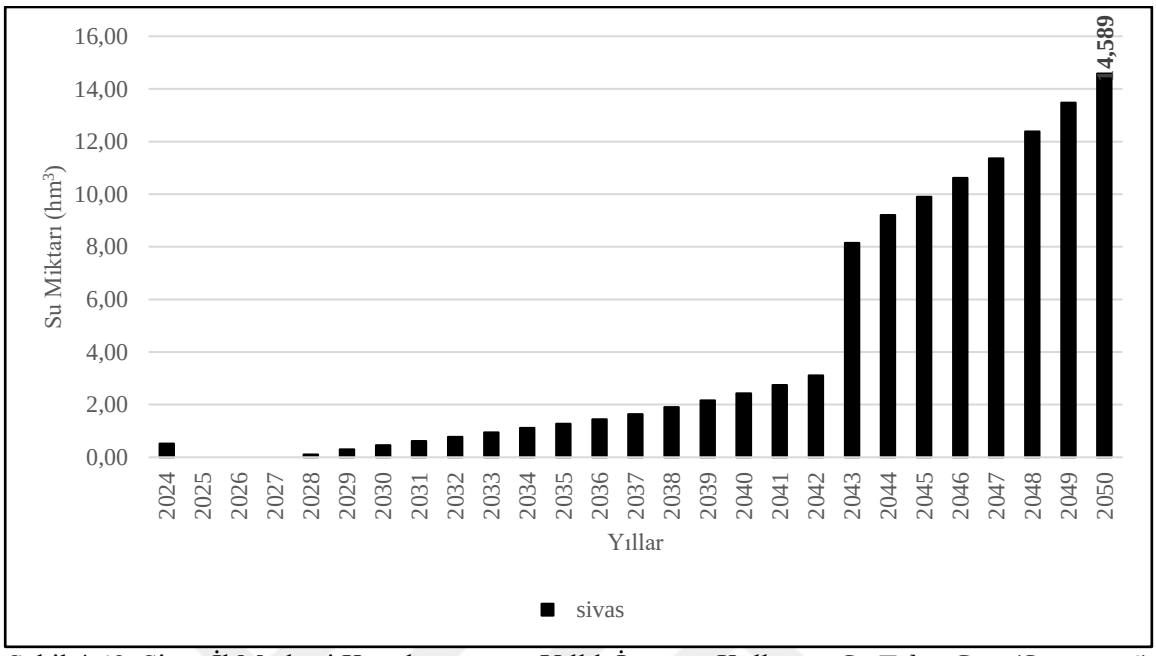
Şekil 4.38. Havza Tesisleri Karşılanamayan Yıllık Su Talep Grafiği (Senaryo-4)

g- Sivas il merkezi içme ve kullanma suyu durumu hesap edilmiş, 2024 yılı için talep edilen su miktarının 37,14 hm^3 olduğu, bunun doğrusal olarak artarak 2050 yılı için 63,87 hm^3'e yükseldiği hesaplanmıştır (Şekil 4.39).



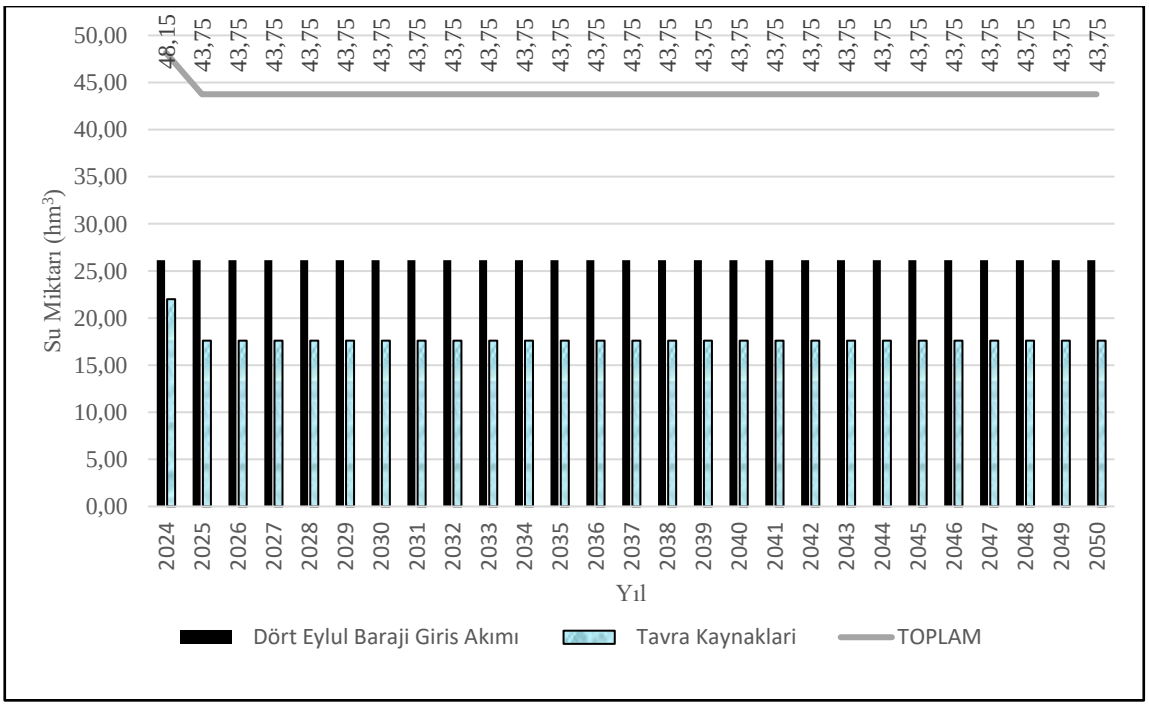
Şekil 4.39. Sivas İl Merkezi Yıllık İçme ve Kullanma Su Talep Grafiği (Senaryo-4)

Yapılan hesaplama sonucunda karşılanamayan içme kullanma suyu miktarının yıllar itibariyle arttığı ve 2050 yılında 14,59 hm^3 olduğu görülmüştür (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. Sivas İl Merkezi Karşılanamayan Yıllık İçme ve Kullanma Su Talep Gra. (Senaryo-4)

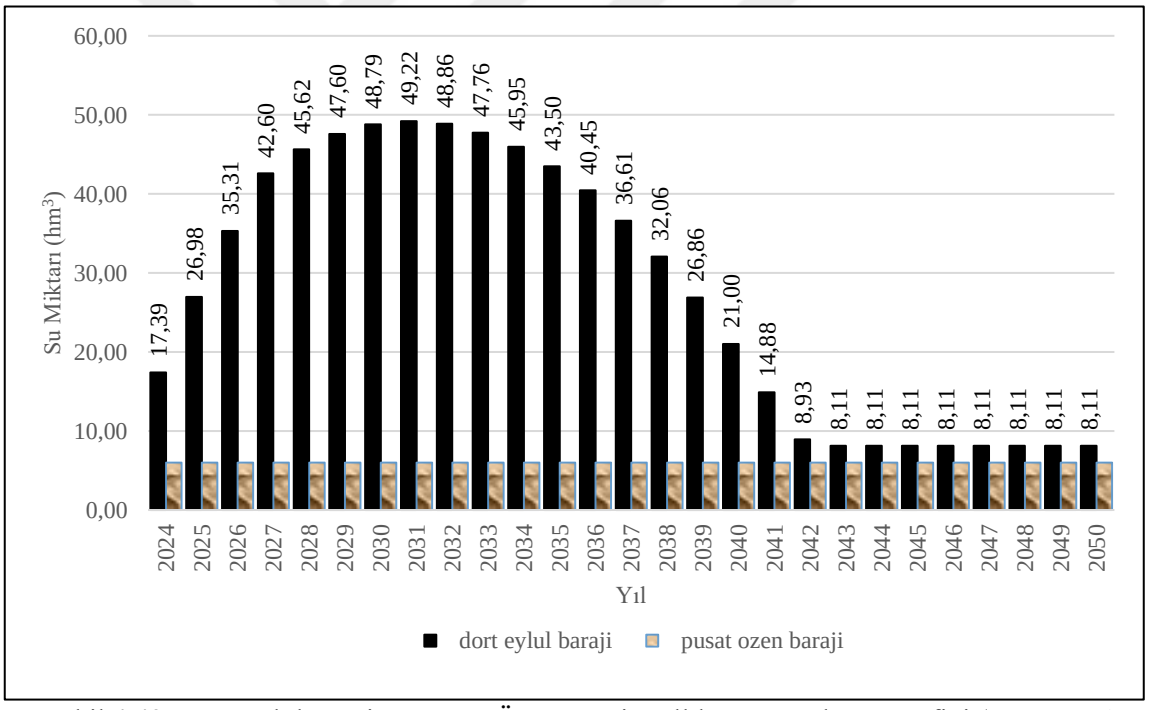
Akımların %20 azalacağı öngörüsüne bağlı olarak Sivas il merkezine içmesuyu temin eden Dört Eylül Barajı göl alanına giren su miktarları ve Tavra Kaynaklarının beslenimine ait yıllık su grafiği Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.41. Dört Eylül Barajı ve Tavra Kaynakları Yıllık Akımları Grafiği (Senaryo-4)

Sivas il merkezine içmesuyu temin eden Dört Eylül ve Pusat Özen Barajlarına ait su depolama grafiği Şekil 4.42'de verilmiştir. Akımların %20 azalması dikkate alınarak Pusat Özen Barajı havzasından yıllık 42,97 hm^3 suyun baraj göl alanına gireceği ön görülmüştür. Bu barajdan yapılan sulamanın su ihtiyacı 41,45 hm^3 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda gelen suların sulamada kullanılması nedeniyle baraj hacminde önemli bir oranda hacim artışı olmamaktadır. Buharlaşma da dikkate alınırsa her sene gelen su sadece sulamaya bile yetmemekte ve depolama hacmi artmamaktadır.

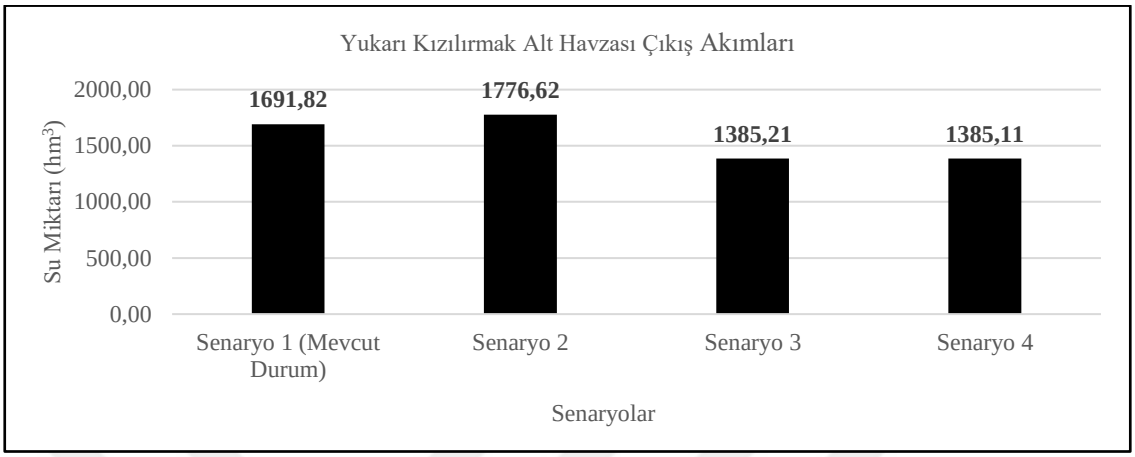
Dört Eylül Barajı'nda ise başlangıçta depolama hacminde 2031 yılına kadar artış olurken, Sivas il merkezinin artan içme kullanma suyu ihtiyacına bağlı olarak bu yıldan sonra düşüş eğilimine girmektedir. Bu düşüş 2041 yılına kadar hızlı bir düşüş eğiliminde iken, 2042 yılından itibaren yatay seyretmektedir. Su ihtiyacının artması, depolama tesisi hacminin yatay seyretmesi ve depolanan su miktarındaki azalmaya bağlı olarak 2042 ile 2043 yılları arasındaki karşılanamayan su miktarındaki artışın diğer yıllara göre daha büyük bir artış oranına sahip olduğu, dikkat çekecek şekilde sıçrama yaptığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.42. Dört Eylül Barajı ve Pusat Özen Barajı Yıllık Su Depolama Grafiği (Senaryo-4)

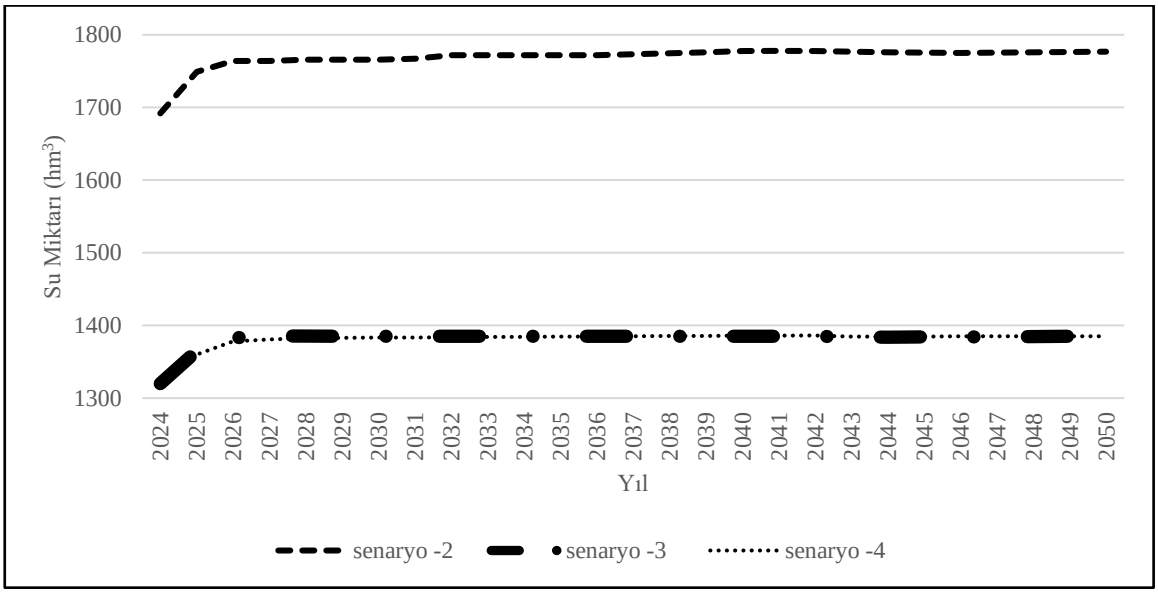
Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda 2024 ile 2050 yılları arasındaki senaryolara göre durum incelendiğinde; havzanın mansabında yer alan Yamula Barajı esas alındığında, 4 farklı senaryo durumuna bağlı olarak havza çıkışındaki akım miktarları Şekil 4.43'de verilmiştir. Mevcut durumda 1.691,82 hm^3 olan akım miktarı, açık sulama sistemine sahip tesislerdeki su kayıpları ile Sivas il merkezi içme suyundaki kayıp kaçak miktarının %20 ye düşürülmesi halinde senaryo-2'de 1.776,62 hm^3 olmakta, eğer bu su kayıp değerlerinde bir iyileştirme yapılmazsa ve iklim değişikliğine bağlı olarak akımlarda %20 oranında bir azalma meydana gelirse bu değer senaryo-3

ve senaryo-4'te 1.385,11 hm^3'e düşmektedir. Yamula Barajı girişindeki havza çıkış akımları yıllar bazında değerlendirildiğinde; senaryo-3 ve senaryo-4 durumundaki akımlar, senaryo-2'den daha düşüktür.



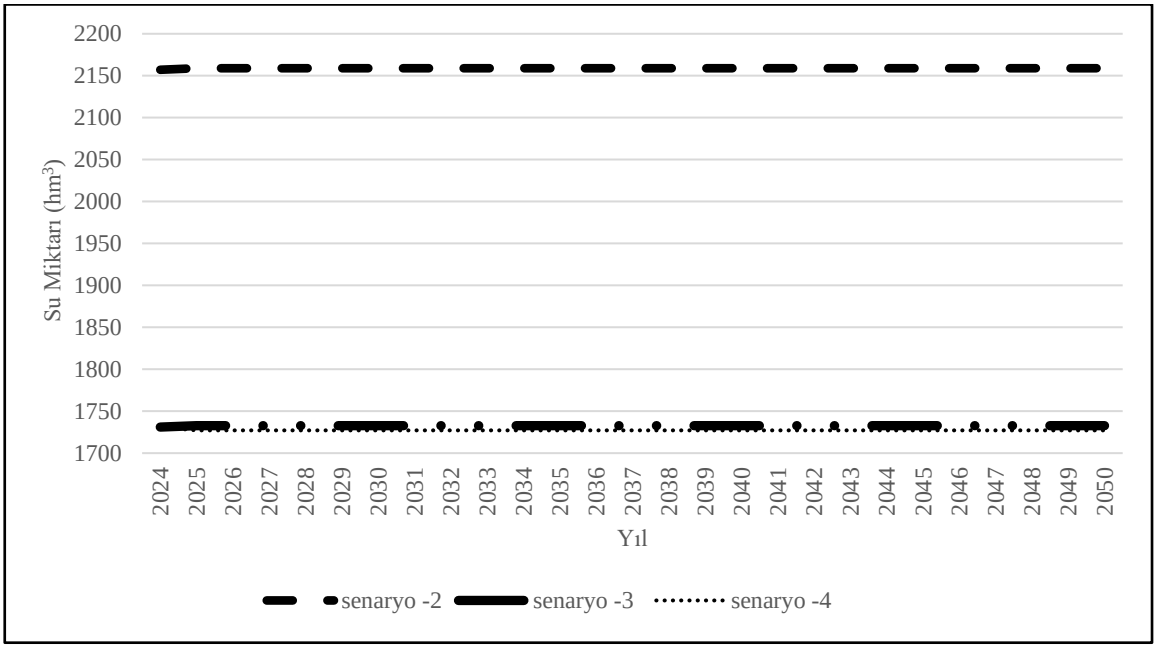
Şekil 4.43. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Çıkış Akımları

Havzanın mansabında yer alan Yamula Barajı girişindeki havza çıkış akımları yıllar itibariyle değişimi grafik olarak Şekil 4.44'de verilmiştir. Grafik yıllar bazında incelendiğinde, 2024 yılında Senaryo-2 durumunda 1.691,82 hm^3 olan akım miktarının, 2050 yılında 1.776,72 hm^3 olduğu, Senaryo-3 ve Senaryo-4 durumunda ise 2050 yılında yaklaşık olarak 1.385,00 hm^3 olduğu hesaplanmıştır. Senaryo-3 ve senaryo-4 durumundaki akımların senaryo-2'den daha düşük olduğu görülmüştür.



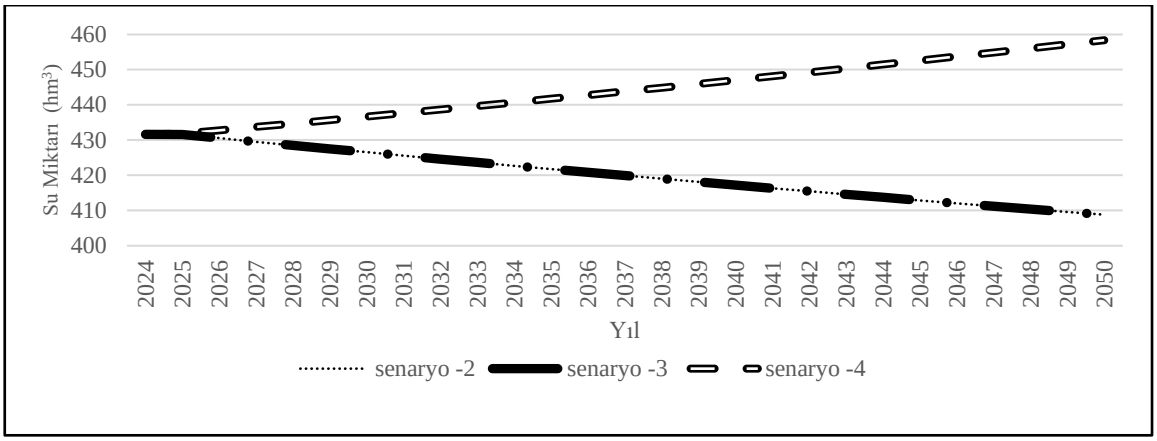
Şekil 4.44. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Yıllar Bazında Yamula Barajı Girişi Akımları

Havzada yer alan yüzeysel sulamalar ve YAS'da dahil olmak üzere talep bölgelerinden geri gelen dönüş suları da esas alınarak yıllar bazında yapılan havza su bütçesi grafiği Şekil 4.45'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, havza içerisindeki su miktarı senaryo-2 durumunda 2050 yılında 2.159,00 hm^3 iken, senaryo-3 durumunda 1.733,00 hm^3 ve senaryo-4 durumunda 1.727,00 hm^3 hesaplandığı, yaklaşık aynı olduğu ve bu değerlerin senaryo-2'de ki değerinden daha düşük olduğu, havza su miktarının senaryo-2 durumunda daha yüksek, senaryo-3 ile senaryo-4 durumunda yaklaşık aynı ve senaryo-2'de ki değerden daha düşük olduğu hesaplanmıştır.



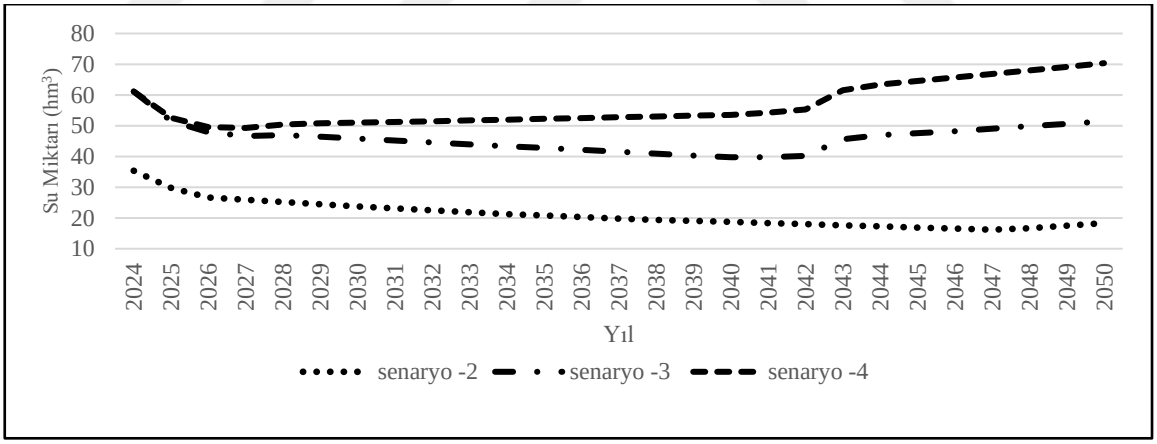
Şekil 4.45 Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Yıllar Bazında Havza Su Bütçesi

Havza içerisinde yer alan talep bölgelerinin sulama suyu ve içme-kullanma suyu su ihtiyacı grafik olarak Şekil 4.46'da verilmiştir. Grafik yıllar bazında incelendiğinde, 2024 yılında 432,00 hm^3 olan su talebinin, 2050 yılında Senaryo-2 ve Senaryo-3 durumunda 409,00 hm^3, Senaryo-4 durumunda 458,00 hm^3 olarak hesaplanmıştır. Senaryo-2 ve senaryo-3 durumunda yaklaşık olarak aynı değerde ve taleplerin düşüş eğiliminde olduğu, senaryo-4 durumunda ise su talebinin en yüksek olduğu ve yıllar itibariyle yükseliş eğilimde olduğu görülmüştür.



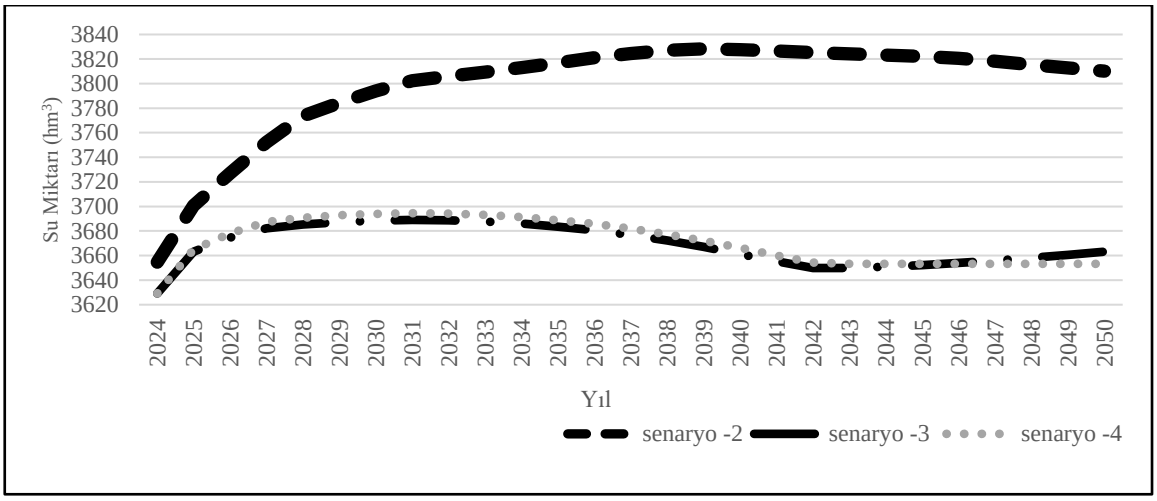
Şekil 4.46 Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Yıllar Bazında Su Talep Miktarı

Sulama ve içmesuyu temini gibi talep bölgelerinin karşılanamayan su ihtiyaçları grafik olarak Şekil 4.47'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde 2050 yılı için karşılanamayan su miktarının senaryo-2 durumunda 18,00 hm^3, senaryo-3'te 51,00 hm^3 ve senaryo-4 durumunda 70,00 hm^3 olduğu görülmektedir. Yıllar bazında karşılanamayan su miktarı değerlendirildiğinde, senaryo-2'de bir azalma eğilimi olduğu, senaryo-3 ve senaryo-4'te ise bir artış eğilimi olduğu, tüm senaryolar beraber değerlendirildiğinde ise ihtiyaç olup da karşılanamayan su miktarının en az olduğu senaryonun 2 nolu, en çok olduğu senaryonun ise 4 nolu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.47. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Karşılanamayan Su Miktarları

Depolama tesislerine ait rezervuar hacimlerine ait yıllar itibariyle değişim grafiği Şekil 4.48'de verilmiştir. 2050 yılındaki depolama hacimleri değerlendirildiğinde, senaryo-2 durumunda 3.810,00 hm^3, senaryo-3'te 3.663,00 hm^3 ve senaryo-4 durumunda 3.653,00 hm^3 olduğu görülmüştür. Yıllar bazında incelendiğinde, senaryo-2 de toplam depolama hacminde bir artış varken, senaryo-3 ve senaryo-4'te ise toplam depolama hacimlerinde bir azalma ve düşüş eğiliminin olduğu görülmüştür.



Şekil 4.48. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Depolama Tesisleri Hacimleri

Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu'nda havza su bütçesi ve sulamalar için ihtiyaç duyulan su miktarları hesaplamaları yapılmış ve Çizelge 4.3'de verilmiştir (DSİ, 2018). Çizelge 4.3 incelendiğinde; Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nın doğal akımı 2.124,30 hm^3 olarak hesaplanmış olup, toplam akım değeri 7.004,10 hm^3 olan Kızılırmak Havzası'nın % 30,30'unu teşkil etmektedir. Yine aynı raporda, mevcut durum çıkış akımlarını incelediğimizde Kızılırmak Havzası'nın 5.106,40 hm^3 ve Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nın çıkış akımı ise 1.789,60 hm^3 olarak hesaplanmış ve bu değerde tüm havzanın % 35'ini teşkil etmektedir. Gelişmeli durumda ise Yukarı Kızılırmak Alt Havzası çıkış akımının 1.322,20 hm^3 olarak hesap edilmiştir.

Çizelge 4.3. Kızılırmak Havzası Su Bütçesi (Kızılırmak Havzası Master Plan) (DSİ, 2018).

Alt Havza	Alt Havza Yağış Alanı	Alt Havza Doğal Akımı	Mevcut Durum Çıkış Akımı	Gelişmeli Durum Çıkış Akımı	Havzalar ve Alt Havzalar Arası Su Aktarımı	Mevcut Durum Su Tüketimi	Gelişmeli Durum Su Tüketimi
	km^2	hm^3/yıl	hm^3/yıl	hm^3/yıl	hm^3/yıl	hm^3/yıl	hm^3/yıl
	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1) - (2)	(1) - (3) + (4)
Yukarı Kızılırmak	15.624,5	2.124,3	1.789,6	1.322,2	-435,3	334,7	366,8
Orta Kızılırmak	22.264,5	1.248,5	584,1	120,9	-27,7	664,3	1.099,9
Delice Çayı	17.270,8	744,8	606,3	569,9	237,7	138,6	412,7
Aşağı Kızılırmak	21.982,2	2.615,9	1.927,1	1.710,4	0,0	688,8	905,5
Develi Kapalı	3.079,9	194,5	138,3	148,0	100,8	56,2	147,3
Seyfe Kapalı	1.481,1	56,0	43,5	54,7	225,3	12,5	226,5
Tuzla Kapalı	478,5	20,2	17,6	21,6	60,4	2,6	59,0
Toplam	**82.181,5**	**7.004,1**	**5.106,4**	**3.947,6**	**161,2**	**1.897,7**	**3.217,7**

WEAP ile Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda uzun yıllara ait aylık doğal akımlar kullanılarak yapılan modellemede 2.157,10 hm^3 su bütçesinin bulunduğu hesaplanmıştır. WEAP modeli kullanılarak hesaplanan 2.157,10 hm^3 değeri ile raporda hesaplanmış olan 2.124,30 hm^3 değerlerinin birbiri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda 2024 ile 2050 yılları arasındaki senaryolara göre havzanın mansabında yer alan Yamula Barajı giriş akımları esas alındığında, WEAP programı ile 4 farklı senaryo durumuna bağlı olarak hesaplanan havza çıkışındaki akım miktarları Şekil 4.39'da verilmiştir. Mevcut durumda 1.691,82 hm^3 olan akım miktarı, eğer tesislerde bir iyileştirme yapılmazsa ve iklim değişikliğine bağlı olarak akımlarda %20 oranında bir azalma meydana gelirse bu değer 1.385,11 hm^3'e düşmektedir.

Sulama tesislerinin su ihtiyaçları ile ilgili olarak Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu'ndaki hesaplamalar ile WEAP modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar karşılaştırıldığında;

Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu'nda; mevcut tesislerin su ihtiyacı Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelgeyi incelediğimizde havza içerisinde yer alan sulama tesislerinden DSİ YÜS 231,49 hm^3, İ.Ö.İ. Gölet 21,50 hm^3, İ.Ö.İ. YÜS 47,62 hm^3, halk sulamaları 46,79 hm^3, DSİ YAS 3,15 hm^3 ve İ.Ö.İ. YAS 0,16 hm^3 olmak üzere sulama tesislerinin ihtiyaç duyduğu su miktarı 350,71 hm^3 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Sulama Tesisleri Mevcut Su İhtiyaçları (hm^3) (DSİ,2018)

Havza Adı	Sulama Adı							
	DSİ YÜS	İÖİ Gölet	DSİ YAS	İÖİ YAS	İÖİ YÜS	HES Mansap Su Hakları Kapsamındaki Halk Sulamaları	Halk Sulama	TOPLAM
	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)
Yukarı Kızılırmak	231,49	21,50	3,15	0,16	47,62	5,88	40,91	**350,71**

Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu'nda; sulama tesislerinin gelecek dönemlerdeki yeni önerilen projeleri de kapsayacak şekildeki su ihtiyacı Çizelge 4.5'de verilmiştir. Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu'nda 18.700 ha saha yeni proje olarak öngörülmüştür. Çizelgeyi incelediğimizde havza içerisinde yer alan sulama tesislerinden DSİ YÜS 305,08 hm^3, İ.Ö.İ. Gölet 17,85 hm^3, İ.Ö.İ. YÜS 12,26 hm^3, halk sulamaları 15,42 hm^3, DSİ YAS 3,15 hm^3, İ.Ö.İ. YAS 0,16 hm^3 ve yeni önerilen projeler 33,01 hm^3 olmak üzere sulama tesislerinin ihtiyaç duyduğu su miktarı 386,93 hm^3 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. Sulama Tesisleri Gelecek Su İhtiyaçları (hm^3) (DSİ,2018)

Havza Adı	Sulama Adı								
	DSİ YÜS	İÖİ Gölet	DSİ YAS	İÖİ YAS	İÖİ YÜS	HES Mansap Su Hakları Kapsamında Halk Sulamaları	Halk Sula.	Yeni Önerilen Projeler	Toplam
	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)
Yukarı Kızılırmak	305,08	17,85	3,15	0,16	12,26	0,91	14,51	33,01	**386,93**

Raporda yer alan mevcut ve gelecekteki su ihtiyaçlarını kıyasladığımızda (Çizelge 4.4 ile Çizelge 4.5 karşılaştırdığımızda); DSİ YAS ve İ.Ö.İ. YAS sulamalarının su talebinde bir değişiklik olmadığı, aynı kaldığı, gelecekte yeni yapılacak projelerle İ.Ö.İ. tarafından inşa edilmiş sulama tesisleri ile halk sulamalarındaki su ihtiyacının azaldığı görülmüştür. DSİ YÜS projelerinin su ihtiyacının artarak 231,49 hm^3'den 305,08 hm^3'e çıktığı, İ.Ö.İ. Gölet sulamalarının 21,50 hm^3 olan su ihtiyacının azalarak 17,85 hm^3'e düştüğü, İ.Ö.İ. YÜS sulamalarının 47,62 hm^3 olan su ihtiyacının azalarak 12,26 hm^3'e düştüğü, halk sulamalarının 46,79 hm^3 olan su ihtiyacının azalarak 15,42 hm^3'e düştüğü, DSİ YAS 3,15 hm^3, İ.Ö.İ. YAS 0,16 hm^3 olarak sabit kaldığı görülmüştür.

WEAP modeli ile yapılan hesaplamalarda, Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu'nda yeni proje olarak öngörülmüş olan ve EK-D5'te ayrıntısı verilen 18.700 ha sulama sahası (DSİ. 2018), WEAP modeli ile yapmış olduğumuz çalışmada yeni proje olarak değil de halk sulamaları ve İ.Ö.İ. sulamalarının sulama sisteminin basınçlı sulama sistemine dönüştürüleceği planlanarak, 4 farklı senaryoda da 89.440 ha sulama sahası esas alınmıştır.

WEAP ile yapılan modellemede mevcut senaryoda sulama tesislerinin su ihtiyacı hesaplanmış ve Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelgeyi incelediğimizde havza içerisinde yer alan sulama tesislerinden DSİ YÜS 278,81 hm^3, İ.Ö.İ. Gölet 20,83 hm^3, İ.Ö.İ. YÜS 49,05 hm^3, halk sulamaları 41,17 hm^3, DSİ YAS 3,41 hm^3, İ.Ö.İ. YAS 0,16 hm^3 olmak üzere sulama tesislerinin ihtiyaç duyduğu toplam su miktarı 394,49 hm^3 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. WEAP ile Hesaplanan Sulama Tesisleri Mevcut Su İhtiyaçları (hm^3) (DSİ,2018)

Havza Adı	Sulama Adı							
	DSİ YÜS	İÖİ Gölet	DSİ YAS	İÖİ YAS	İÖİ YÜS	HES Mansap Su Hakları Kapsamındaki Halk Sulamaları	Halk Sul.	Toplam
	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)
Yukarı Kızılırmak	278,81	20,83	3,41	0,16	49,05		42,23	**394,49**

Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu gelecek durum hesaplaması ile kıyas yapılabilecek olan WEAP modeli ile gelecekteki durumun incelendiği durum, kötümser durum olarak adlandırılan Senaryo-3'tür. Bu **s**enaryo kapsamında 2050 yılında sulama tesislerinin su ihtiyacı 344,95 hm^3 olarak hesaplanmıştır.

Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu ile WEAP modellemesine ait sulama tesislerinde ihtiyaç duyulan su hesabı karşılaştırması incelersek;

a) Mevcut durum senaryosu ile planlama raporu mevcut durum kıyaslaması Çizelge 4.7'de verilmiştir. WEAP ile yapılan hesaplamada toplam sulama suyu ihtiyacı brüt sulama sahası üzerinden hesaplanmıştır. Planlama raporunda ise net sulama sahası değerlerinin kullanıldığı görülmüştür. Çizelge 4.7'de yer alan değerleri karşılaştırdığımızda WEAP ile hesaplamanın %12,50 daha fazla olduğu görülmüştür. Bu rakamda sulama türüne bağlı olarak brüt sulamadan net sulamaya geçiş için hesaplamalarda kullanılan katsayıların %10-20 arasında olduğu kabul edilirse, %12,5 değeri sonuç açısından kabul edilebilir bir orandır.

Çizelge 4.7. WEAP ile DSİ Planlama Raporu Kıyaslaması

	Sulama Adı							
	DSİ YÜS	İÖİ Gölet	DSİ YAS	İÖİ YAS	İÖİ YÜS	HES Mansap Su Hakları Kap. Halk Sulamaları	Halk Sul.	Toplam
	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)
WEAP	278,81	20,83	3,41	0,16	49,05		42,23	**394,49**
Planlama Raporu (DSİ,2018)	231,49	21,50	3,15	0,16	47,62	5,88	40,91	**350,71**

b) Gelecek durum senaryosu ile planlama raporu gelecek durum kıyaslamasını yapacak olursak, sulama tesislerinin ihtiyaç duyduğu su miktarı planlama raporunda 386,93 hm^3 iken WEAP modeli ile yapılan hesaplama neticesinde 2050 yılında 344,95 hm^3 suya ihtiyaç bulunmaktadır. Gelecekteki sulama suyu ihtiyaç değerlerini karşılaştırdığımızda WEAP ile hesaplanan değerin %10,85 daha az olduğu görülmüştür. Kabuller ve sistemlerde alınan değerlerin farklı olması da göz önüne alındığında bu oran kabul edilebilir bir orandır.

Yaykıran (2016) tarafından Sakarya Havzası için WEAP ile yüksek çözünürlüklü hidrolojik modeli yapılmıştır. WEAP ile yapılan modelde yılda havzaya ortalama 29.993 milyon m^3 yağış düştüğü, bunun 5.290 milyon m^3'ünün yüzeysel akışa dönüştüğü, 2.070 milyon m^3'ünün yer altına sızdığı, 10.960 milyon m^3'nün buharlaştığı ve 11.610 milyon m^3'lük bölümünün terleme ile kaybolduğunu hesaplamıştır. DSİ'ye ait 2014 yılı verilerine göre; Sakarya Havzası'na yıllık toplamda 33.183,6 milyon m^3 yağış düştüğü, ortalama 6.400 milyon m^3 yıllık akış ve 2.197,1 milyon m^3 yeraltı suyu potansiyeli olduğu belirtilmiştir.

Yaykıran (2016) tarafından WEAP modeli ile yapılan çalışmada hesaplanmış olan yağış, yüzeysel akış ve yeraltına sızan su miktarını DSİ'ye ait 2014 yılı verileriyle karşılaştırılması Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. WEAP (Yaykıran, 2016) ile DSİ Planlama Raporu Kıyaslaması

	YAĞIŞ	YÜZEYSEL AKIŞ	YERALTINA SIZMA	BUHARLAŞMA	TERLEME
	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)
WEAP	29.913	5.290	2.070	10.960	11.610
Planlama Raporu (DSİ, 2014)	33.183	6.400	2.197		

Çizelge 4.8 incelendiğinde, WEAP modeli ile hesaplanan yağış miktarının %10,64, akış miktarının %20,98 ve yeraltına sızan su miktarının %6,14 oranlarında DSİ'ye ait veri değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Yapılmış olan bu çalışma ve Yaykıran (2016) tarafından yapılmış olan çalışmaya ait bu kıyaslamlarda, WEAP ile modelleme yapılarak elde edilen değerlerin, detaylı çalışmalarda elde edilen değerlerle kıyaslandığında modelleme ile bulunan değerlerin yaklaşık olarak %10-20 oranında daha düşük sonuçlar verdiğini göstermektedir. Dolayısı ile geniş kapsamlı planlama çalışmalarında bu farklı değerler kabul edilebilir olarak değerlendirilmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Türkiye'nin önemli havzalarından biri olan ve geniş bir coğrafik alanda, farklı iklim koşullarına sahip Kızılırmak Havzası'nın alt havzası olan Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda WEAP programı kullanılarak, farklı senaryolar için havza yönetimi sulama açısından incelenmiş ve havza içerisinde yer alan tesislerin sulama işletme çalışmaları yapılmıştır. Bu tez kapsamında yapılan çalışma ile 2024 ile 2050 yılları arası farklı koşullar altında incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İç Anadolu Bölgesi'nde yer almakta olup, Kızılırmak Havzası'nın 1 no'lu alt havzası ve membasındadır.

Küresel iklim değişikliği etkilerini Yukarı Kızılırmak Havzası'nda da hissettirmekte olup, genel olarak yağışların azaldığı ve sıcaklıkların arttığı görülmektedir. Sıcaklık artışı ve yağışların azalmasına bağlı olarak havza içerisindeki su kaynaklarında da azalmalar meydana gelmekte olup, mevcut su kaynaklarının daha iyi ve dikkatli kullanılması bir zorunluluk haline gelmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının optimum bir şekilde kullanılabilmesi açısından tüm paydaşların gerekli özeni göstererek havzanın entegre bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

WEAP programı ile bu çalışmada Yukarı Kızılırmak Alt Havzası su kaynakları dikkate alınarak 4 farklı senaryoya göre havza yönetimi sulama açısından incelenerek havza işletme çalışması yapılmıştır. Havza işletme çalışmasında önemli bir yer tutan depolama tesislerinin başlangıç su hacmi olarak ölü hacim değerleri esas alınmış ve depolama tesislerinin Ekim ayına minimum su depolama kapasitesi ile gireceği öngörülmüştür. Senaryo çalışmalarında; öncelikli olarak 1. senaryoda (mevcut durum) uzun yıllara ait aylık ortalama akımların olduğu kabul edilerek havza içerisindeki mevcut taleplerin durumu değerlendirilmiş ve havzanın genel bir işletme çalışması yapılmıştır. İyimser olarak adlandırılan 2. senaryoda; havza genelinde su miktarında azalma olmayıp, uzun yıllar aylık ortalama akım değerlerindeki akımların gerçekleşeceği, yağışların yeterli olacağı ve buharlaşma miktarının fazla artmayacağı, cazibeli açık kanal, İ.Ö.İ. ve halk sulamalarında yapılan iyileştirmelerle, sulama sistemlerindeki mevcut %20-30 olan su kayıp miktarının %10'a kadar indirilebileceği kabul edilerek, sulama alanları sabit tutulmuş ve bitkilerin planlama safhasında belirtilen su tüketimleri esas alınarak işletme çalışması yapılmıştır. 3. Senaryo olarak ortaya konan kötümser senaryoda; yağışların azaldığı, ihtiyaçların arttığı, ancak cazibeli açık kanal, İ.Ö.İ. ve halk sulamalarında yapılan iyileştirmelerle, sulama sistemlerindeki mevcut %20-30 olan su kayıp miktarının %10'a kadar indirilebileceği kabul edilerek, sulama alanları sabit tutulmuş ve bitkilerin planlamada belirtilen su tüketimleri esas alınarak işletme çalışması yapılmıştır. En olumsuz senaryo olan ve kötümser olarak ifade edilen 4. Senaryoda; sıcaklıkların arttığı, buna bağlı olarak yağışların azaldığı, nehir akımlarının %20 oranında azaldığı, açık sulama sistemlerinde bir iyileştirme yapılmadığı, su kayıp miktarının ve birim alanda su tüketiminin yüksek olduğu varsayılarak, havza işletme çalışması yapılmıştır.

Havza su bütçesi 2050 yılında senaryo-2 durumunda 2.159,00 hm^3 iken, senaryo-3 durumunda 1.733,00 hm^3 ve senaryo-4 durumunda 1.727,00 hm^3 olarak hesaplanmıştır. Havza içerisindeki su miktarının senaryo-2 durumunda daha yüksek, senaryo-3 ile senaryo-4 durumunda yaklaşık aynı ve senaryo-2'deki değerden daha düşük olduğu görülmüştür.

Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda 2024 ile 2050 yılları arasındaki işletme senaryolarına göre akımlar hesaplanıp, havzanın mansabında yer alan Yamula Barajı kısmındaki akım değerleri esas alındığında, 4 farklı senaryo durumuna bağlı olarak havza çıkışındaki akım miktarları değerlendirildiğinde; 2024 yılında senaryo-2 durumunda 1.691,82 hm^3 olan akım miktarının, 2050 yılında 1.776,62 hm^3 olduğu, senaryo-3 ve senaryo-4 durumunda ise 2050 yılında 1.385,11 hm^3 olduğu hesaplanmıştır. Yamula Barajı girişindeki havza çıkış akımları yıllar bazında değerlendirildiğinde, senaryo-3 ve senaryo-4 durumundaki akımların senaryo-2'den daha düşük olduğu görülmüştür.

Havza içerisinde yer alan talep bölgelerinin sulama suyu ve içmesuyu su ihtiyacı hesaplanmış ve 2024 yılında 432,00 hm^3 olan su talebinin, 2050 yılında senaryo-2 ve senaryo-3 durumunda 409,00 hm^3 iken, Senaryo-4 durumunda 458,00 hm^3 olarak hesap edilmiştir. Senaryo-2 ve senaryo-3 durumunda yaklaşık olarak aynı değerde ve taleplerin düşme eğiliminde olduğu, senaryo-4 durumunda ise su talebinin en yüksek olduğu ve yıllar itibariyle yükselme eğiliminde olduğu görülmüştür.

Sulama ve içmesuyu temini gibi talep bölgelerinin karşılanamayan su ihtiyaçları 2050 yılı için senaryo-2 durumunda 18,00 hm^3, senaryo-3'te 51,00 hm^3 ve senaryo-4 durumunda ise 70,00 hm^3 olarak hesaplanmıştır. Yıllar bazında karşılanamayan su miktarı değerlendirildiğinde, senaryo-2'de bir azalma eğilimi olduğu, senaryo-3 ve senaryo-4'te ise bir artış eğilimi olduğu, tüm senaryolar beraber değerlendirildiğinde ihtiyaç olup da karşılanamayan su miktarının en az olduğu senaryonun 2 nolu, en çok olduğu senaryonun ise 4 nolu olduğu görülmüştür.

Depolama tesislerine ait 2050 yılındaki depolama hacimlerinin, senaryo-2 durumunda 3.810,00 hm^3, senaryo-3'te 3.663,00 hm^3 ve senaryo-4 durumunda 3.653,00 hm^3 olacağı hesap edilmiştir. Yıllar bazında incelendiğinde, senaryo-2 de toplam depolama hacminde bir artış varken, senaryo-3 ve senaryo-4'te ise toplam depolama hacimlerinde bir azalma ve düşüş eğiliminin olduğu görülmüştür.

Mevcut haldeki depolama tesislerindeki buharlaşma miktarının 58,79 hm^3 olduğu ve bunun da 43,55 hm^3'lük kısmının Yamula Barajı'ndaki buharlaşmadan meydana geldiği, buharlaşmaların Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında yüksek olduğu, en büyük değerin ise Temmuz ayında gerçekleştiği görülmüştür. Sıcaklık artışına bağlı olarak da depolama tesislerindeki buharlaşma miktarı artacak ve bu da su bütçesi üzerine olumsuz olarak etki edecektir.

WEAP ile yapılan senaryo analizlerinde Sivas il merkezinin içme kullanma suyu durumu da değerlendirilmiştir. Sivas il merkezi içme kullanma suyu ihtiyacının bir kısmını Pusat Özen Barajı'ndan karşılamakta olup, bu baraj aynı zamanda sulama hizmeti de vermektedir. Dolayısı ile

hem sulama hem de içme kullanma suyu kullanımı olmak üzere farklı amaçlara hizmet etmesi nedeniyle farklı sektörler göz önüne alınarak işletme çalışması yapılmıştır. Öncelikli olarak referans yıl durumunda aylık kullanımlar dikkate alınarak Tavra Kaynakları, Dört Eylül Barajı ve bir miktarda Pusat Özen Barajı'ndan alınan su ile mevcut durum irdelenmiştir. İyimser senaryo durumunda olan senaryo-2'de uzun yıllara ait aylık ortalama akımlar kullanılarak nüfus ve günlük tüketimin arttığı (kişi başı günlük su tüketiminin 90 m^3'ten 106 m^3'e yükseleceği, nüfusun 389 719 kişiden 575 226 kişiye çıkacağı) içme ve kullanma suyunda mevcut durumda %41 olan kayıp miktarının da 2050 yılına kadar %20'ye kadar doğrusal olarak düşeceği kabul edilerek Sivas il merkezinin içme-kullanma su bütçesi irdelenmiştir. Senaryo 3'te, nüfus ve günlük tüketimin arttığı (kişi başı günlük su tüketiminin 90 m^3'ten 106 m^3'e yükseleceği), içme ve kullanma suyunda mevcut durumda %41 olan kayıp miktarının da 2050 yılına kadar %20'ye kadar düşeceği kabul edilerek Sivas il merkezinin içme-kullanma su bütçesi irdelenmiştir. Kötümser senaryo olan 4. senaryoda, sıcaklıkların artması ve buna bağlı olarak yağışların ve su miktarının %20 azalması, Sivas il merkezi içme ve kullanma suyunda kayıp kaçak miktarının %41 olduğu ve 2050 yılında kişi başına yıllık 106 m^3'lük tüketim durumu kabul edildiği duruma göre işletme çalışması yapılmıştır. Senaryo-2 sonucunda; 2024 yılı için talep edilen su miktarının 37,14 hm^3 olduğu, bunun yıllar itibariyle doğrusal olarak artarak 2050 yılı için 63,87 hm^3'e yükseldiği görülmüştür. Dört Eylül Barajı'ndan buharlaşarak kaybolan su miktarının 2024 yılında 0,81 hm^3 iken bunun 2050 yılında 1,94 hm^3 olduğu görülmüştür. Tavra yeraltı suyu kaynaklarından 22,00 hm^3, Dört Eylül Barajı'ndan 13,00 hm^3 ve Pusat Özen Barajı'ndan 8,42 hm^3 olmak üzere normal koşullarda 43,42 hm^3 su temin edilebileceği göz önüne alındığında, 2050 yılındaki su gereksiniminin karşılanabilmesi için 20,45 hm^3 ilave bir su ihtiyacına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu miktardaki su ya Pusat Özen Barajı'ndaki içmesuyu hissesi artırılıp, sulama miktarı azaltılarak karşılanacak, ya da ilave bir su kaynağı olarak planlaması yapılan Beydilli Barajı'nın inşaatının yapılarak karşılanması gerekecektir. 2031 yılındaki su ihtiyacının 43,16 hm^3 olduğu göz önüne alındığında ilave kaynağın devreye girmesi gerekmektedir. Aksi takdirde Pusat Özen Barajı'ndan içme suyuna planlanan değerinden fazla su verilmesi halinde sulama suyunda kısıtlamalara gidilmesi ve projelendirilenden daha az tarımsal alanın sulanması sonucuna neden olacaktır.

Yapılmış olan çalışma neticesinde küresel iklim değişikliğine bağlı olarak yağışların azalması, buna karşılık olarak sulu tarım yapılan arazinin artması, Sivas il merkezindeki içme kullanma suyu kullanım miktarındaki artış ve nüfus artışı dikkate alınarak farklı 4 adet senaryo sonucunda, içme ve kullanma suyu ihtiyacının arttığı, en olumsuz senaryo olan akımların %20 azaldığı, sulamada herhangi bir iyileştirme yapılmadığı ve içme suyu kayıp kaçak oranının %20'ye düşürülememesi durumunda 2050 yılında karşılanamayan su miktarının 14,60 hm^3 olacağı görülmüştür.

Havzanın en mansabında yer alan Yamula Barajı giriş lokasyonundaki akımlar esas alındığında, mevcut durumda 1.691,82 hm^3 olan su miktarı, sulama tesislerindeki açık sulama sistemlerinin kapalı basınçlı sistemlere dönüştürülmesi, Sivas içme suyundaki kayıp kaçak miktarının %20'ye düşürülmesi halinde 1.776,62 hm^3 olmakta, eğer bu değerlerde bir iyileştirme yapılmazsa ve iklim değişikliğine bağlı olarak akımlarda %20 oranında bir azalma meydana gelirse bu değerin 1.385,11 hm^3'e düşeceği hesaplanmıştır.

Havza içerisinde 89.440 ha alanda sulu tarım yapılmaktadır. Bu alanın 35.373 ha'lık kısmı açık sistem cazibeli sulama sistemi ile sulanmaktadır. 54.067 ha'lık alan ise basınçlı modern sulama sistemi ile sulanmaktadır. Halihazırda DSİ tarafından inşa, proje ve planlama aşamasında olan, basınçlı sulama sistemi ile sulanması öngörülmüş olan 18.700 ha tarımsal alan bulunmaktadır. Bu projelerin sulama sahasındaki tarım alanlarının büyük çoğunluğu halk sulamaları ve İ.Ö.İ. tarafından yapılmış olan açık sistem sulama sistemleri ile sulanmaktadır. DSİ tarafından gelecekte sulanması planlanmış olan bu 18.700 ha sahanın faaliyete girmesi ile halk sulamaları ve İ.Ö.İ. eski sulama tesislerinin yerine modern basınçlı sulama sistemleri yapılarak su tasarrufu da sağlanacaktır. Yine DSİ tarafından önceki yıllarda yapılmış olan ve cazibeli 13.358 ha açık kanal sulama sistemlerinin de yenilenerek borulu kapalı sistemlere dönüştürülmesi ile de önemli miktarda su tasarrufu sağlanabilecektir.

Mevcut durumda, projeli koşullar dikkate alınırsa sulamaların tamamı için 394,49 hm^3 suya ihtiyaç bulunmaktadır. Sulama tesislerinin tamamının 2050 yılına kadar kapalı borulu sisteme dönüştürülmesi halinde ise tüm sulamalar için ihtiyaç duyulan su miktarı 344,95 hm^3 olmaktadır. 49,54 hm^3 kadar sulama suyunda tasarruf olmaktadır. Bu miktar ise mevcut ve projeli durum koşulları dikkate alındığında sulama suyunda %12,6 gibi bir su tasarrufuna denk gelmektedir. Akımların 2050 yılına kadar %20 azalacağı kabulü göz önüne alınırsa bu tasarruf miktarı su bütçesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır.

Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nın Kızılırmak Havzası'nın membasında olması, depolama tesisleri ile sulamaların farklı farklı yan kollar üzerinde ve membada yer almaları nedeniyle yağan ve akışa geçen sular ilk öncelikle bu alt havzada kullanılmaktadır. Halk sulamaları başlangıçta yer aldığından ve mevcut suyu kullandığından dolayı bu sulamalar için herhangi bir su eksikliği bulunmamaktadır. Ancak, kullanılan su miktarı yüksek olmakta, bunun neticesinde havzanın alt bölümlerindeki tesislere gidecek su miktarını azaltıcı yönde etki etmektedir. Bu sulamaların su kayıplarını azaltacak modern sulama sistemleri ile yapılması halinde alt havzalara gidecek su miktarı artacaktır. Bunun için de DSİ tarafından planlanmış, projesi yapılmış ve inşaat halinde olan depolamalar ve sulama tesisleri tamamlandığında, daha az su tüketen sulama sistemlerine geçiş yapılacağı için havzanın su bütçesine önemli katkılarda bulunacaktır. Yine, havzanın bu bölümünde buharlaşma miktarları, yörenin iklim koşulları dikkate alındığında diğer havza bölümlerine göre daha düşük olmaktadır. Bu nedenle bu kısımda yapılacak olan depolama tesisleri suyun depolanması açısından daha faydalı olacaktır

WEAP programı, su kaynaklarının ihtiyaçlar da göz önüne alınarak optimum bir şekilde kullanımına yönelik planlanması ve farklı senaryolar kullanılarak çözümleme yapılmasında etkin olduğunu göstermiştir. Havza içerisindeki nüfus artışı, yağışların azalması, sulama sistemlerindeki iyileştirme vb. gibi farklı türden sorulara hızlı cevaplar verebilmesi ve çözümler üretmesi neticesinde havza işletme yönetimi dinamik bir şekilde gerçekleştirilebilmiştir.

WEAP, su kaynaklarının planlanmasında bütüncül bir yaklaşımla su sistemlerini simüle etme ve politika analizi için entegre bir yaklaşım sunmaktadır. Su kaynakları, su talepleri ve tedarik bilgilerini saklamak için iyi bir veri tabanıdır. WEAP ile günlük bir işletme yapılması değil de, tüm havza içerisinde yer alan tesislerin bir bütün olarak değerlendirilip, havza bazında planlama yapılıp, politikalar üretilmesi ve havza yönetimi senaryolarının oluşturulmasının daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

5.2. Öneriler

Yapılan çalışmadan elde edilen bulgular neticesinde öneriler aşağıda sıralanmıştır:

1. Nüfus artışı ve suya olan talebin her geçen gün artması, buna karşılık su kaynaklarının sınırlı olması, bu kaynakları kullanırken maksimum fayda sağlamayı zorunlu kılmıştır. Farklı ihtiyaçların (sulama, içme suyu, enerji vb.) bir arada ve optimum şekilde karşılanabilmesi için su kaynakları sisteminin bütüncül olarak ele alınması ve optimum çözümler üretmesi gerekmektedir. Su kaynaklarının planlamasında sistemin davranışını daha iyi anlamak ve bir arada değerlendirebilmek için modelleme yöntemleri yaygın bir şekilde kullanılmalıdır.
2. Suyun büyük bir bölümünün tarımsal sulamada kullanılması nedeniyle, su tüketimini azaltıcı tedbirlerin (açık kanal sistemindeki sulama tesislerinin yenilenerek, kapalı, basınçlı borulu sisteme dönüştürülmesi, buharlaşmanın önlenmesi ve bitki paterni gibi) alınması, havza yönetiminin sürdürülebilir olması açısından gerekmektedir. Su kayıplarını azaltmak amacıyla, mevcut olan eski ve yıpranmış durumdaki büyük ölçüde tahrip olmuş açık kanal sistemindeki sulama tesislerinin yenilenerek, kapalı, basınçlı borulu sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir. Yine, DSİ tarafından planlaması ve projesi yapılmış olan depolama tesisleri ile sulama tesislerinin inşaat çalışmalarının en kısa sürede inşa edilmesi gerekmektedir.
3. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası içerisinde bitki paterninin değerlendirilerek, daha az su tüketen ürünlere öncelik verilmesi gerekmektedir.

Sivas il merkezi nüfus artışı ve su tüketimindeki artış dikkate alınarak, 2031 yılındaki içmesuyu ihtiyacının 43,16 hm^3 olduğu öngörüsüyle, içme kullanma suyundaki kayıp kaçak oranının %20 seviyesine düşürülmesi için çalışmaların hızlandırılması, Pusat Özen Barajı'ndan sulamanın devam edebilmesi için ilave su kaynağı olarak Beydilli Barajı depolama tesisinin inşa edilerek 2031 yılından itibaren hizmete girmesi gerekmektedir.

4. Depolama tesislerindeki buharlaşma miktarını azaltmak için, depolama tesisleri yüzeylerine GES santrali kurulması dahil farklı alternatiflerin incelenmesi gerekmektedir.

5. Türkiye'de kısıtlı su kaynaklarının paylaşımı, çevre kalitesi ve sürdürülebilir su kullanımına yönelik politikalar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Kızılırmak Havzasının tamamına WEAP yazılımı uygulanarak, farklı senaryolar altında politikaların oluşturulması, sektörel su tahsislerinin yapılabilmesi ve entegre havza yönetimi açısından değerlendirilmesi faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

Abbas, R. T., ve Shamkhi, M. S., 2023. Impact of Climate Change on Integrated Management of Water Resources in The Lower Basin of Diyala River, Iraq, Wasit Journal of Engineering Sciences, 10(3): 146-160s. Doi: 10.31185/ejuow.Vol10.Iss3.400

https://ejuow.uowasit.edu.iq/index.php/ejuow/article/view/400/217

AdgolignT. S., Rao G. V. R. S, Abbulu Y., 2016. WEAP Modeling of Surface Water Resources Allocation in Didessa Sub-Basin, West Ethiopia, Sustain. Water Resour. Manag., (2):55–70 s

DOI 10.1007/s40899-015-0041-4

Ahmadaali, J., Barani, G. A., Qaderi, K., ve Hessari B., 2018. Analysis of the Effects of Water Management Strategies and Climate Change on the Environmental and Agricultural Sustainability of Urmia Lake Basin, Iran, 10(2)**:**

https://www.mdpi.com/2073-4441/10/2/160, [Son Erişim Tarihi: 22.05.2024].

Aküzüm, T., Çakmak, B., Gökalp, Z., 2010. Türkiye'de Su Kaynakları Yönetiminin Değerlendirilmesi, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 3(1): 67-74. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/412800

Almulla Y., Ramirez C., Joyce B., Lee H. A., Nerini F.F,, 2022, From Participatory Process to Robust Decision-making: An Agriculture-Water-Energy Nexus Analysis for the Souss-Massa Basin in Morocco, Elsevier Inc., Energy for Sustainable Development, 70: 314-338 s, https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.08.009

Anonim 1: https://www.mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=3 [Son Erişim Tarihi: 10.05.2024].

Anonim 2: https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=SIVAS [Son Erişim Tarihi: 10.05.2024].

Arslan C., 2019. Burdur Alt Havzası Entegre Su Kaynakları Yönetiminin Belirlenmesinde WEAP (Water Evaluatıon And Planning System) Modelinin Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 82 s. 100 s.

Aydın, M. C., 1988, Yukarı Fırat Havzasının DSİ IX. Bölge Dahilindeki Bölümünün Simülasyon Modeli İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 126 s. 143 s. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=BhCyuN3l8cN9ju-ueNsBKw&no=BhCyuN3l8cN9ju-ueNsBKw, [Son Erişim Tarihi: 10.05.2024].

Ayen Enerji A.Ş., https://ayen.com.tr/yamula-hidro-elektrik-santrali, [Son Erişim Tarihi: 29.11.2024].

Bayraç, H. N., Doğan E., 2016. Türkiye'de İklim Değişikliğinin Tarım Sektörü Üzerine Etkileri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(1): 23-48.

Bhave A. G., Conway D., Dessai S., Stainforth D.A.,2018, Water Resource Planning Under Future Climate and Socioeconomic Uncertainty in the Cauvery River Basin in Karnataka, India, Agu publications, Research Artıcle, 10.1002/2017WR020970, 708-728 s,
https://doi.org/10.1002/2017WR020970

Bilen, Ö., 2009, Türkiye'nin Su Gündemi Su Yönetimi ve AB Su Politikaları, Ankara, DSİ, 344 s.

Bouznad I. E., Elahcene O., Belksıer M.S., 2020, Management model for water demand using the WEAP tool: Case of Setif Province – Algerian highlands, Journal Of Water And Land Development, 45 (IV–VI): 19–28
https://DOI.org/10.24425/jwld.2020.133042

Büyükaslan E., 2019, Aksaray Bölgesi Su Kaynaklarının WEAP Programı İle Geleceğe Dönük Planlanması, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, 163 s. 179 s.

Chartzoulakisa K., ve Bertaki M., 2015, Sustainable Water Management in Agriculture Under Climate Change , Agriculture and Agricultural Science Procedia, 4, 88 – 98 s.
doi: 10.1016/j.aaspro.2015.03.011

Coşkun Ö., 2017, Zamantı Irmağı Alt Havzasındaki DSİ Projelerinin WEAP (Water Evaluation And Planning System) Programı İle Modellenmesi Ve Bahçelik Barajı İşletme Çalışması Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 156 s.

Çetin H. C., 2011, Porsuk Çayı Havzası Yönetim Stratejilerinin Belirlenmesinde DPSIR Yaklaşımının Kullanılması. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 130 s.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı, 2011, Ankara,
https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/editordosya/Iklim_Degisikligi_Uyum_Stratejisi_ve_Eylem_Plani.pdf [Son erişim tarihi: 14.05.2024]

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, (Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı 2011-2023), 2012, Ankara,
https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/uyum_stratejisi_eylem_plani_TR.pdf [Son erişim tarihi: 14.05.2024]

Çıtakoğlu, H., ve Coşkun, Ö., 2020. Bahçelik Barajı ve Ünitelerinin WEAP (Water Evaluatıon and Plannıng System) Programı İle Modellenmesi ve İşletme Çalışması, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 5(3): 213-216.
https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1257510 [Son erişim tarihi 27.052024]

Daeghouth,S., Ward, C., Gambarelli, G., Styger, E., ve Roux, J., 2008. Havza Yönetim Yaklaşımları, Politikaları ve Faaliyetleri: Ölçek Büyütmeye Yönelik Dersler**.** Dünya Bankası, Washington DC, 115 s.

Dalkılıç, Y., Harmancıoğlu, N., 2008, Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifinin Türkiye'de Uygulama Olanakları, Ankara, ISBN: 978-9944-89-512-5, TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi (Bildiriler Kitabı - 2. Cilt), 415-424 s.

https://eski.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10948.pdf [Son Erişim Tarihi: 15.05.2024].

Dimova G., Tzanov E., Ninov P., Ribarova I., Kossida M., 2014, Complementary use of the WEAP model to underpin the development of SEEAW physical water use and supply tables, 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013, Procedia Engineering, 70: 563 – 572 s

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814000642, [Son Erişim Tarihi 30.06.2024]

Doğan İ., Doğan N., 2020, Model Performans Kriterlerinin Kronolojisine ve Metodolojik Yönlerine Genel Bir Bakış: Bir Gözden Geçirme, Türkiye Klinikleri Biyoistatistik Dergisi, 12(1): 114-25 s,

DOI: 10.5336/biostatic.2019-71069

DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü), 2018, Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu, DSİ Raporu, ANKARA.

DSİ, 2023, 2022 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara, 163 s.,

Anonim

https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/Sayfa/759/1107/DosyaGaleri/dsi2022faaliyetraporu.pdf#page=46 [Son erişim Tarihi:10.05.2024].

DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, 2020, Pusat-Özen Barajı'ndan Sivas İl Merkezine İçme Suyu Aktarılması Gerekçe Raporu, Sivas.

DSİ, 2021, DSİ 19. Bölge Müdürlüğü Veri Tabanı, Sivas.

EPA,. 2008. Handbook for Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters, Technical Report,841-B-08-002, United States Environmental Protection Agency, Washington DC.

https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/2008_04_18_nps_watershed_handbook_handbook-2.pdf [Son erişim Tarihi:10.05.2024].

Esteve P., Gutierrez I.B., Mautner M. RL., Aghmiuni S. S., Escobar M., 2024, Challenges and Opportunities of Using Reclaimed Water for Agricultural Irrigation in Spain: A hydro-economic Analysis, EGU General Assembly 2024 Programme, Vienna, Austria & Online, (14–19 April 2024).

https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-3533

Fıstıkoğlu, O., 1999,

https://eski.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12956.pdf [Son erişim Tarihi:24.05.2024].

Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T. ve Kojiri, T., 2008. Assessing The Impacts Of Climate Change On The Water Resources Of The Seyhan River Basin in Turkey: Use Of Dynamically Downscaled Data For Hydrologic Simulations. Journal of Hydrology, 353(1-2): 33– 48 s.

ttps://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169408000346 [Son Erişim Tarihi 10.05.2024]

Gupta H.V., Kling H., Yilmaz K. K., Martinez G. F., 2009, Decomposition of the Mean Squared Error and NSE Performance Criteria: Implications for Improving Hydrological Modelling, Journal of Hydrology, 337(1-2): 80-91 s.

https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003

Hamlat A., Errih M., ve Guidoum A., (2013). Simulation of Water Resources Management Scenarios in Western Algeria Watersheds Using WEAP Model, Arabian Journal of Geosciences, 6(7): 2225-2236.

doi:10.1007/s12517-012-0539-0,

Harmancıoğlu, N. B., Gül, A.. Fıstıkoğlu, O., 2002, "Entegre Su Kaynakları Yönetimi", Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 419: 29-39.

https://eskiizmir.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/340.pdf [Son Erişim Tarihi 10.05.2024]

Hum N. N. M. F., Talib S. A., 2016, Modelıng Water Supply And Demand For Effectıve Water Management Allocatıon In Selangor, jurnal teknologi, 78(5–5): 15–20 s.

Jamnani M. R., Kayhomayoon Z., Azar N. A., Milan S. G., Marghmaleki S. N., Berndtsson R, 2024, Large Discrepancy Between Future Demand and Supply of Agricultural Water in Northwestern Iran; Evidence from WEAP-MODFLOW-Machine Learning Under the CMIP6 Scenario, Computers and Electronics in Agriculture, 216,

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169923008931?via%3Dihub

https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108505

Indarto I., Hidayah E., Setiawan E. B., 2023, Water Balance Assessment, Land Use Land Cover Change and Increasing Water Demand in Three Major Watersheds in Jember, East Java, Indonesia, Geosfera Indonesia, 8(2): 170-188 s,

https://doi.org/10.19184/geosi.v8i2.39131

Kamışcıoğlu Ç., 2024, Modelleme Ve Simülasyon, Sınırsız Eğitim ve Araştırma Derneği Yayınları, Ankara , 161 s.

https://www.sead.com.tr/wp-content/uploads/2024/02/Modelleme-ve-Simulasyon.pdf [Son erişim tarihi 19.05.2024]

Karaer M., 2014, Sulama İşletmelerinin Entegre Havza Yönetiminde Yeri Ve Önemi Üzerine Bir Araştırma: Büyük Menderes Havzası Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 86 s.

Karahan, S. M., 2021, Simulation Of Water Resources Of Tahtalı-Seferihisar Sub-Basin Based On Weap Model, İzmir Institute of Technology , Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 201 s.

Karaman S., Gökalp, Z., 2010. Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 3(1). 59-66 s.

https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/412801 [Son Erişim Tarihi 10.05.2024]

Koç, C., 2018. Entegre Havza Yönetiminde Su Kaynaklarını Modern Yöntemler ile Ölçme, İzleme ve Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması, European Journal of Science and Technology, Research Article, 14: 222-227 s.

Malla, M. A., Ahmad, U. F., Rather, M. A., Teli M. N., ve Kuchhay, N.A., 2014. Assessing Water Demand And Supply For Srinagar City (J&K) India, Under Changing Climatic Scenarios Using Water Evaluation And Planning Model (WEAP), International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER), 4 (4): 18-26 s.

https://www.ijmer.com [Son Erişim Tarihi 24.05.2024]

Mateus, M. C., ve Tullos D., 2017. Reliability, Sensitivity, and Vulnerability of Reservoir Operations under Climate Change. Journal of Water Resources Planning and Management, 143(4) 04016085.

https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0000742 [Son erişim tarihi: 19.05.2024]

Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014, Ulusal Havza Yönetim Stratejisi (2014-2023),

Anonim https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/uhys%20belgesi%20(3).pdf [Son erişim tarihi: 15.05.2024].

Postel S., Polak P., Gonzales F. and Keller J., 2001. Drip Irrigation for Small Farmers. A new Initiative to Alleviate Hunger and Poverty. Water Intern. 26 (1): 3-13 s.

Ragab R., ve Prudhomme C., 2002. SW—Soil and Water: Climate Change and Water Resources Management in Arid and Semi-arid Regions: Prospective and Challenges for the 21st Century, Biosystems Engineering, 81(1): 3-34

https://doi.org/10.1006/bioe.2001.0013

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1537511001900133?via%3Dihub

Ramirez C., Almulla Y., Joyce B.,Lee H. A., Nerini F. F., 2022, An assessment of Strategies for Sustainability Priority Challenges in Jordan Using a Water–Energy–Food Nexus Approach, Springer, https://doi.org/10.1007/s43621-022-00091-w

Rastegaripour F., Tavassoli A., Babaeian M., Calvo J. F. G., 2024, Assessing the Impacts of Climate Change on Water Resource Management and Crop Patterns in Eastern Iran, Agricultural Water Management, 295, 1-11 s,

https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108774

Sağdıç M. ve Koç H., 2012, Yukarı Kızılırmak Havzası'nın İklimi Türk Coğrafya Dergisi, İstanbul, 58, 1-20 s,

http://www.tck.org.tr İstanbul Basılı ISSN 1302-5856

Elektronik ISSN 1308-9773

Saka F., ve Mohammady A.J., 2023, Future Perspective of Water Budget in the Event of Three Scenarios in Afghanistan Using the WEAP Program, Engineering Science and Technology, an International Journal,

https://doi.org/10.1016/j.jestch.2023.101602

SEI (Stockholm Environment Institute), 2015. WEAP (Water Evaluation and Planning System) User Guide for WEAP 2015.

http://www.weap21.org/), [Son erişim tarihi: 10.05 2024].

SEI (Stockholm Environment Institute), 2015. WEAP (Water Evaluation And Planning System) Tutorial 2023.

http://www.weap21.org/), [Son erişim tarihi: 10.05.2024].

Selek, Z., ve Arslan, C., 2019. Entegre Su Kaynakları Yönetiminde WEAP Modelinin Kullanılması: Burdur Gölü Havzası Örneği. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(1): 54-64,

Sharef A. J. S., 2019, Integrated Water Resources Management In Khalıfan Rıver Basın, Ph.D. Thesıs, Hasan Kalyoncu University, Gaziantep, 216 s.

Stern, N., 2007, The Economics of Climate Change, The Stern Review, Cambridge, Cambridge University Press, 712s.

Şen, Z., 2005. İklim Değişikliği Ve Su Kaynaklarına Etkisi. 22 Mart Dünya Su Günü, "İklim Değişikliğinin Su Ve Enerji Kaynaklarımıza Etkisi" Paneli, Ankara.

https://www.academia.edu/7038571/Iklim_degisikliginin_su_kaynaklar%C4%B1na_etkisi?auto=download [Son erişim tarihi: 16.05.2024]

Talu N., Demir M. E., Deniz A. C., ve Tosun O., 2021. Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Çalışmaları, Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi,

TR2017 ESOP MI A3 04

Anonim

https://iklimeuyum.org/dokumanlar/Turkiyede_Iklim_Degisikligine_Uyum_Calismalari.pdf [Son erişim tarihi:14.05.2024].

Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021, 1. Su Şurası Su Kaynaklarının Geliştirilmesi Grubu Çalışma Belgesi, Ankara,

Anonim
https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/467/Sayfa/1497/1861/DosyaGaleri/su_kaynaklarinin_gelistirilmesi_grubu_calisma_belgesi.pdf [Son erişim tarihi: 14.05.2024]

Tarım ve Orman Bakanlığı, 1. Su Şurası, 2021a, İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Ve Uyum Grubu Çalışma Belgesi, Ankara

Anonim
ttps://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/467/Sayfa/1497/1861/DosyaGaleri/iklim_degisikliginin_su_kaynaklarina_etkisi_ve_uyum_calisma_grubu_raporu.pdf

Tarım ve Orman Bakanlığı, 1. Su Şurası, 2021b, Su Kaynaklarının Yönetiminde Karar Destek Sistemleri Çalışma Belgesi, Ankara

Anonim
https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/467/Sayfa/1497/1861/DosyaGaleri/su_kaynaklarinin_yonetiminde_karar_destek_sistemleri_grubu_calisma_belgesi.pdf

Tullos D., Cara W. C., And Vache K., 2020, Reservoir Operational Performance Subject To Climate And Management Changes İn The Willamette River Basin, Oregon, Journal of Water Resources Planning and Management, 146 (10).
https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0001280 [Son erişim tarihi: 19.05.2024]

Tunçok İ.K., ve Bozkurt O.Ç., 2015, Bütüncül Havza Yönetimi: Konya Kapalı Havzası Uygulaması,
4. Su Yapıları Sempozyumu, s. 479-488
https://www.imo.org.tr/Eklenti/6730,176815253pdf.pdf?0&_tag1=64CC9C790B3A3F983BCD6E4A13D4BDAF4DB21837 [Son erişim tarihi: 19.05.2024].

Türkiye Cumhuriyeti Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerindeki Etkileri Projesi, Proje Nihai Raporu; 2016, Ankara, 424 sayfa.

Anonim
https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf [Son erişim tarihi 23.05.2024]

Yaykıran S., 2016, Sakarya Havzası'nın Yüksek Çözünürlüklü Hidrolojik Modelinin Yapılandırılması, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 204 s.

Yaykıran S., Cuceloglu G., Ekdal A., 2019, Estimation of Water Budget Components of the Sakarya River Basin by Using the WEAP-PGM Model, *Water*, 11(2): 271, https://www.mdpi.com/2073-4441/11/2/271 [Son Erişim Tarihi 10.05.2024].

Yıldırım, Y. E., 2013, Su Kaynaklarının Yönetimi Politikalar ve Sorunlar: Küreselden Yerele, Panel Bildirileri, Nevşehir Üniversitesi , Nevşehir, 1-15 s.

Yılmaz, B., 2015, Assessing Climate Change Impacts on Gediz Basin Water Balance with WEAP Model (İklim Değişikliğinin Gediz Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi WEAP Modeli ile Havza Su Dengesi), Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST), 2 (11): 3017-3020 s.

(https://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42351154.pdf) [Son Erişim Tarihi 10.05.2024]

Yılmaz, B., ve Harmancioglu N. B.,, 2010. Multi-criteria Decision Making for Water Resource Management: A case Study of the Gediz River Basin, Turkey, Water SA, 36(5): 563-576

(http://www.wrc.org.za), ISSN 0378-4738 (Print) = Water SA Vol. 36 No. 5 October 2010, s. 563-576, ISSN 1816-7950 (On-line) = Water SA Vol. 36 No. 5 October 2010) [Erişim Tarihi 09.05.2024]

Yılmaz, H., ve Tombul, M., 2016, "Akarçay Havzası İçin Entegre Su Kaynakları Yönetiminin Belirlenmesinde WEAP (water evaluation and planning system) Modelinin Uygulaması", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi DÜMF MD,7(2): 271–277.

https://dergipark.org.tr/tr/pub/dumf/issue/29220/312766 [Erişim Tarihi 10.05.2024]

Yılmaz, H., 2015, Akarçay Havzası Entegre Su Kaynakları Yönetiminin Belirlenmesinde WEAP ("Water Evaluatıon And Plannıng" System) Yaklaşımının Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 61 s.

https://earsiv.anadolu.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11421/5454/383228.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ÖZGEÇMİŞ

İsmail KAYA, İlkokulu Antakya, Ortaokulu Kayseri ve Liseyi Nevşehir Avanos Lisesi'nde bitirdim. Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde 1992 yılında lisans ve 2001 yılında Hidrolik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladım.

1992 yılından itibaren DSİ Genel Müdürlüğü bünyesinde mühendis, Şube Müdürü, Bölge Müdür Yardımcısı, Bölge Müdürü ve Daire Başkanlığı görevlerinde bulundum. Ülkemizin farklı noktalarında, baraj, gölet, sulama tesisi, içmesuyu isale hattı, içmesuyu arıtma tesisi ve taşkın kontrolü tesisleri gibi birçok tesisin planlama, proje, inşa ve işletme aşamasında görev yaptım. Halen DSİ Genel Müdürlüğü Teftiş Kurulu Başkanlığı'nda Başmüfettiş olarak görev yapmaktayım.

EKLER

EK-A1: Kızılırmak Havzası Toprak Kaynakları Arazi Sınıfları Dağılımı (DSİ, 2018)

Sınıf		Sulanabilir Alan					Geçici Sulanamaz Alan	Sulanamaz Alan	Genel Toplam
		1	2	3	4	1+2+3+4	5	6	
DSİ Arazi Sınıf Dağılımı	Ha	62696	319864	231860	2890	617310	116964	152917	887191
	%	0,76	3,89	2,82	0,04	7,51	1,42	1,86	10,79
KHGM Arazi Sınıf Dağılımı	Ha	108120	494604	1417126	783784	2803574	36413	1835705	4675692
	%	1,32	6,02	17,24	9,53	34,11	0,44	22,33	56,88
Diğer Alanlar (orman, mera, sit, korunan, imar, köy yerleşkesi, vb.)						Ha		2657361	2657361
						%		32,33	32,33
Kızılırmak Havzası Arazi Sınıf Dağılımı	Ha	170816	814468	1648986	786614	3420884	153377	4645983	8220244
	%	2,08	9,91	20,06	9,57	41,62	1,86	56,52	100,00

EK-A2: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Arazi Kullanım Sınıfları (DSİ, 2018)

(Mülga) KHGM Verilerine Göre Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Arazi Kullanım Sınıfları											
Ünite	Toprak İşlemeli Tarıma Elverişli Araziler					Toprak İşlemeli Tarıma Elverişsiz Araziler					Diğer alanlar
	I	II	III	IV	Ara Toplam	V	VI	VII	VIII	Ara Toplam	
Ha	107420	116584	165976	152834	542814	2253	139182	559185	43812	744432	286194
%	6,83	7,41	10,55	9,71	34,5	0,14	8,85	35,54	2,78	47,31	18,19

EK-B1: Sivas İli Meteorolojik Bilgileri (Anonim 2, 2024)

SİVAS	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
	Ölçüm Periyodu (1930 - 2018)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	-3.5	-2.1	2.7	8.9	13.5	17.0	20.0	20.2	16.1	10.8	4.7	-0.7	9.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	0.8	2.5	8.0	15.2	20.0	24.0	27.8	28.5	24.5	18.4	10.7	3.5	15.3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.4	-6.3	-2.1	3.0	6.9	9.5	11.7	11.7	8.0	4.1	-0.3	-4.5	2.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.5	3.5	4.8	6.3	8.1	10.6	12.0	11.5	9.5	6.5	4.2	2.4	81.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.0	12.3	13.3	13.4	14.0	8.6	2.4	2.0	4.2	7.8	9.4	12.3	112.7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	43.0	39.2	45.1	57.1	61.6	33.8	8.1	5.4	17.3	33.4	40.5	44.8	429.3
En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.6	18.1	25.2	29.0	32.0	35.5	40.0	39.4	35.7	30.5	24.0	19.4	40.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-31.2	-34.4	-27.6	-11.0	-5.5	-0.6	3.0	3.2	-3.8	-9.0	-24.4	-30.2	-34.4

EK-B2: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Meteoroloji Gözlem İstasyonları Aylık Toplam Yağış (DSİ, 2018)

İstasyon Bilgileri			Yıllık Toplam Yağış (mm)											
MGİ İstasyon Adı	Kotu (m)	Enlemi	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
Sivas	1285	39^0 45'	42,3	40,0	44,4	58,3	59,6	33,7	9,3	7,0	18,2	33,8	41,3	44,0
Altınyayla	1435	39^0 18'	23,5	20,4	28,7	48,3	65,8	38,3	13,3	13,2	15,0	26,2	31,5	30,5
Gemerek	1171	39^0 11'	42,8	33,5	40,6	53,0	50,5	34,6	8,4	10,5	14,5	31,2	39,3	46,7
Hafik	1275	39^0 51'	40,6	37,5	40,9	56,3	65,1	36,3	9,9	10,5	15,2	34,7	39,0	43,9
İmranlı	1660	39^0 53'	44,4	39,2	49,5	71,6	81,3	45,1	10,4	10,0	20,6	38,7	46,3	50,9
Şarkışla	1180	39^0 21'	40,0	36,8	37,3	49,5	58,2	36,0	10,9	8,3	13,8	30,9	34,5	40,1
Ulaş	1350	39^0 26'	36,1	30,4	39,0	69,7	72,9	45,7	18,4	8,8	15,2	29,8	37,3	37,3
Yıldızeli	1415	39^0 52'	44,0	34,5	42,1	52,4	57,5	35,8	8,2	6,1	15,4	28,2	38,0	46,5
Zara	1347	39^0 54'	50,0	46,4	54,3	83,3	73,8	43,1	10,6	10,5	20,5	45,2	50,7	54,2
Kayseri	1093	38^0 45'	34,5	35,2	40,8	53,0	50,9	38,9	10,4	8,7	15,7	28,0	33,1	37,3
Akkışla	1500	39^0 00'	42,8	30,0	52,7	62,1	54,3	44,7	11,6	10,5	17,4	31,4	38,2	51,8
Felahiye	1300	39^0 06'	41,1	36,4	48,0	66,3	69,7	36,5	10,9	5,9	12,7	31,2	38,4	52,5
Sarıoğlan	1150	39^0 05'	32,1	28,1	37,7	62,7	55,5	37,0	11,5	7,1	15,5	35,4	42,5	48,2

EK-B3: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası'nda Yer Alan Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına Ait Aylık Ortalama Sıcaklık (DSİ, 2018)

İstasyon Bilgileri			Yıllık Ortalama Sıcaklık (^{0}C)											
MGİ İstasyon Adı	Kotu (m)	Enlemi	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
Sivas	1285	39^0 45'	-3,5	-2,3	2,6	8,9	13,5	17,0	20,0	20,0	16,0	10,7	4,6	-0,8
Gemerek	1171	39^0 11'	-3,0	-1,5	4,1	9,7	14,0	18,1	21,4	21,2	16,8	11,0	4,6	-0,4
Hafik	1275	39^0 51'	-5,2	-2,9	1,5	8,3	12,2	15,4	18,2	18,3	14,9	9,1	3,1	-1,7
İmranlı	1660	39^0 53'	-6,2	-5,6	-1,0	6,8	10,8	15,1	18,7	19,4	14,5	8,9	1,4	-2,4
Şarkışla	1180	39^0 21'	-3,2	-2,1	3,2	9,1	13,5	17,0	20,3	20,3	16,7	11,4	4,9	-0,4
Ulaş	1350	39^0 26'	-2,8	-2,4	2,7	8,5	12,8	15,9	19,4	19,4	15,0	9,9	4,9	-0,4
Yıldızeli	1415	39^0 52'	-5,0	-1,7	1,8	7,8	12,1	14,9	18,1	17,9	14,4	8,9	3,2	-1,4
Zara	1347	39^0 54'	-3,5	-2,5	2,5	8,5	13,0	16,6	19,7	19,7	15,9	10,6	4,3	-0,8
Kayseri	1093	38^0 45'	-1,8	0,2	4,8	10,6	15,2	19,2	22,6	22,1	17,3	11,6	5,3	0,6
Felahiye	1300	39^0 06'	-2,0	-1,5	2,7	9,0	13,0	16,7	20,1	20,2	15,9	10,7	4,6	0,2
Sarıoğlan	1150	39^0 05'	-2,6	-1,5	3,7	10,4	14,4	18,1	21,5	22,0	17,4	11,8	4,5	-0,1

EK-C1: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası DSİ Depolama Tesisleri (baraj, gölet) (DSİ, 2018)

S. No	İli	İlçe	Tesis Adı	Tesis Tipi	Aşaması	Min Su Kotu	Norm. Su Kotu	Maks. Su Kotu	Depolama Hacmi	Min. Su Kotunda Göl Hacmi	Nor. Su Kotunda Göl Hacmi	Maks. Su Kotunda Göl Hacmi	Sulama Faydası
						(m)	(m)	(m)	(hm³)	(hm³)	(hm³)	(hm³)	(ha)
1	Sivas	İmranlı	İmranlı	Baraj	İşletme	1631.40	1652.00	1655.58	62.50	6.54	62.50	86.27	9819
2	Sivas	Zara	Akören	Baraj	İşletme	1421.43	1434.88	1436.60	3.07	0.42	3.07	3.59	1018
3	Sivas	Hafik	Pusat - Özen	Baraj	İşletme	1452.00	1494.00	1496.26	95.25	6.00	95.25	106.80	10599
4	Sivas	Merkez	Dört Eylül	Baraj	İşletme	1355.00	1390.60	1393.70	85.05	4.45	85.05	114.38	0
5	Sivas	Merkez	Demiryazı	Baraj	İşletme	1597.96	1613.78	1615.25	1.53	0.18	1.53	1.76	660
6	Sivas	Merkez	Gazibey	Baraj	İşletme	1409.55	1431.60	1434.87	18.53	2.00	18.53	35.00	2385
7	Sivas	Ulaş	Örenlice	Baraj	İşletme	1595.07	1613.20	1615.29	5.11	0.35	5.11	6.34	1349
8	Sivas	Ulaş	Karacalar	Baraj	İşletme	1402.00	1419.60	1419.60	43.60	3.80	43.60	43.38	4100
9	Sivas	Yıldızeli	Güneykaya	Baraj	İşletme	1433.70	1461.00	1462.23	15.51	1.86	15.51	16.52	3588
10	Sivas	Yıldızeli	Nevruz	Baraj	İşletme	1300.60	1320.15	1320.75	22.12	3.03	22.12	23.31	5500
11	Sivas	Şarkışla	Maksutlu	Baraj	İşletme	1293.00	1301.50	1303.46	2.95	0.40	2.95	3.97	450
12	Sivas	Şarkışla	Kanak	Baraj	İşletme	1338.10	1356.81	1358.82	23.67	3.17	23.67	27.48	2313
13	Sivas	Şarkışla	Yapıaltın	Baraj	İşletme	1282.00	1301.50	1303.12	14.60	0.86	14.60	17.19	2153
14	Kayseri	Sarıoğlan	Sarıoğlan	Baraj	İşletme	1250.80	1261.80	1263.37	25.60	5.20	25.60	30.20	5756
15	Sivas	İmranlı	Delice	Gölet	İşletme	1659.70	1672.20	1673.80	1.16	0.04	1.16	1.32	267
16	Sivas	Zara	Kemeriz	Gölet	İşletme	1475.00	1486.00	1487.00	2.08	0.36	2.08	2.43	428
17	Sivas	Merkez	Çeltek	Gölet	İşletme	1563.38	1573.28	1574.54	1.49	0.20	1.49	1.78	317.1
18	Sivas	Merkez	Hayranlı	Gölet	İşletme	1436.00	1447.50	1448.15	0.79	0.05	0.79	0.85	164
19	Sivas	Merkez	Tutmaç	Gölet	İşletme	1398.40	1403.00	1404.03	0.87	0.19	0.87	1.01	163
20	Sivas	Merkez	Armutlu	Gölet	İşletme	1408.50	1419.40	1419.81	1.34	0.06	1.34	1.48	273
21	Sivas	Merkez	Harmancık	Gölet	İşletme	1373.70	1379.25	1380.93	3.50	0.82	3.50	4.92	520
22	Sivas	Merkez	Üçtepe	Gölet	İşletme	1347.20	1349.80	1351.10	1.01	0.46	1.01	1.20	212
23	Sivas	Merkez	Elbeyli	Gölet	İşletme	1396.40	1400.95	1401.95	0.67	0.14	0.67	0.68	179
24	Sivas	Merkez	Yıldız	Gölet	İşletme	1465.30	1478.60	1480.02	8.24	0.55	8.24	9.81	1723
25	Sivas	Ulaş	Küpeli	Gölet	İşletme	1545.03	1547.57	1548.68	0.40	0.12	0.40	0.59	64
26	Sivas	Ulaş	Gülbahçe	Gölet	İşletme	1557.60	1581.60	1582.60	1.58	0.12	1.58	1.77	577
27	Sivas	Ulaş	Karaşar	Gölet	İşletme	1448.64	1458.95	1459.68	0.57	0.08	0.57	0.63	165
28	Sivas	Ulaş	Şenyurt	Gölet	İşletme	1673.17	1682.73	1683.58	1.54	0.12	1.54	1.76	335
29	Sivas	Ulaş	Karacalar	Gölet	İşletme	1442.20	1447.28	1448.80	0.59	0.19	0.59	0.77	118
30	Sivas	Yıldızeli	Küçükhöyük	Gölet	İşletme	1384.50	1392.00	1393.00	1.17	0.13	1.17	1.42	260
31	Sivas	Yıldızeli	Avcıpınar	Gölet	İşletme	1446.70	1455.00	1456.00	1.14	0.13	1.14	1.70	252
32	Sivas	Yıldızeli	Kıldır	Gölet	İşletme	1364.45	1373.10	1374.75	2.25	0.34	2.25	2.87	490
33	Sivas	Yıldızeli	Çağlayan	Gölet	İşletme	1533.50	1541.44	1542.77	1.35	0.19	1.35	1.67	246
34	Sivas	Yıldızeli	Yakup	Gölet	İşletme	1453.30	1466.75	1467.48	0.67	0.05	0.67	0.73	233
35	Sivas	Yıldızeli	Kaleköy	Gölet	İşletme	1519.85	1528.20	1529.00	0.24	0.05	0.24	0.49	100
36	Sivas	Altınyayla	Boğazdere	Gölet	İşletme	1518.20	1522.00	1523.00	0.51	0.19	0.51	0.64	55
37	Sivas	Altınyayla	Kurucagöl	Gölet	İşletme	1474.47	1478.00		1.87	0.32	1.87	1.97	273
38	Sivas	Altınyayla	Deliilyas	Gölet	İşletme	1521.00	1530.00	1531.75	3.62	0.56	3.62	4.93	398
39	Sivas	Altınyayla	Güzeloğlan	Gölet	İşletme	1484.60	1487.80	1489.10	1.49	0.77	1.49	1.83	174
40	Sivas	Şarkışla	Kızılcakışla	Gölet	İşletme	1285.50	1296.00	1297.53	3.00	0.48	3.00	3.53	504
41	Sivas	Gemerek	Yumağın	Gölet	İşletme	1256.60	1270.60	1272.51	3.18	0.34	3.18	3.65	727
42	Sivas	Gemerek	Karagöl Sahli	Gölet	İşletme	1266.50	1274.50	1275.75	1.38	0.32	1.38	1.64	243
43	Sivas	Gemerek	Kömeviran	Gölet	İşletme	1263.00	1265.34	1268.10	0.28	0.07	0.28		56
44	Kayseri	Sarıoğlan	Ebulhayır	Gölet	İşletme	1369.60	1381.70	1383.51	1.50	0.47	1.50	1.97	396

EK-C2: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası DSİ Depolama Tesisleri (İnşaat, Proje, Planlama) (DSİ, 2018)

S. No	İli	İlçe	Tesis Adı	Tesis Tipi	Aşaması	Min Su Kotu	Norm. Su Kotu	Maks. Su Kotu	Depolama Hacmi	Min. Su Kotunda Göl Hacmi	Nor. Su Kotunda Göl Hacmi	Maks. Su Kotunda Göl Hacmi	Sulama Faydası
						(m)	(m)	(m)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(ha)
1	Sivas	Gemerek	Kartalkaya	Baraj	İnşaat	1284.00	1306.65	1309.23	33.16	3.99	33.16	37.97	3799
2	Sivas	Merkez	Kervansaray	Gölet	İnşaat	1478.50	1490.80	1492.10	0.95		0.95		338
3	Sivas	Ulaş	Baharözü	Gölet	İnşaat	1501.69	1507.41	1509.03	0.94	0.23	0.94	1.24	242
4	Sivas	Merkez	Haydarlı	Gölet	İnşaat	1366.93	1372.02	1372.52	0.18	0.05	0.18	0.20	48
5	Sivas	İmranlı	Türkkeşlik	Gölet	İnşaat	1697.50	1722.00	1723.47	2.03	0.08	2.03	2.24	738
6	Sivas	Ulaş	Ovacık	Gölet	İnşaat	1678.50	1686.93	1687.63	0.39	0.05	0.39	0.45	122
7	Sivas	Şarkışla	Bozkurt	Baraj	Proje	1228.00	1246.00	1248.96	20.90	5.35	20.90	29.06	3500
8	Sivas	Gemerek	Çepni	Baraj	Proje	1241.03	1264.35	1265.02	5.61	0.23	5.61	5.92	1362
9	Sivas	Merkez	Başsöğüt	Gölet	Proje	1461.90	1472.00	1473.31	2.05	0.28	2.05	2.41	569
10	Sivas	Merkez	Haraç	Gölet	Proje	1393.29	1397.71	1398.35	0.30	0.07	0.30	0.35	73
11	Sivas	Merkez	Herekli	Gölet	Proje	1412.00	1417.42	1418.59	0.33	0.09	0.33	0.41	52
12	Sivas	Ulaş	Karataş	Gölet	Proje	1471.60	1475.38	1476.23	0.70	0.30	0.70	0.84	123
13	Sivas	Yıldızeli	Banaz	Gölet	Proje	1371.70	1381.00	1382.44	1.19	0.11	1.19	1.37	403
14	Sivas	Yıldızeli	Geynik	Gölet	Proje	1421.35	1432.50	1433.54	0.95	0.08	0.95	1.07	308
15	Sivas	Şarkışla	Baltalar	Gölet	Proje	1401.75	1421.60	1422.99	3.29	0.35	3.29	3.69	802
16	Sivas	Hafik	Beydilli	Baraj	Planlama				131.98	6.00	131.98		
17	Sivas	Merkez	Kurtlapa	Baraj	Planlama	1480.00	1499.10	1501.00	22.69	2.23	22.69	14.65	2238
18	Sivas	Zara	Akdeğirmen	Gölet	Planlama	1456.10	1466.98	1469.00	4.25	1.81	4.25	4.77	417
19	Sivas	Merkez	Karalı	Gölet	Planlama	1301.20	1306.54	1308.50	2.18	0.96	2.18	2.60	248
20	Sivas	Şarkışla	Faraşderesi	Gölet	Planlama	1516.10	1529.10	1530.10	1.73		1.73		363
21	Kayseri	Akkışla	Akkışla	Gölet	Planlama	1607.70	1621.91	1623.91	2.45	0.47	2.45	3.00	605
22	Kayseri	Akkışla	Sofumahmut	Gölet	Planlama	1422.70	1427.72	1429.72	2.46	1.19	2.46	2.96	320
23	Kayseri	Akkışla	Seydinali	Gölet	Planlama	1376.70	1382.53	1384.53	0.49	0.21	0.49	0.64	67
24	Kayseri	Özvatan	Taşlıkköy	Gölet	Planlama	1495.70	1501.15	1503.15	1.40	0.59	1.40	2.06	292.4

EK-C3: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Özel Sektör Depolama Tesisleri (baraj) (DSİ, 2018)

S. No	İli	İlçe	Tesis Adı	Tesis Tipi	Aşaması	Min Su Kotu	Norm. Su Kotu	Maks. Su Kotu	Depolama Hacmi	Min. Su Kotunda Göl Hacmi	Nor. Su Kotunda Göl Hacmi	Maks. Su Kotunda Göl Hacmi
						(m)	(m)	(m)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)	(hm^3)
1	Sivas	Şarkışla	Çermikler	Baraj	İşletme	1189	1190.7	1190.7	37.40	33.6	37.4	40.5
2	Kayseri	Kocasinan	Yamula	Baraj	İşletme	1070	1100	1102.5	3476.00	1400	3476.00	3476.00

EK-C4: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İ.Ö.İ. Depolama Tesisleri (gölet) (DSİ, 2018)

S.No	İli	İlçesi	Gölet Sulaması Adı	Sulama Sistemi	Depolama Hacmi (hm^3)	Sulama Alanı (ha)
1	Sivas	Zara	Karacahisar Göleti	Atıl		157
2	Sivas	Merkez	Serpincik Göleti	Açık		130
3	Sivas	Ulaş	Kertmekaracaören Göleti	Atıl	0,900	180
4	Sivas	Altınyayla	Altınyayla Göleti	Açık	1,420	284
5	Sivas	Altınyayla	Doğupınar Göleti	Açık	0,565	113
6	Sivas	Yıldızeli	Demirözü Göleti	Açık	0,600	120
7	Sivas	Yıldızeli	Arslandoğmuş Göleti	Açık	0,620	124
8	Sivas	Yıldızeli	Altınoluk Göleti	Açık	6,815	1.363
9	Sivas	Yıldızeli	Çağlar Göleti	Açık	3,000	600
10	Sivas	Yıldızeli	Ilıca Göleti	Açık	0,260	52
11	Sivas	Yıldızeli	Kerimmümin Göleti	Borulu	0,450	90
12	Sivas	Yıldızeli	Aşağıçakmak Göleti	Açık	1,020	204
13	Sivas	Yıldızeli	Ortaçakmak Göleti	Borulu	0,275	60
14	Sivas	Yıldızeli	Karacaören Göleti	Açık	1,220	244
15	Sivas	Yıldızeli	Kıvşak Göleti	Borulu	0,485	132
16	Sivas	Şarkışla	Kümbet Göleti	Açık	0,610	122
17	Sivas	Şarkışla	Döllük Göleti	Atıl	0,305	61
18	Sivas	Gemerek	Lisanlı Göleti	Açık	0,485	97
	Toplam				**19,03**	**4.178**

EK-D1:Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İşletmedeki DSİ YÜS Sulama Tesisleri (DSİ, 2018)

Sıra No	Sulama Adı	Aşaması	Sulama Yöntemi	Brüt Alan (ha)	Projeli Bitki Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)
1	Ağcainiş Regülatör Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	66	5060
2	Akören Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	1018	3118
3	Armutlu Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	273	4750
4	Avcıpınar Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	251	6504
5	Baharözü Göleti Sulaması	Insaat	Yağmurlama	242	3642
6	Boğazdere Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	55	4369
7	Çağlayan Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	246	4077
8	Çeltek Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	339	3295
9	Delice Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	267	5796
10	Deliilyas Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	398	4750
11	Demiryazı Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	660	2597
12	Ebulhayır Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	396	3597
13	Elbeyli (Durdulu) Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	179	3385
14	Gazibey Barajı Sulaması	İşletmede	Salma	2385	5582
15	Göksu Regülatörü Sulaması	İşletmede	Salma	2541	7058
16	Gülbahçe Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	577	3214
17	Güneykaya Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	3588	3185
18	Güzeloğlan Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	174	5344
19	Habeşçayı Regülatörü Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	117	5005
20	Harmancık Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	520	4247
21	Hayranlı Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	164	4559
22	İmranlı Barajı İmranlı Cazibe Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	327	3559
23	İmranlı Barajı Hafik-Zara Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	9360	3559
24	Kaleköy Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	100	2855
25	Kalın Regülatörü Sulaması	İşletmede	Salma	400	6745
26	Kanak Barajı Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	2313	3611
27	Karacalar Barajı Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	4100	3680
28	Karacalar Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	118	4595
29	Karagöl-Sahli Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	243	6935
30	Karaşar Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	165	3044
31	Kemeriz Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	428	5668
32	Kıldır Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	490	4361
33	Kızılcakışla Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	504	3587
34	Kömeviran Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	56	7655
35	Küçükhöyük Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	260	3558
36	Küpeli Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	64	4575
37	Kurucagöl Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	273	6584
38	Maksutlu Barajı Sulaması	İşletmede	Salma	450	4067
39	Nevruz Barajı Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	5500	3700
40	Örenlice Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	1349	2962
41	Pusat Özen Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	10599	3911
42	Sarıoğlan Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	6074	4178
43	Şenyurt Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	335	2779
44	Tutmaç Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	163	4094
45	Üçtepe Göleti Sulaması	İşletmede	Salma	212	4069
46	Yakup Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	233	2797
47	Yapıaltın Barajı Sulaması	İşletmede	Salma	2153	6446
48	Yıldız Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	1723	4321
49	Yıldız Regülatörü Sulaması	İşletmede	Salma	2200	4820
50	Yumağın Göleti Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	727	4306
51	Zara Kanlıgöl Göl. Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	80	3295
52	Zengi Regülatör Sulaması	İşletmede	Yağmurlama	376	3295
TOPLAM				65831	

EK-D2: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İ.Ö.İ Gölet Sulama Tesisleri (DSİ, 2018)

S.No	İlçesi	Sulama Adı	Sulama sistemi	Sulama alanı (ha)	Mevcut Bitki Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)	Projeli Bitki Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)
1	Zara	Karacahisar Göleti	Atıl	157	2870	3413.15
2	Merkez	Serpincik Göleti	Açık	130	4257	3827
3	Ulaş	Kertmekaracaören Göl.	Atıl	180	3459	2584
4	Altınyayla	Altınyayla Göleti	Açık	284	4201.43	3882.89
5	Altınyayla	Doğupınar Göleti	Açık	113	4943.32	3880.67
6	Yıldızeli	Demirözü Göleti	Açık	120	4744.85	3417.94
7	Yıldızeli	Arslandoğmuş Göleti	Açık	124	3996.77	3175.81
8	Yıldızeli	Altınoluk Göleti	Açık	1363	3984.83	3285.97
9	Yıldızeli	Çağlar Göleti	Açık	600	4767	4062
10	Yıldızeli	Ilıca Göleti	Açık	52	5138	3927
11	Yıldızeli	Kerimmümin Göleti	Borulu	135	4743	3934
12	Yıldızeli	Aşağıçakmak Göleti	Açık	204	4452	3708
13	Yıldızeli	Ortaçakmak Göleti	Borulu	60	4494	3743
14	Yıldızeli	Karacaören Göleti	Açık	244	4800	3979
15	Yıldızeli	Kıvşak Göleti	Borulu	132	4851	3984
16	Şarkışla	Kümbet Göleti	Açık	122	5562	4262
17	Şarkışla	Döllük Göleti	Atıl	61	5352	4507
18	Gemerek	Lisanlı Göleti	Açık	97	6316	4662
		TOPLAM		4178		

EK-D3: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası İ.Ö.İ YÜS Sulama Tesisleri (DSİ, 2018)

S.No	İli	İlçesi	Sulama Adı	Net sulama alanı (ha)	Mevcut Bitki Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)	Projeli Bitki Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)
1	Sivas	İmranlı	Kavalcık	44	2320	2590
2	Sivas	İmranlı	Demirtaş	3	5237	3444
3	Sivas	Zara	Sucak	35	3628	3168
4	Sivas	Zara	Kümbet	17	3395	2989
5	Sivas	Zara	Zoğallı	58	3195	2739
6	Sivas	Zara	Büyükkaya	18	2967	2571
7	Sivas	Zara	Çaypınar	28	3937	3353
8	Sivas	Zara	Kızılkale	20	2913	2536
9	Sivas	Zara	Dipsizgöl	5	2757	2421
10	Sivas	Zara	Korkut-2	13	3238	2760
11	Sivas	Zara	Korkut-1	83	3013	2604
12	Sivas	Zara	Akdeğirmen	39	3283	2800
13	Sivas	Zara	Kevenli	200	3381	2874
14	Sivas	Zara	Üngür	40	3611	3041
15	Sivas	Zara	Mestan	20	3071	2741
16	Sivas	Zara	Ilıca	148	2956	2798
17	Sivas	Hafik	Düzyayla	200	2673	2607
18	Sivas	Hafik	Sofular	21	2724	2645
19	Sivas	Hafik	İnandık	47	2249	2270
20	Sivas	Hafik	Celalli	35	2759	2673
21	Sivas	Hafik	Örencik	29	5489	2824
22	Sivas	Merkez	Armutlu	35	4980	3803
23	Sivas	Merkez	Günece	10	5295	4025
24	Sivas	Merkez	Kulyusuf	45	5597	4236
25	Sivas	Merkez	Küllük	110	5266	4007
26	Sivas	Merkez	Doğanca	33	5041	3846
27	Sivas	Merkez	Sivritepe	14	5029	3840
28	Sivas	Merkez	Yeniboğazkesen	18	5161	3930
29	Sivas	Merkez	Emirhan	89	4763	3647
30	Sivas	Merkez	İlkindi	17	4772	2655
31	Sivas	Ulaş	Ulaş DÜÇ	350	3173	3173
32	Sivas	Merkez	Dedeli	24	5303	3852
33	Sivas	Merkez	Karagömlek	19	5353	3884
34	Sivas	Merkez	Akçahan	126	5040	3952
35	Sivas	Merkez	Koyuncu	27	5363	3893
36	Sivas	Merkez	Kavlak	30	5748	4150
37	Sivas	Merkez	Sorguncuk	11	5413	3925
38	Sivas	Merkez	Aylı	25	5274	3834
39	Sivas	Merkez	Sarıdemir	10	5262	4003
40	Sivas	Merkez	Tatlıcak	20	4758	3640
41	Sivas	Merkez	Çaypınar	84	5437	3922
42	Sivas	Merkez	Herekli	42	5629	4055
43	Sivas	Merkez	Çelebiler	30	5675	3841
44	Sivas	Merkez	Yenikışla	9	5651	4083
45	Sivas	Merkez	Menşurlu	15	5241	3810
46	Sivas	Merkez	Kayadibi	19	5605	4053
47	Sivas	Merkez	Kahyalı	95	6074	4100
48	Sivas	Merkez	Karalı	38	5624	4068
49	Sivas	Merkez	Ozmuş	36	4782	3700
50	Sivas	Merkez	Gaziköy	137	5400	3832

EK-D3 (Devamı)

S.No	İli	İlçesi	Sulama Adı	Net sulama alanı (ha)	Mevcut Bitki Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)	Projeli Bitki Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)
51	Sivas	Merkez	Kurtlapa	29	5037	3590
52	Sivas	Merkez	Alahacı	72	5133	3655
53	Sivas	Merkez	Gümüşdere	106	5086	3622
54	Sivas	Merkez	Olukman	64	5133	3655
55	Sivas	Merkez	Güllüce	12	6396	4307
56	Sivas	Merkez	Bayat	83	5083	3932
57	Sivas	Merkez	Menteşe	450	5774	3940
58	Sivas	Merkez	Kartalca	30	5748	4150
59	Sivas	Merkez	Akçainiş	20	5814	4195
60	Sivas	Yıldızeli	Dereköy	59	4192	3293
61	*Sivas*	*Yıldızeli*	*Sarıkaya**	*48*	*4874*	*3754*
62	Sivas	Yıldızeli	Kavakdere	32	5156	3626
63	Sivas	Yıldızeli	Kiremitli	62	4846	3420
64	Sivas	Yıldızeli	Konaközü	71	5031	3543
65	Sivas	Yıldızeli	Karakoç	22	4992	3517
66	Sivas	Yıldızeli	Yücebaca	40	5157	3627
67	Sivas	Yıldızeli	Kapaklıkaya-Bedel	132	5416	3797
68	*Sivas*	*Yıldızeli*	*Çubuk**	*50*	*5633*	*3941*
69	Sivas	Yıldızeli	Nallıköy	15	5803	3873
70	*Sivas*	*Yıldızeli*	*Büyükakören**	*126*	*5768*	*4033*
71	Sivas	Yıldızeli	Zengi	41	4810	3507
72	Sivas	Yıldızeli	İncetaş	15	4056	3539
73	Sivas	Yıldızeli	İğnebey	53	4158	3623
74	*Sivas*	*Yıldızeli*	*Bakırcıoğlu**	*44*	*4477*	*3887*
75	Sivas	Şarkışla	Çanakçı	73	6408	3946
76	Sivas	Şarkışla	Hocabey	63	6090	3946
77	Sivas	Şarkışla	Gaziköyü	49	6205	4136
78	Sivas	Şarkışla	Yahyalı	172	5344	3925
79	Sivas	Şarkışla	Çamlıca	96	5223	3840
80	Sivas	Şarkışla	Sarıtekke	50	6127	3968
81	Sivas	Şarkışla	Alaman	225	6127	3968
82	Sivas	Şarkışla	Bozkurt	412	6585	4253
83	Sivas	Şarkışla	Yükselen	2	5935	3849
84	Sivas	Şarkışla	Karacaören	23	5223	3840
85	Sivas	Şarkışla	İğecik	49	6782	4375
86	Sivas	Şarkışla	Kazancık	15	5377	3830
87	Sivas	Şarkışla	Alaçayır	18	5529	3679
88	Sivas	Şarkışla	Çiçekliyurt	17	5346	3557
89	Sivas	Şarkışla	Ortaköy-1	98	5257	3498
90	Sivas	Şarkışla	Sivrialan	28	4901	3262
91	Sivas	Şarkışla	Ortaköy-2	53	5801	3860
92	Sivas	Şarkışla	Baltalar	8	5661	4026
93	Sivas	Şarkışla	Polatpaşa	30	5892	4186
94	Sivas	Şarkışla	Elmalı	8	5891	4185
95	Sivas	Şarkışla	Dikili	11	5941	4219
96	Sivas	Şarkışla	Büyükyüreğil	24	3446	2781
97	Sivas	Şarkışla	Kümbet	15	4628	3373
98	Sivas	Şarkışla	Bağlararası	109	6138	4092
99	Sivas	Şarkışla	Bahçealan	13	5430	3866
100	Sivas	Şarkışla	Oluktaş	9	5000	3568

EK-D3 (Devamı)

S.No	İli	İlçesi	Sulama Adı	Net sulama alanı (ha)	Mevcut Bitki Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)	Projeli Bitki Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)
101	Sivas	Altınyayla	Başyayla	8	4853	3622
102	Sivas	Altınyayla	Kale	56	5233	3878
103	Sivas	Altınyayla	Yassıpınar	29	5217	3871
104	Sivas	Gemerek	Eşikli	127	4237	3970
105	Sivas	Gemerek	Sızır	861	4766	4362
106	Sivas	Gemerek	Dendil ve Burhan	375	5148	4642
107	Sivas	Gemerek	Örenyurt	16	3739	3460
108	Sivas	Gemerek	İnkışla	76	4659	4283
109	Sivas	Gemerek	Çepni	917	5095	4598
110	Sivas	Gemerek	Akçaşar	68	5004	4538
111	Sivas	Gemerek	Akardere (Yeniköy	14	5208	4385
112	Sivas	Gemerek	Küçüktuzhisar	30	4626	3644
113	Sivas	Gemerek	Seydinali	60	5111	3764
114	Sivas	Gemerek	Yeşilöz	40	5849	4409
115	Kayseri	Akkışla	Ganişeyh	79	3882	3173
116	Kayseri	Akkışla	Akkışla	342	4193	3424
117	Kayseri	Akkışla	Gümüşsu	160	4299	3509
118	Kayseri	Akkışla	Kululu	51	4538	3700
119	Kayseri	Akkışla	Alevkışla	105	4382	3575
120	Kayseri	Akkışla	Gömürgen	50	3918	3202
121	Kayseri	Akkışla	Sofumahmut	58	4540	3496
122	Kayseri	Sarıoğlan	Keklikoğlu	100	4988	3691
123	Kayseri	Sarıoğlan	Muratbeyli	66	4988	3837
124	Kayseri	Sarıoğlan	Düzencik	14	4373	3568
125	Kayseri	Özvatan	Taşlıköy	241	4472	3365
126	Kayseri	Kocasinan	Eyim	21	2980	3679
127	Kayseri	Kocasinan	Hasancı	148	3933	4724
128	Kayseri	Kocasinan	Emmiler	17	3933	4724
	Toplam			**10096**		

EK-D4: Yukarı Kızılırmak Alt Havzası Halk Sulamaları (DSİ, 2018)

S.No	İli	İlçesi	Sulama Adı	Net sulama alanı (ha)	Mevcut Bitki Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)
1	Sivas	İmranlı	Çukuryurt	56	4916
2	Sivas	İmranlı	Boğazören	26	4980
3	Sivas	İmranlı	Keleli	8	5255
4	Sivas	İmranlı	Sandal	9	4848
5	Sivas	İmranlı	Arık	32	5274
6	Sivas	İmranlı	Cerit	40	5646
7	Sivas	İmranlı	Maden	20	4783
8	Sivas	İmranlı	Uzuntemur	22	4982
9	Sivas	İmranlı	Çayır	67	4681
10	Sivas	İmranlı	Karataş	15	4396
11	Sivas	İmranlı	Gökçebel	14	4453
12	Sivas	İmranlı	Yukarıboğaz	8	4681
13	Sivas	İmranlı	Aşağıboğaz	20	4815
14	Sivas	İmranlı	Kapımahmut	38	4878
15	Sivas	Zara	Adamfakı	200	4073
16	Sivas	Zara	Nasır	140	4029
17	Sivas	Zara	Sucak	100	4231
18	Sivas	Zara	Sucak-Muslu	90	4239
19	Sivas	Zara	Tekkeköy	110	4231
20	Sivas	Zara	Deredam	14	3175
21	Sivas	Zara	Çotuklar	13	3463
22	Sivas	Zara	Ahmethacı	14	4179
23	Sivas	Zara	Çorağın çayırı	65	4232
24	Sivas	Zara	Yeşildere	40	3385
25	Sivas	Zara	Araplarmezrası	40	3642
26	Sivas	Zara	Aşağıçamözü	30	3686
27	Sivas	Zara	Yoğunpelit	150	3794
28	Sivas	Zara	Bektaş	44	3993
29	Sivas	Zara	Girit	100	3337
30	Sivas	Zara	Yarımkaya	48	4104
31	Sivas	Zara	Mahmutağa Çift	48	4077
32	Sivas	Zara	Yayıközü-1	18	4097
33	Sivas	Zara	Yayıközü-2	100	3845
34	Sivas	Zara	Ütükyurdu	10	3099
35	Sivas	Zara	Avşar	17	3613
36	Sivas	Zara	Kaylıkaya	34	3918
37	*Sivas*	*Zara*	*Ütük*	*42*	*4134*
38	*Sivas*	*Zara*	*Batı-Ütük*	*32*	*4186*
39	Sivas	Zara	Ilıcakkışla	25	3350
40	Sivas	Hafik	Koşutdere	45	3880
41	Sivas	Hafik	Güneli	45	5806
42	Sivas	Merkez	Karacaören	140	4852
43	Sivas	Merkez	Akçammescit	65	5013
44	Sivas	Merkez	Tepeönü	78	5064
45	Sivas	Merkez	İşhanı	129	5211
46	Sivas	Merkez	Boğazkesen	68	5151
47	Sivas	Merkez	İnceyol	54	5091

EK-D4 (Devamı)

S.No	İli	İlçesi	Sulama Adı	Net sulama alanı (ha)	Mevcut Bitki Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)
48	Sivas	Merkez	Tavraboğazı	11	5735
49	Sivas	Merkez	Başsöğüt	48	6480
50	Sivas	Merkez	Karahan Çiftliği	5	6295
51	Sivas	Merkez	Çerçi Deresi	38	5360
52	Sivas	Merkez	Fılındır Yazısı	208	5493
53	Sivas	Merkez	Çallı	123	5342
54	Sivas	Merkez	Hayırbey	50	5464
55	Sivas	Merkez	Köklüce	47	5348
56	*Sivas*	*Merkez*	*Kumyurt*	*468*	*5530*
57	Sivas	Merkez	Yeniapardı	30	5387
58	Sivas	Merkez	Eskiapardı	29	5596
59	*Sivas*	*Merkez*	*Kepirlik*	*330*	*5553*
60	Sivas	Merkez	Yakupoğlan	68	4572
61	Sivas	Merkez	İmaret Güllüce	196	5431
62	*Sivas*	*Ulaş*	*Eskikarahisar*	*153*	*4109.65*
63	*Sivas*	*Yıldızeli*	*Kuzuyazıdüzü*	*167*	*4373*
64	*Sivas*	*Yıldızeli*	*Eğrenişdüzü*	*30*	*4482*
65	Sivas	Yıldızeli	Akkuzulu	44	4705
66	*Sivas*	*Yıldızeli*	*Emirler*	*28*	*4630*
67	*Sivas*	*Yıldızeli*	*Kayapınar*	*131*	*5742*
68	*Sivas*	*Yıldızeli*	*Köşker-Yazı*	*137*	*5871*
69	Sivas	Yıldızeli	Kalın	192	4648.94
70	*Sivas*	*Yıldızeli*	*Buğdayören*	*28*	*5542*
71	*Sivas*	*Yıldızeli*	*Yıldızlı*	*150*	*5727*
72	Sivas	Şarkışla	İğdeliören	27	6663
73	*Sivas*	*Şarkışla*	*Büyükakören-1*	*21*	*6197*
74	Sivas	Şarkışla	Delibayır yazısı	150	6460
75	Sivas	Şarkışla	Ağıl yazısı	86	6646
76	Sivas	Şarkışla	Büyükköz yazısı	84	6566
77	Sivas	Şarkışla	Faraş	69	4944
78	Sivas	Şarkışla	Pisik suyu	76	5971
79	Sivas	Şarkışla	Bozkurt	450	6160.86
80	Sivas	Gemerek	Keklikcek	55	6696
81	Sivas	Gemerek	Horuk	411	6010
82	Sivas	Gemerek	Eskiçubuk	120	6749
83	Sivas	Gemerek	Sarıgüney	5	5732
84	Sivas	Gemerek	Durgunsu	35	5472
85	Sivas	Gemerek	Çatköy	58	4978
86	Sivas	Gemerek	Çatalsuyu	65	4557
87	Sivas	Gemerek	Ayanözü	112	5275
88	Sivas	Gemerek	Arpaözü	140	5275
89	Sivas	Gemerek	Dendil	131	6458
90	Sivas	Gemerek	Tekmen	500	6490
91	Tokat	Merkez	Akyurt	45	5897
92	Tokat	Merkez	Aşağıfırındere	105	4775
93	Kayseri	Akkışla	Acısu	50	5529
	Toplam			**8029**	

EK-D5: DSİ Planlama, Proje ve İnşaat Aşamasındaki YÜS Sulama Tesisleri (DSİ, 2018)

Sıra No	Sulama Adı	Aşaması	Sulama Tipi	Brüt Alan (ha)	Projeli Su İhtiyacı (m^3/ha/yıl)
1	Kartalkaya Barajı Sulaması	İnşaat	Kapalı	3.799	4.059
2	Baltalar Göleti Sulaması	Proje	Kapalı	802	3.235
3	Banaz Göleti Sulaması	Proje	Kapalı	403	2.670
4	Başsöğüt Göleti ve Sulaması	Proje	Kapalı	569	3.103
5	Bozkurt Barajı Sulaması	Proje	Kapalı	3.500	4.117
6	Çepni Barajı Sulaması	Proje	Kapalı	1.362	3.873
7	Haraç Göleti Sulaması	Proje	Kapalı	73	3.777
8	Haydarlı Göleti Sulaması	Proje	Kapalı	48	3.725
9	Geynik Göleti ve Sulaması	Proje	Kapalı	308	2.864
10	Herekli Göleti Sulaması	Proje	Kapalı	52	3.713
11	İmranlı Barajı İmranlı Pompaj Sulaması	Proje	Kapalı	132	3.551
12	Karataş Göleti ve Sulaması	Proje	Kapalı	123	3.211
13	Kervansaray Göleti ve Sulaması	Proje	Kapalı	338	3.248
14	Türkkeşlik Göleti Sulaması	Proje	Kapalı	738	2.719
15	Ovacık Göleti Sulaması	Proje	Kapalı	122	2.706
16	Sızır Kaynakları Sulaması	Planlama	Kapalı	3.000	3.000
17	Kurtlapa Barajı Sulaması	Planlama	Kapalı	2.968	3.309
18	Faraşderesi Göleti ve Sulaması	Ön İnceleme	Kapalı	363	4.117
	TOPLAM			**18.700**	