

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ETİYOPYA'DA TEFF ÜRETİMİNİN SU AYAK İZİ DEĞERLENDİRMESİ

Meka Taher YIMAM

ENTEGRE SU YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2023

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ETİYOPYA’DA TEFF ÜRETİMİNİN SU AYAK İZİ DEĞERLENDİRMESİ

Meka Taher YIMAM

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Entegre Su Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Gökşen ÇAPAR

Etiyopya'nın başlıca bitkilerinden birisi olan teff, tarımsal gelir ve gıda güvencine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Su kaynakları üzerindeki baskıya işaret eden göstergelerden birisi de su ayak izidir. Tedarik zincirinde tatlı suyun nasıl ve nerede kullanıldığına dair faydalı bir bakış açısı sağlayan su ayak izi göstergesi karar alma süreçlerini kolaylaştırmaktadır. Tarımsal üretimde bitkinin ihtiyaç duyduğu suyun etkili yağıştan karşılanan kısmı yeşil su ayak izi, yeraltı veya yüzey suyundan karşılanan sulama suyu ise mavi su ayak izi olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, 2019-2020 üretim dönemi için Etiyopya’da teff bitkisinin en fazla üretildiği bölgelerde su ayak izini belirlemektir. Çalışma aynı zamanda teff bitkisinin belirtilen yıldaki ekonomik su verimliliğini hesaplamayı amaçlamaktadır. Etiyopya’da tef üretiminin su ayak izi CROPWAT 8.0 ve CLIMWAT 2.0 uygulamaları kullanılarak hesaplanmıştır. Seçilen bölgeler için ortalama etkili yağış (Peff) 330 mm iken, teff bitkisinin büyüme dönemindeki ortalama su ihtiyacı 309 mm’dir. Teff bitkisinin toplam su ayak izi seçilen bölgeler için ortalama 3089 m³/ha olmuştur. Teff üretiminin 2019/2020 yılında toplam su ayak izi 9 milyar m³ olarak gerçekleşmiştir. Yeşil su ayak izi bileşeni, yıllık toplam su ayak izinin %78’ini oluşturmakta, kalan %22’si ise mavi su ayak izini temsil etmektedir. Teff’in ton başına toplam su ayak izi 1772 m³’tır. Teff’in 2019/2020 üretim dönemindeki ekonomik su verimliliği 0.68 USD/m³ olarak gerçekleşmiştir.

Ocak 2023, 85 sayfa

Anhatar kelimeler: CROPWAT, Etiyopya, mavi su ayak izi, teff, yeşil su ayak izi

ABSTRACT

Masters Thesis

WATER FOOTPRINT ANALYSIS OF TEFF PRODUCTION IN ETHIOPIA

Meka Taher YIMAM

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Integrated Water Management

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökşen ÇAPAR

Teff is the most important crops of Ethiopia, contributing significantly to agricultural income and food security. Water footprint (WF) is one of the indicators used to show the pressure on water resources. It provides a useful perspective on how and where freshwater is used in the supply chain, which facilitates decision-making processes. In agricultural production, the part of water requirement of the crop that is met from the effective precipitation (Peff) is called green water footprint and irrigation water requirement that is met from ground or surface water is called blue water footprint. The goal of this study is to determine the water footprint (WF) of teff production in the four largest teff-producing Ethiopian regions for the 2019–2020 production period. The study also aims to calculate the economic water productivity of the teff crop in the specified year. The water footprint of teff production was computed using the CROPWAT 8.0 and CLIMWAT 2.0 models. The average effective rainfall (Peff) was 330 mm, while the average teff crop water requirement was 309 mm per growing season. Teff's average water footprint was 3089 m³/ha. The overall water footprint of the teff crop across the country in 2019/2020 was 9 billion m³. The green water footprint component accounts for 78% of the overall annual WF. The remaining 22% represents the blue water footprint. The total water footprint of teff per ton was 1777 m³. Teff's economic water productivity in the 2019/2020 production period was 0.68 USD/m³.

January 2023, 85 pages

Key Words: Blue water footprint, CROPWAT, Ethiopia, green water footprint, teff

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezine ulaşmayı mümkün kılan herkesi selamlamak istiyorum. Tezimin sonuna kadar gösterdiği rehberlik, destek ve coşkudan dolayı danışmanım Doç.Dr.Gökşen ÇAPAR 'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Onun yardımı ve desteği olmadan çalışmamın mümkün olamayacağına yürekten inanıyorum. Türkiye'deki çalışmalarımı burada üstlenme fırsatını bana bahşeden Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na (YTB) şükranlarımı sunuyorum. Son olarak, her biri hayatıma büyük neşe getiren arkadaşlarıma ve aileme, bu çaba boyunca duydukları sevgi ve destek için teşekkür ederim.

Meka Taher YIMAM
Ankara, Ocak 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	6
2.1 Etiyopya'nın Su Kaynakları.....	8
2.2 Etiyopya'da Sektörel Su Kullanımı	15
2.3 Nil Havzası ve Etiyopya'nın Büyük Rönesans Barajı (GERD)	16
2.4 Etiyopya'nın Sulama Amaçlı Su Kaynakları.....	20
2.5 Etiyopya'da Su Kaynakları Yönetimi	22
2.6 Su Kaynaklarının Geliştirilmesindeki Zorluklar	26
2.7 Etiyopya'da Teff Üretimi.....	27
2.8 Etiyopya'da İklim Değişikliği ve Teff Üretimi.....	31
2.9 Su Ayak İzi Kavramı	35
2.9.1 Su ayak izi değerlendirmesi.....	35
2.9.2 Bitkinin yeşil su ayak izi hesaplanması	38
2.9.3 Bitkinin mavi su ayak izinin hesaplanması.....	39
2.9.4 Bitkinin gri su ayak izinin hesaplanması	39
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	41
3.1 Çalışma Alanı	41
3.2 Potansiyel Evapotranspirasyon	43
3.3 Evapotranspirasyon (ET _c)	44
3.4 Bitki Su İhtiyacı (CWR)	46
3.5 Yeşil Su Ayak İzi (WF _{yeşil}).....	47
3.6 Mavi Su Ayak İzi (WF _{mavi})	47
3.7 CROPWAT Giriş Verileri.....	49

3.7.1 Meteorolojik veriler	49
3.7.2 Bitki parametreleri.....	51
3.8 Teff Bitkisinin Su Ayak İzi ve Ekonomik Su Verimliliği	52
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	54
4.1 Etiyopya'da Teff Üretilen Başlıca Bölgeler.....	54
4.2 Teff Su İhtiyacı	55
4.2.1 Teff su tüketimi (ET)	55
4.2.2 Etkili yağış (Peff).....	55
4.2.3 Yeşil ve mavi su ihtiyacı.....	56
4.3 Yeşil Su, Mavi Su ve Toplam Su Ayak İzi	57
4.3.1 Teff Bitkisinin (m ³ /ha Cinsinden) su ayak izi bileşenleri	57
4.3.2 Teff Bitkisinin (m ³ /yıl Cinsinden) su ayak izi bileşenleri	58
4.3.3 Teff Bitkisinin (m ³ /ton Cinsinden) su ayak izi bileşenleri	61
4.4 Ekonomik Su Verimliliği ve Su Ayak izi.....	64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR	71
EKLER.....	78
EK 1 CROPWAT ile Bölgelerde Bulunan İstasyonlardan Elde Edilen Sonuçlar ..	79
EK 2 CROPWAT Yazılımı Ekran Görüntüleri	83
ÖZGEÇMİŞ.....	85

KISALTMALAR DİZİNİ

ETC	Bitki evapotranspirasyonu
ET ₀	Referans Evapotranspirasyon
EWP	Ekonomik su verimliliği
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
K _C	Bitki katsayısı
USAID	Birleşik Devletler Uluslararası Kalkınma Dairesi
WF	Su ayak izi
WF _{Yeşil}	Yeşil su ayak izi
WF _{Mavi}	Mavi su ayak izi
WFN	Su Ayak İzi Ağı
UNESCO	Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
CSA	Etiyopya Merkez İstatistik Kurumu
SNNPR	Güney Ülkeleri, Milliyetler ve Halkların Bölgesel Devleti
GERD	Büyük Etiyopya Rönesans Barajı
MOWR	Etiyopya Su Kaynakları Bakanlığı
BMC	Milyar metreküp

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Etiyopya haritası (ArcGIS map)	7
Şekil 2.2 Etiyopya’da yıllık ortalama yağış miktar (mm) (.....	8
Şekil 2.3 Etiyopya nehir havzaları haritası (Berhanu, Seleshi, & Melesse, 2014)	9
Şekil 2.4 Etiyopya’da sektörel su kullanımı	16
Şekil 2.5 GERD projesine ve rezervuar alanına bir bakış.....	18
Şekil 2.6 Teff bitkisi, tohumu ve unu.....	29
Şekil 3.1 Etiyopya'daki teff üretim bölgelerinin haritası	42
Şekil 3.2Teff bitkisinin WF değerlendirmesinin diyagramı	43
Şekil 3.3 Dikimden hasat dönemine kadar genelleştirilmiş bitki katsayı eğrisi	45
Şekil 3.4 CLIMWAT 2.0 Etiyopya hava istasyonlarının konumu.....	50
Şekil 4.1 Teff üretiminin yeşil ve mavi su ayak izlerinin oranları.....	60
Şekil 4.2 Teff üretiminin yeşil, mavi ve toplam su ayak izi (m ³ /ton).....	62
Şekil 4.3 Teff ve başlıca Etiyopya bitkileri su ayak izi.....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Nehir havzalarının özellikleri	10
Çizelge 2.2 Etiyopya'nın başlıca nehir havzalarının verileri	12
Çizelge 2.3 Etiyopya su kaynakları verileri	20
Çizelge 2.4 Etiyopya su kurumları ve sorumluluklar.....	25
Çizelge 2.5 Tahıl ve susam üretim ile pazar fazlası (2013/2014).....	28
Çizelge 2.6 Etiyopya'da ana (meher) sezonda hububat alanı, üretim, verim (2019/2020) (CSA, 2020)	31
Çizelge 3.1 Etiyopya'da teff üretim verimi (2018/2019 ve 2019/2020).....	41
Çizelge 3.2 Teff bitkisinin büyüme verileri	52
Çizelge 4.1 Öncelikli bölgelerde teff üretim verileri (2019/2020)	54
Çizelge 4.2 Teff sulanan alanlar (2019/2020).....	55
Çizelge 4.3 Etiyopya'da teff bitkisinin su ihtiyacı bileşenleri	57
Çizelge 4.4 Teff bitkisinin yeşil, mavi ve toplam su ayak izi (m ³ /ha).....	58
Çizelge 4.5 Teff bitkisinin yeşil, mavi ve toplam su ayak izi (milyar m ³ /yıl)	59
Çizelge 4.6 Nehir havzaları su potansiyeli ve teff'in toplam su ayak izi.....	61
Çizelge 4.7 Teff değer zinciri maliyeti ve fiyatı	64

1. GİRİŞ

Ekosistemin sürdürülmesinde hayati bir rol oynayan su, canlılar için önemli bir kaynaktır. Su yenilenebilir bir kaynaktır, ancak bu kullanılabilirliğinin sınırsız olduğu anlamına gelmemektedir. Belli bir dönemde, yeraltı suyu rezervlerini besleyen ve bir nehirden akan su her zaman belirli bir miktarla sınırlıdır (David Zilberman 2020). Dünya yüzeyinin büyük bir kısmı su ile kaplı olsa da, tatlı su formundaki mevcudiyeti azdır ve dünya çapında eşit olarak dağılmamıştır. Tatlı su, dünyadaki tüm suyun sadece %2,5'ini oluşturur. Ayrıca, tatlı su buzul, kutup ve kalıcı kar örtüsü şeklinde mevcuttur, bu da tatlı suyun sadece %0.001'inin insanlar için erişilebilir olduğunu göstermektedir (Zeman, Rich, & Rose, 2006). Son yıllarda su, dünyanın en kritik konularından biri haline gelmiştir. Bugünlerde dünyadaki birçok insan neredeyse tüm gün su aramaktadır (Thakare, 2019). UNESCO'ya (2018) göre, nüfus artışı, ekonomik gelişme ve diğer faktörler nedeniyle küresel su talebi her yıl %1 oranında artmaktadır ve önümüzdeki 20 yıl içinde artmaya devam edecektir. Raporda ayrıca, şu anda yılda en az bir ay boyunca 3,6 milyar insanın su kıtlığı bölgesinde yaşadığı belirtilmekte, bu sayının önümüzdeki 30 yıl içinde 4,8-5,7 milyar artacağı tahmin edilmektedir. Su kıtlığı, Mekonnen & Hoekstra (2016) tarafından genellikle mevsimsel bir fenomen olarak ve mevsimsel su mevcudiyetinin büyük olasılıkla yıl boyunca iklim değişikliğine bağlı olarak değiştiği fiziksel kıtlık olarak açıklanmaktadır. Raporda, dünya su kullanımının son yüzyılda altı kat arttığı ve yılda yaklaşık %1 oranında hızla büyümeye devam ettiği belirtilmektedir.

Genel küresel su kullanımına ilişkin tahminler, son kullanımları üç kategoriye ayırmaktadır: tarımsal, endüstriyel (ticari dahil) ve evsel. Tarımsal kullanım %70, endüstriyel kullanım %22 ve evsel kullanım küresel tatlı suyun %8'i'dir. Kıtlık ve aşırı sömürü nedeniyle daha önce de belirtildiği gibi, tatlı su tüm dünyadaki en değerli kaynaktır. Tatlı su bilinçli olarak geliştirilmiş stratejilerle kullanılmadığı sürece sosyal, çevresel ve sosyal sorunlar yaratacaktır (Ridoutt & Pfister, 2010).

Gıda ve Tarım Örgütü' ne (FAO, 2021) göre, 2050 yılında gezegenimizin tahmini 9 ila 10 milyar insanı beslemesi gerekecektir. Bu miktara yaklaşmak için çok daha fazla suya ihtiyacımız olacaktır. Su kaynaklarının kullanımı devam ederken gıda güvencesinin

sağlanması bugünkü ve gelecek nesiller için büyük bir sorundur. Damla başına daha fazla ürün üretilmemiz için su verimliliğini nasıl artıracamız kritik bir sorudur.

Su kaynaklarının sürdürülebilirliği giderek daha fazla baskı altındadır. Küresel olarak tatlı su mevcudiyeti giderek azalmaktadır (UNESCO , 2009). Bu eğilim, dünya nüfusu büyüdükçe, gelişmekte olan ekonomiler tüketim seviyelerini artırdıkça ve iklim değişikliğinin etkileri yaşandıkça devam edecektir. 2050 yılına gelindiğinde gıda tarımına olan talebin artması nedeniyle üretimin 2012 yılındaki gıda talebine göre %50 artırılması gerekecektir. Bu, bitki üretimini artırmak için daha fazla suya ihtiyaç duyulacağı anlamına gelmektedir. 2011 yılında tarımsal üretimin küresel su ayak izi 8362 km³/yıl olup, bunun %80'i yeşil su ayak izidir. Tarımda verimli su yönetimi uygulanarak hızla artan gıda talebi sağlanabilir ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı yoksulluğu ve açlığı hafifletebilir (Mekonnen & Gerbens-Leenes, 2020).

Endüstriler ve işletmeler su sorununun farkındadır, ancak etkili bir şekilde yanıt verebilmek için daha sürdürülebilir uygulamalara doğru ilerlemek için araçlara ve standartlara ihtiyaçları vardır. Suyun etkin kullanımını ele almak için böyle bir araç su ayak izi göstergesi olabilir. Su ayak izi (WF), hem doğrudan hem de dolaylı olarak tüketilen toplam su miktarını hesaplamak için kullanılabilir. Kullanımı önce sayısallaştırmayı, ardından bir ürün, işlem veya hizmet genelinde su tüketimini azaltmayı amaçlamaktadır (Dhlamini, ve diğerleri, 2013).

Su ayak izi fikri, üretim sistemlerinin su tüketimini ölçmek için bir araç olarak sunulmuştur (Hoekstra & P.Q.Hung, 2002). Su ayak izi, tüm tedarik zincirinde tüketilen ve kirlenen toplam tatlı su miktarını dikkate alan çevresel bir göstergedir. Bir üreticinin veya tüketicinin doğrudan ve dolaylı su kullanımını kapsamaktadır. Su kaynakları yönetimine yardımcı olmak ve tüketim modellerini değiştirmek veya su verimliliğini artırmak gibi su kıtlığıyla başa çıkmak için kullanılabilir.

Su ayak izi, malların ihracatı ve ithalatı yoluyla, ülkeler arasındaki karşılıklı bağımlılıkları su perspektifinden anlamak için de kullanılmaktadır. Ayrıca, havza, akifer

veya ülke gibi belirli bir alandaki su tüketiminin sürdürülebilir olup olmadığını belirlemek için de kullanılabilir (Mekonnen & Hoekstra, 2016).

Doğu Afrika'nın Su Kulesi olarak bilinmesine rağmen, yıllık su kaynağının 122 milyar m³ (Nil Nehri'ne akan 76,6 milyar m³) ve kullanılabilir yeraltı suyu kaynağının yılda 30 milyar m³ olduğu tahmin edilen Etiyopya, toplam yenilenebilir su kaynaklarının %5'inden daha azını tarımda kullanmaktadır. Etiyopya'nın ekonomisi ağırlıklı olarak tarıma bağımlıdır ve tarım, endüstriyel ve evsel su kullanımına kıyasla baskın su kullanım sektörüdür. Bu nedenle, tarım Etiyopya ekonomisinin bel kemiğidir; ihracat kazancının %70'ine, istihdamın %80'ine ve ülkenin gayri safi yurtiçi hasılasının %40,2'sine katkıda bulunmaktadır (UNESCO, 2015). Bununla birlikte, Etiyopya, yetersiz ve güvenilmez yağışlar nedeniyle gıda güvencesizliğine yol açan tekrarlayan kuraklıktan da muzdariptir.

2016 yılında, Su Ayak İzi Ağı (WFN, 2016), Etiyopya'nın mısır, pamuk, sorgum, kahve ve benzeri başlıca bitkilerinin su ayak izi çalışmasını yayınlamıştır. Bu çalışmaya göre Etiyopya'da tarımsal üretimin yıllık yeşil su ayak izinin %25'i otlatma için kullanılmaktadır. Bitkisel üretimde %75 oranında tüketilmektedir. Bu çalışma, Etiyopya'nın tarımsal ürün üretimi için yıllık yeşil su ayak izinin 56,5 milyar m³, yıllık mavi su ayak izinin ise 1,17 milyar m³ olduğu sonucuna varmıştır. Etiyopya'nın yıllık toplam su ayak izinin 1996 ile 2005 yılları arasında 77,8 milyar m³ olduğu tahmin edilmiştir. Etiyopya'nın toplam su ayak izi içinde bitkisel üretimin payı %97 yeşil, %2 mavi ve %1 gri; endüstriyel üretimin payı %5 mavi ve %95 gri; evsel su kullanımının payı ise %10 mavi ve %90 gridir (Hirpa, Adane, Asrat, & Dessie Nedaw, 2022).

Teff, buğday, mısır, arpa, sorgum ve darı Etiyopya'da yetiştirilen başlıca tahıl ürünleridir. Teff (*Eragrostis teff*), 2019/2020'de %24,11 oranı ile herhangi bir bitkinin en yüksek ekili alan payına sahiptir. Ardından %17,68 oranı ile mısır gelmektedir (CSA, 2020). Teff, üretim hacmi bakımından mısırdan sonra ikinci sıradadır. Ancak piyasa fiyatı bazen mısırın iki veya üç katıdır. Teff, tahıl üretiminin toplam değerinin çoğunluğunu oluşturmaktadır. Teff 6,2 milyon çiftçi tarafından yetiştirilmektedir.

Teff, yüksek talep gören ve piyasa fiyatı daha yüksek olan ana tahıl ürünü olmasına rağmen, su ayak izleri üzerine yapılan önceki araştırmaların hiç birinde ulusal düzeyde incelenmemiştir. Etiyopya'da buğday, sorgum ve arpaya benzer, önemli talep ve daha yüksek piyasa fiyatı ile önemli bir tahıl ürünü olmasına rağmen, teff bazen buğday veya pirinç gibi ana ürünlere kıyasla daha az dikkat çektiği için "terk edilmiş bir ürün" olarak adlandırılır (Minten, taffesse, & Brown, 2018). Tarımsal su tüketiminin hacminin ve yapısının kapsamlı ve doğru bir değerlendirmesi, su kullanım verimliliğini artırmanın ve su kaynaklarını etkin bir şekilde yönetmenin anahtarıdır. Buna göre, bu araştırma karar vericilere tarım sektöründe optimum su kullanımını sağlamak için su kullanımına öncelik vermede yardımcı olabilir. Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı, ülkenin gıda güvencesizliği sorununun üstesinden gelmeye yardımcı olan tarımsal üretimin artmasına neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı; 2019/2020 döneminde Etiyopya'da teff üretiminin su ayak izini değerlendirmektir. Teff öncelikle Etiyopya'da kuru tarım ile üretilen bir ürün olduğundan, bu çalışmanın temel amaçlarından biri teff üretiminin yeşil su ayak izini belirlemektir. Ayrıca bu çalışma, teff üretiminin belirlenen dönemdeki su ayak izinin ekonomik değerini de (USD/m³ cinsinden) değerlendirmektedir.

Yeşil ve mavi bitki su ayak izlerini tahmin etmek için referans aracı olarak Su Ayak İzi Değerlendirme Kılavuzu'nda (2011) önerilen CROPWAT modeli, çoğu su ayak izi değerlendirme çalışmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da teff bitkisel üretiminin su ayak izini hesaba katmak için CROPWAT modeli kullanılmıştır.

Bu çalışma Etiyopya'da en büyük teff üreten bölgeler (ton cinsinden) seçilerek gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, 2019/2020 yılında teff üretimi ve verimi Etiyopya Merkez İstatistik Kurumu'nun (CSA) faaliyet raporundan toplanmıştır. Rapora göre, Oromia, Amhara, Tigray ve SNNPR bölgeleri belirtilen yılda en çok teff üretilen Etiyopya bölgelerindedir. Çalışma alanlarının seçilmesinin ardından, tüm bölgesel istasyonlardan CLIMWAT 2.0 yazılımı kullanılarak meteorolojik veriler toplanmıştır. Böylece, 91 meteoroloji istasyonundan Etiyopya'da dört bölge için aylık ve mekansal olarak ortalama bitki evapotranspirasyon (ET_c) verisi elde edilmiştir. Teff'in çoğu bölgede

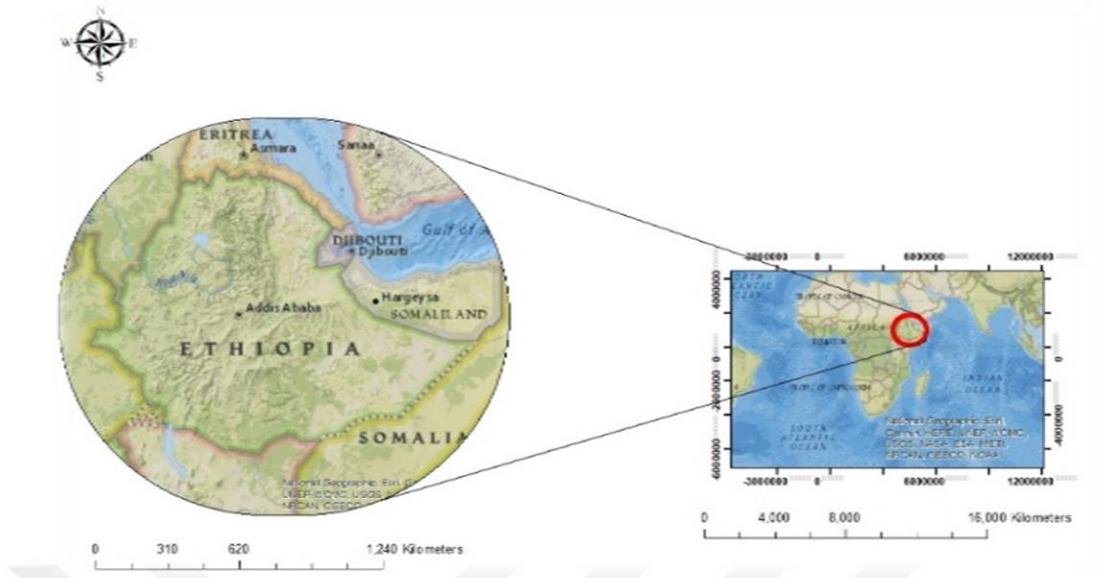
genellikle Temmuz ortası ile Ağustos başı arasında ekim yapılması nedeniyle, ekim tarihi 15 Temmuz olarak belirlenmiştir. Veri eksikliği nedeniyle, toprak verileri su ayak izi kılavuzunda önerildiği gibi ‘orta toprak’ olarak kullanılmıştır. FAO toprak sınıflandırması, tınlı toprağı orta toprak olarak sınıflandırmaktadır. Teff verilerinin ürün özellikleri farklı literatür bilgilerinden derlenmiştir.

CROPWAT modelindeki tüm verileri işledikten sonra, model gerçek ET'yi (gerçek evapotranspirasyon) ve etkili yağışları teorik yeşil ve mavi su izleri olarak çıkarmaktadır, bunlar daha sonra teff ürününün gerçek su ayak izini elde etmek için teff verimine bölünmüştür. Mavi ve yeşil ET simülasyonları için bitki su ihtiyacı (crop water requirement-CRW) tekniğı kullanılmıştır. Üretim verilerinin su ayak izi bölgeler arasında karşılaştırılmıştır ve yağış, üretim ve verim ortalamaları kullanılarak tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

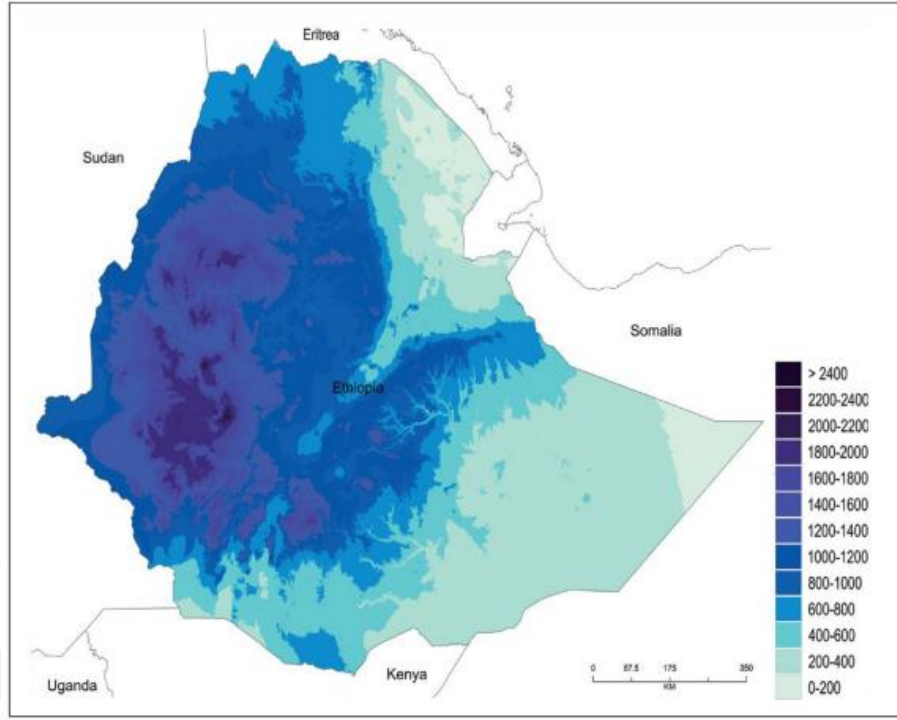
Etiyopya, Doğu Afromontane'ye (Afrika'nın dağlık bölgelerinde ve güney Arap Yarımadası'nda bulunan bitki ve hayvan türleriyle Afrotropik alt bölge) ve Afrika Boynuzu biyolojik çeşitlilik sıcak noktalarına ev sahipliği yapmaktadır. Ülke coğrafi olarak tropik bölgelerde bulunur (3 ve 15° N enlem ve 33 ve 48° E boylamı). Toplam 1,13 milyon km²'lik bir arazi alanına sahip olan Afrika'nın onuncu büyük ülkesidir. Etiyopya aynı zamanda dünyanın ve nüfusun en kalabalık kara ile çevrili ülkesidir. BM verilerine göre, Etiyopya nüfusunun 2020 ortasına kadar 114 milyon civarında olduğu ve 2050 yılına kadar 145 milyona ulaşacağı tahmin edilmektedir. Nüfusun büyümesi, ülkenin halihazırda tükenmekte olan toprak, su, gıda ve enerji kaynakları üzerinde daha fazla baskı oluşturacaktır. Etiyopya haritası Şekil 2.1'de görülmektedir.

Ulus, dramatik bir jeolojik tarih ve çok çeşitli rakımlarla ayırt edilir, doğudaki Afar Çöküntüsünden (deniz seviyesinden 125 m aşağıda) kuzeydeki görkemli Ras Dashen Dünya Mirası Dağları'na (deniz seviyesinden 4533 m yukarıda) kadar uzanır. Bu geniş yükseklik aralığı, topografya ve iklimde bir varyans kaynağı haline gelmiştir ve önemli habitat çeşitliliği, özellikle dağlık bölgelerde tür çeşitliliği ve tür endemizm merkezleri ile heterojen bir ortama yol açmıştır. Büyük Doğu Afrika Yarık Vadisi Etiyopya'nın dağlık bölgelerini kuzeybatı ve güneydoğu dağlıklarına ayırmaktadır. Sonuç olarak, bu tepeler farklı bitki çeşitleri geliştirmiştir (Mengesha, et al., 2020).



Şekil 2.1 Etiyopya haritası (ArcGIS map)

Ülkenin yağışları mevsimsel ve yıllar arası değişimlere tabidir. Etiyopya'daki yağış paterni ülke genelinde tutarlı değildir. Etiyopya'nın topografik heterojenliği, yağışların coğrafi dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu, ülkenin yağış sistemini zorlaştırmaktadır (Berhanu, Seleshi, & Melesse, 2014). Birçok çalışma, farklı konumlardaki mevsimsel ve yıllık yağışların hem artan hem de azalan yağışa yol açtığını göstermiştir. Etiyopya'nın çoğunluğu Haziran ortasından Eylül ortasına kadar büyük bir ıslak mevsime ("Kiremt" olarak bilinir) sahiptir. Şubat ayından Mayıs ayına kadar, kuzey ve orta Etiyopya'nın bazı bölümleri öngörülemeyen ve önemli ölçüde daha düşük yağışlarla ("Belge" olarak da bilinir) ikincil bir ıslak mevsim yaşar. Yağış, güneybatı dağlık bölgelerinde 2.700 mm/yıl ile kuzeydoğu Afar Ovalarında 100 mm/yıl arasında değişmektedir (Şekil 2.2) . Etiyopya yılda ortalama 850 mm veya yılda 940 km³ yağmur almaktadır (Dereje Adeba ve Gedefa Lelisa, 2021). Yıllık ortalama sıcaklık da büyük ölçüde, yaylalarda 15°C'den ovalarda 25° C'nin üzerine kadar değişmektedir. Sıcaklık artışları ve düşüşleri birçok Etiyopya bölgesinde belgelenmiştir. Abebe'ye (2017) göre, 1955 ve 2015 arasında yıllık ortalama sıcaklık 1.65°C artmıştır. 2050'lere kadar Etiyopya'nın tüm alanlarında yıllık 2.2°C (1.4-2.0°C aralığında) ısınma beklenmektedir.



Şekil 2.2 Etiyopya’da yıllık ortalama yağış miktar (mm) (Kaynak M .Asefa ve diğ (2020))

2.1 Etiyopya'nın Su Kaynakları

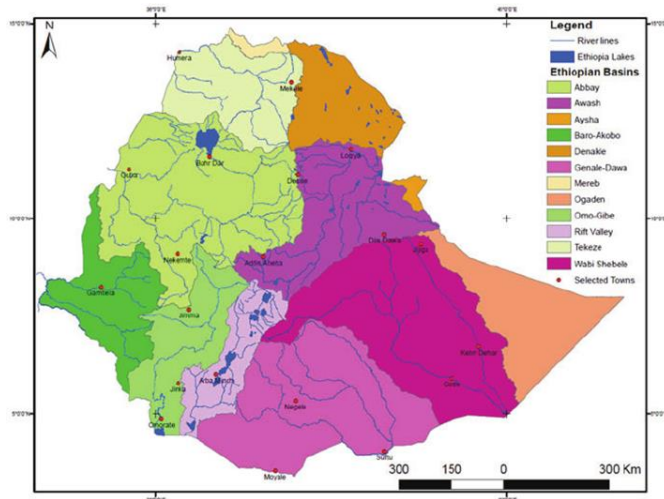
Etiyopya, kıtanın kalan tatlı suyunun büyük bir bölümünü içeren önemli bir yüzey ve yeraltı su kaynakları rezervuarına sahip olduğu için bol miktarda su kaynağı potansiyeli ile kutsanmıştır (Abiy, 2018). Su ve Enerji Bakanlığı'ndan (MoWR, 2002) yapılan yayınlara göre, kara ve su kütleleri Etiyopya'nın toplam arazi alanının sırasıyla %99,3 ve %0,7'sini kapsamaktadır. Alanı Nil Nehri havzasının yanı sıra diğer sınırışan su yolları ve havzaları içermektedir.

Etiyopya'da 8 nehir havzası, 1 göl havzası ve 3 kuru havza olmak üzere 12 havza vardır. Toplam yıllık 122 milyar metreküp (BMC) akışı vardır. Awash hariç, tüm nehir havzaları sınırışan havzadır ve akışların %97'si komşu eyaletlerde sona ermektedir (Ayalew, 2018). Dış su kaynakları mevcut değildir ve tahmini 96.500 milyon m³/yıl yüzey suyu ülkeyi terk etmektedir (Aquastat, 2016). Bununla birlikte, eşit olmayan coğrafı ve zamansal dağılımın yanı sıra değişken kullanılabilirlik, bu suyun evsel ve üretim ihtiyaçları için yeterince kullanılma olanağını sınırlamaktadır (Arsano, 2007). Şekil 2.3'te görüldüğü gibi

Etiyopya'nın batısında ve güneybatısında, yukarıda belirtilen dört ana havza (Abay, Tekeze, Baro Akobo, ve Omo Gibe) ülkenin su kaynaklarının %80 ila %90'ını içermektedir. Etiyopya nüfusu, %30 ila %40'luk bir yoğunluğa sahiptir. Öte yandan, Etiyopya'nın doğu ve merkezi nehir havzalarında bulunan su kaynakları, bu havzalardaki nüfusun %60'ı aşmasına rağmen, %10 ila %20 arasında değişmektedir. Bu, suyun ülke genelinde eşit olmayan bir şekilde dağıldığı anlamına gelmektedir (MoWR, 2001).

On iki büyük nehir havzası tarafından dört birincil drenaj sistemi oluşturulmuştur:

1. Nil havzası (Abbay veya Blue Nil, Baro-Akobo, Setit-Tekeze / Atbara ve Mereb'i içerir) ülkenin kuzey ve orta bölgelerini batıya doğru boşaltır. Ülkenin kara alanının sadece %39'unu kapsamaktadır.
2. Rift Vadisi (Awash, Denakil, Omo-Gibe ve Merkez Gölleri içerir) ülkenin %28'ini kapsamaktadır.
3. Shebelli havzası (Wabi-Shebelle ve Genale-Dawa'yı içeren) güneydoğu dağlık bölgelerini Somali ve Hint Okyanusu'na doğru boşaltır. Ülkenin %33'ünü kaplamaktadır.
4. Kuzey-Doğu Kıyısı (Ogaden ve Aden Körfezi havzalarını içerir) ülkenin toplam arazi alanının 6% 'sını oluşturmaktadır.
- 5.



Şekil 2.3 Etiyopya nehir havzaları haritası (Berhanu, Seleshi, & Melesse, 2014)

Çizelge 2.1 Nehir havzalarının özellikleri

Nehir havzası	Su fazlası	Su açığı	Kuru
Abay	*		
Baro Akkobo	*		
Tekkeze		*	
Mereb		*	
Awash		*	
Denakil		*	
Omo gibbe		*	
Rift valley		*	
Wabishebelle		*	
Genale dawa		*	
Ogaden			*
Aysha			*

Çizelge 2.1 Etiyopya nehir havzasının özelliklerini göstermektedir. Ülkenin 12 nehir havzasından ikisinde su fazlası (Abbay ve Baro Akobo), sekizinde çeşitli derecelerde su açığı mevcuttur (Afar-Denakil, Awash, Genale Dawa, Mereb, Omo Gibe, Rift Vadisi, Tekeze ve Wabi Shebele) ve ikisi kurudur (Aysha ve Ogaden). Kuru ve eksik havzalarda, su sorunları sürekli olarak mevcuttur ve bu da toplumun geçimine ve kalkınma çabalarına karşı tehdit oluşturmaktadır. Çeşitli nehir ve akarsuların yanı sıra diğer üç havza, birden fazla göle ev sahipliği yapan Göller Havzası (Rift Vadisi Havzası), kuru kabul edilir, çünkü yağışlar yetersizdir. Bu havzada, bu büyük potansiyelin sadece küçük bir yüzdesi ülkenin sosyo-ekonomik ilerlemesine önemli ölçüde katkıda bulunmak için kullanılmıştır. Diğer üç havza, Danakil, Ogaden ve Aysha, hepsi kurudur ve minimum yağış ve yüksek sıcaklıklara sahiptir, bu da yüksek oranda potansiyel buharlaşma terlemesine neden olur (Awlachew, Erkossa, & Namara, 2010) .

Büyük Rift Vadisi'nin batı tarafında yer alan Abbay, Tekeze, Baro-Akobo ve Omo-Gibe havzaları önemli miktarda yıllık ortalama yağış almaktadır. Ülkenin toprak alanının

sadece %39'unu kapsamına rağmen, ülkenin yıllık yüzey akışının (102,4 BCM) %83'ünden fazlasını oluşturmaktadır. Ülke nüfusunun yaklaşık yarısı bu havzalarda yaşamaktadır. Etiyopya'nın yaklaşık 85,5 BCM olan ana Nil Nehri'ne katkısı Abbay, Tekeze, Baro Akobo ve Mereb'den gelen akıntı ile temsil edilmektedir. Çizelge 2.2, Etiyopya nehir havzasının yıllık akışını ve alan kapsamını göstermektedir. Degefu'ya (2003) göre, Mavi Nil, Aswan yüksek barajındaki (Abay) Nil'in yıllık akışının yaklaşık %86'sını oluşturmaktadır. Bunun yaklaşık yüzde 59'u Abay alt havzasından, %14'ü Baro Akobo-Sobat alt havzasından ve %13'ü Tekeze-Atbara-Gash alt havzalarından kaynaklanmaktadır. Ülkenin güney doğusunu Somali'ye boşaltan Wabi Shebele ve Genale Dawa havzaları, ülkenin yaklaşık üçte birini kaplamakta, ancak toplam yıllık akışın sadece %7,6'sını üretmektedir. Omo Gibe havzası ülkenin güney batısında yer alırken, Baro Nehri Kenya'nın Turkana Gölü'nü beslemektedir (Dereje & Gedefa, 2021).

USAID (2021), Etiyopya için su kaynakları profili hakkında bilgi vermiştir. Bu rapora göre, Awash Havzası sınırlı bir su kaynağına, yüksek talebe ve sınırlı su depolama kapasitesine sahiptir ve kuraklığa eğilimlidir. Etiyopya'nın Awash Havzası, Addis Ababa da dahil olmak üzere ülkenin ana şehirlerine ev sahipliği yapılmaktadır ve yaklaşık 19 milyonluk bir nüfusa sahiptir. Havza ayrıca yaklaşık 200.000 hektar sulanan tarıma, ülke endüstrisinin üçte ikisine ve 34 milyondan fazla hayvana ev sahipliği yapılmaktadır. Sedimentasyon, Etiyopya'nın en büyük ve en önemli rezervuarı Koka Barajı'nın hidroelektrik üretimini ve sınırlı kapasitesini engellemiştir. Bölgedeki tabakhaneler ve tekstil üreticilerinin artırılmamış atık sularının yanı sıra altın madenciliği ve zanaat altın madenciliği yüzey suyu kalitesini bozmaktadır. Rapora göre, Awash Havzası'ndaki yerel tabakhanelerin akış aşağısındaki içme suyundaki medyan krom seviyelerinin, Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) önerdiği sınırdan 50 kat daha yüksek olduğu bulunmuştur. Buna ek olarak, ülkenin endüstriyel su çekiminin %74'ü yüksek ve aşırı yüksek su stresi yaşayan alt havzalarda yoğunlaşmaktadır (Zablon, Eliza, & Tinebeb, 2021).

Çizelge 2.2 Etiyopya'nın başlıca nehir havzalarının verileri

Büyük drenaj sistemi	Nehir havzası	Alan (km ²)	Yıllık akış (milyar m ³)
Nil havzası		2163283	
	Abay (Blue Nile)	1999121	54,4
	Barro Akkab	75.912	23,24
	Tekkeze	82.350	8,2
	Mereb	5.900	0,65
Rift Vadisi		305.380	
	Awash	110.000	4,64
	Denakil	64.380	0,86
	Omo Gibbe	79.000	16,2
	Rift valley	52.000	5,4
Shebelli - Juba		374.479	
	Wabishebbelle	202.220	3,16
	Genale Dawa	172.259	5,28
		79.343	
Kuzey Doğu Kıyısı	Ogaden	77.120	0,0
	Aysha	2.223	0,0
Toplam		1.087.526	122,03

Kaynak: (Dereje & Gedefa, 2021)

Etiyopya nehirlerinin çoğu mevsimseldir ve toplam akışın yaklaşık %70'i Haziran ve Ağustos ayları arasında gerçekleşir. İlkbahar akışı, kurak mevsim boyunca küçük ölçekli sulama için temel akış sağlar. Özellikle Awash Nehri boyunca ve aşağı BaroAkobo ve WabeShebbelle nehir havzalarında yoğun yağmurlar, sel oluşturabilir ve mevcut bitkilere ve altyapıya zarar verebilir. Etiyopya'da yaklaşık 12 büyük bataklık ve sulak alan, 11 tatlı su ve 9 tuzlu göl, 4 krater gölü ve yaklaşık 7.300 km²'lik bir alanı kaplayan 11 büyük tatlı su ve tuzlu göl bulunmaktadır. En büyüğü olan Tana Gölü (Abay Havzası), Nil Nehri için hayati bir su kaynağıdır. Rift Vadisi Havzası göllerin çoğunu içerir. Bu göllerin çoğu,

volkanik-tektonik kökenli ve tarım için artan arazi bozulmasının bir sonucu olarak yüksek konsantrasyonlarda çözünmüş katılarla karakterize edilir. Ayrıca, bu göl sularının çoğunun yüksek düzeyde alkali ve sodyumlu olması, tarım topraklarının yapısına ve verimliliğine zarar vermektedir (Chernet, Travi, & Valles, 2001).

Etiyopya göllerinin çoğunda balık boldur. Ziway, Tana, Langano, Abbaya ve Chamo dışında, göllerin çoğunda yüzey suyu çıkışı yoktur, bu da onları endoreik hale getirir. Shala ve Abiyata Göllerindeki kimyasal konsantrasyonlar önemlidir ve Abiyata artık soda külü üretmek için kullanılmaktadır (Awlachew & Merrey, 2005). (Berhanu, Seleshi, & Melesse, 2014), nehir havzası master plan değerlendirmelerinin çoğunun ülkenin açık su sistemlerindeki (göller, sulak alanlar ve taşkın ovaları) yüzey suyu kaynaklarını dikkate almadığını açıklamıştır. Bu sistemler büyük miktarda su depolayabilir. Awash Nehri Havzası Su Denetim Modelleme çalışmasına göre, havzanın göllerinde, bataklıklarında ve taşkın ovalarında 5,7 BCM su depolanmakta ve buharlaşmaya maruz kalmaktadır. Sonuç olarak, (Berhanu, Seleshi, & Melesse, 2014), ülkenin yüzey suyu potansiyelini doğru bir şekilde anlamak için ülkenin yüzey suyu muhasebe sistemini değiştirmenin bir sinyal olduğunu vurgulamaktadır. Etiyopya'da su kalitesi izleme yetersizdir. Su kalitesi, özellikle Rift Vadisi havzasının yüksek florürlü yeraltı suyu olmak üzere çeşitli bölgelerde büyük bir endişe kaynağıdır. Demir yatakları diğer bölgelerde bir sorundur. Su kalitesiyle ilgili yetersiz veri nedeniyle, belirli bir yerde etkili taktikler belirlemek zordur. Birkaç havzadaki yukarı havza faaliyetleri, aşağı havzadaki paydaşları çok az dikkate alarak su kütlelerini kirletmektedir. İyileştirilmiş yönetim olmadan durum daha da kötüleşecek ve çatışmalara yol açabilecektir. Su tahsisi de başka bir endişe konusu olacaktır. Şimdiye kadar, büyük bir çatışma kaydı yoktur. Bununla birlikte, yararlanıcıların şikayet etmeye başladığı, yukarı havza sakinleri tarafından yapılan soyutlama ve kirlilik sorunu gibi bazı durumlar vardır. Bu, nüfus artışı ve kaynak kıtlığı ile ilgili uluslararası bir olgudur (Israel & Merkinah, 2020).

Yeraltı suyu, ülkenin birçok bölgesinde, özellikle kırsal alanlarda ve ilçelerde, konut ve endüstriyel suların ana tedarikçisidir. Addis Ababa'da tüketim oranları (%60) ile kırsal suların %70'inden fazlasını yeraltı suyu sağlamaktadır. Kuru olan Wabi-Shebelle ve Ogaden Havzaları, bazı bölgelerde derinliği nedeniyle yeraltı suyuna her zaman kolayca

ulaşılamamasına rağmen, yeraltı suyuna en bağımlı olanlardır. Geçişli yüzey su kaynaklarına ek olarak, bu havzalardaki pastoralistler, hayvancılık, sulama ve ekim için yeraltı suyuna dayanmaktadır. Yeraltı suyu kullanan sulama uygulamaları nadirdir. Etiyopya yeraltı suyunun yaklaşık %30'u, öncelikle Büyük Rift vadisinde, doğal olarak yüksek tuzluluk ve florür seviyelerine sahiptir. Şehir boyunca septik tanklar gibi yerinde imha sistemlerinin yaygın kullanımı nedeniyle sığ yeraltı suyu kirlenebilir. Sonuç olarak, E. coli'nin, Addis Ababa'da sığ kuyularda bulunma olasılığı daha yüksektir. Güney, Orta ve Kuzey Etiyopya'daki incelenen kuyuların yaklaşık %30'unun, en son ülke çapında yapılan değerlendirmeye göre E. coli ile kirlendiği bulunmuştur (USAID, 2021). Ülkenin yeraltı suyu potansiyeli hakkında çeşitli bakış açıları vardır. Etiyopya'nın yeraltı suyu potansiyeli, jeolojik varyanslar, yapısal tip, yeniden şarj koşulları, yağış karakteri ve süresi ve diğer faktörler gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak yere göre değişmektedir.

Birleşmiş Milletlere göre (2014), ekonomik hususlar nedeniyle akiferlerin hidrolik özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi için test kuyuları veya yeterli pompalama testi verileri mevcut değildir. Yeniden şarj oranı tahminleri gibi diğer veriler de ülkenin yeraltı suyu potansiyelini değerlendirmek için de yetersizdir. Bu, yeraltı suyu miktarının, daha önce potansiyelin 2,6 milyar m³ olduğunu ve bu sayının uzun süredir bilindiğini belirten (MOWE, 2001) de dahil olmak üzere daha önceki araştırmalarda bildirilenlerle aynı olmadığını göstermektedir. Ancak, Kobo Girana Vadisi'nin yeraltı rezervi, 2,5 BCM sırasına göre olduğu tahmin edilmektedir, Raya'nın 7.2 BCM'dir ve Adda Bechoo'nun 0,96 BMC'dir (Berhanu, Seleshi, & Melesse, 2014).

Bununla birlikte, mevcut tahminlere göre, yeraltı suyunun tüm alanları analiz edilirse, yeraltı suyunun 30 milyar m³'ten daha fazla potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Diğer araştırmalara göre, yıllık yeraltı suyu besleme değeri 60 BCM kadar yüksek olabilir (Ayalew, 2018); (MOWE, 2015). Ülke genelinde 5 Yıl (2015 - 2020) ve 10 Yıl (2015-2025) Su Kaynakları Gelişimi Planları esas olarak yeraltı suyuna dayanmaktadır. Yeraltı suyu, 2005-2015 yılları arasında su temini kapsama alanındaki artışın temeli olmuştur ve şu anda Addis Ababa ve Bahir Dar'ı da dahil olmak üzere en büyük şehir merkezlerinde su temini yaklaşık %40'dır. Yeraltı suyu hala ülke genelinde, özellikle Etiyopya'nın uzak

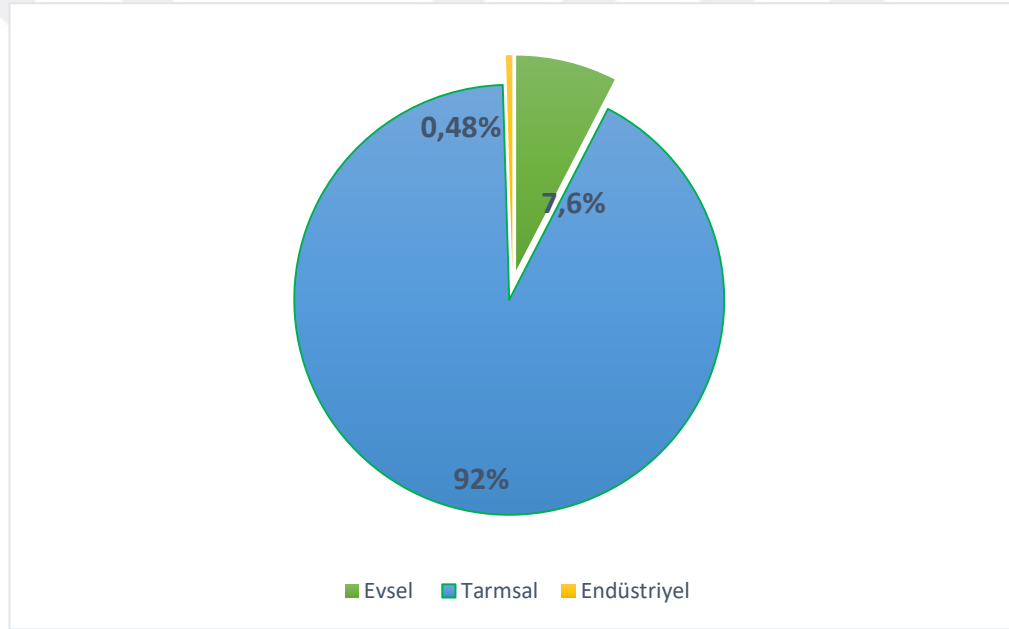
ve unutulmuş köşelerinde yeni akiferlerin beslenmesiyle hala hızlandırılmış bir tempoda gelişmektedir (Mengistu, Demlie, & Abiye, 2019).

2.2 Etiyopya'da Sektörel Su Kullanımı

Tarım, Etiyopya'da su kullanan ana sektördür. Ülkedeki tüm su kullanımının yaklaşık %92'si (yüzey suyu ve yeraltı suyu), tarımsal kullanım için tasarlanmıştır (Şekil 2.4), bu da %70'lik dünya ortalamasından çok daha yüksektir. Bununla birlikte, tarım için kullanılan su, ülkenin mevcut yenilenebilir su kaynaklarının sadece yaklaşık %4'ünü temsil etmektedir. Temiz ve içilebilir suyun bireysel yaşam gereksinimlerini karşılamak için erişilemeyecek olduğunda "stresli" olarak tanımlanmakta olan su, ancak tek bir yerde önemli bir grup insanın uzun süre su güvencesiz olduğu durumlarda "kıt" olarak tanımlanır. Su talebi kaynağı aştığında su sıkıntısı meydana gelir (Hameed, et al., 2021). Bir ülkenin nehir akışının %75'inden fazlası DIA (evsel, endüstriyel ve tarımsal) için çekildiğinde ve ülke, adaptasyon ve azaltma için muhasebeleştirdikten sonra gelecekteki talepleri karşılayamadığında, ülkenin fiziksel su kıtlığı yaşadığı söylenmektedir. Ekonomik su kıtlığı, mevcut su kaynaklarını (yani, su çekme, nehir akışlarının %25'inden az), su altyapısındaki büyük harcamaların eksikliği olarak tanımlanmaktadır.

Uluslararası Su Yönetimi Enstitüsü (IWMI) daha sonra bu kriterlere dayalı olarak Afrika'daki bölgeleri haritalamış ve Afrika ülkelerinin çoğu gibi Etiyopya da ekonomik su kıtlığına sahip olarak sınıflandırılmıştır (Damkjaer & Taylor, 2017). Etiyopya nispeten bol su kaynaklarına sahiptir, son on yılda hızlı nüfus artışı nedeniyle 'su stresi' olarak kabul edilir. Su kıtlığı, Falkenmark Su Stresi Endeksi'ne göre her yıl bireylerin erişebileceği yenilenebilir tatlı su miktarı ile ölçülür. Su mevcudiyeti kişi başına yılda 1.700 m³'ün altına düştüğünde, bir ülkenin su sıkıntısı ile karşı karşıya olduğu söylenir; 1.000 m³'ün altı su kıtlığı olarak adlandırılır ve 500 m³'ün altı aşırı veya şiddetli su kıtlığıdır. Dünya Bankası verilerine göre Etiyopya için 2017 yılında kişi başına düşen yenilenebilir su kaynakları yılda 1146,6 m³ tür. 1997 ve 2017 yılları arasında Etiyopya'nın kişi başına düşen yenilenebilir su kaynakları 1997'de yılda 2.001 m³'ten 2017'de yılda 1.146,6 m³'ye gerilemiştir (WBI, 2017).

Öte yandan, UNECA'ya (2011) göre, iklim değişikliği ve diğer faktörler nedeniyle Etiyopya'nın kişi başına düşen su mevcudiyetinin 1990'da yaklaşık 2200 m³'ten 2025'te yaklaşık 1000 m³'e düşeceği açıklanmıştır. Etiyopya nüfusunun yaklaşık dörtte biri (27 milyon) su stresli bölgelerde yaşamaktadır ve ülkenin 2030 yılına kadar su, sanitasyon ve hijyen (WASH) sağlama konusundaki Sürdürülebilir Kalkınma Hedefini tehlikeye atmaktadır. On bölgesel başkentten altısı, yüksek veya aşırı derecede yüksek su stresi olan yerlerde bulunmaktadır. Ayrıca, Addis Ababa ve komşu kasabalar gibi Etiyopya şehirlerinde artan kentleşme, kentsel su direncini tehlikeye atmaktadır (Zablon, A, 2021).



Şekil 2.4 Etiyopya’da sektörel su kullanımı (WBI,2017)

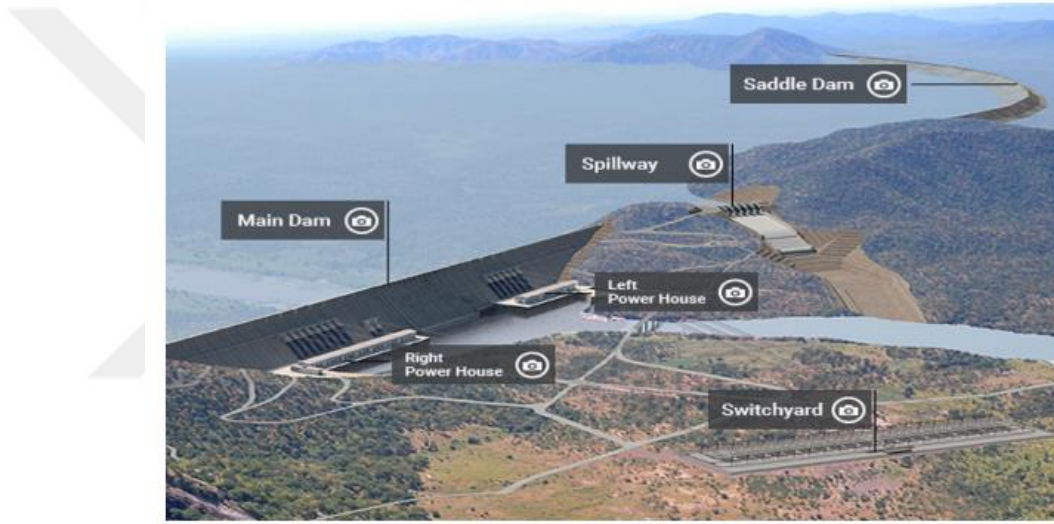
2.3 Nıl Havzası ve Etiyopya’nın Büyük Rönesans Barajı (GERD)

Etiyopya'nın muazzam hidroelektrik kaynakları ile ilgili olarak, ülkenin enerji sektörü çoğunlukla biyokütleyle bağımlıdır. Etiyopya, yılda 159.300 GWh (gigawatt-hours) elektrik üretebilen 45.000 MW (megawatt) kullanılabilir hidroelektrik potansiyeline (MOFED, 2010) sahiptir. Etiyopya, Nıl suyunun %85'inden fazlasını oluşturmaya rağmen, pratikte tüm kullanım Mısır ve Sudan'da mansap yönünde gerçekleşir. Şekil 2.5, Büyük Etiyopya Rönesans Barajı (GERD' nın Ana Barajı ve rezervuarını göstermektedir.

GERD, 2011 yılında Sudan sınırına yakın Abbay (Mavi Nil) nehrinde, öncelikle hidroelektrik üretmek için başlamıştır. Barajın, su depolama rezervuarı ve enerji kurulu gücü iki kat artırılmış; ilk tasarım, 2011 yılında 15.130 GWh beklenen yıllık enerji üretimi ile 5.250 MW kapasiteli 60 BCM hacminde su depolamasına izin vermiştir. Proje daha sonra 70 BCM su ve 6.000 MW elektrik üretecek şekilde genişletilmiştir. Projenin su depolama ve kurulu enerji kapasitesi yakın zamanda sırasıyla 74 BCM su hacmine ve 6.540 MW'a yükseltilmiş ve bu da, yılda 15.759 GWh'ye kadar beklenen yıllık enerji çıkışıyla sonuçlanmıştır (Handiso, 2018).

Elektrik enerjisinin, yerel kullanıcılara ek olarak başta Sudan ve belki Mısır olmak üzere komşu ülkelere satılması planlanmıştır. GERD'nin tam olarak kullanıldığında Etiyopya'nın elektrik kullanılabilirliğini %200 artıracağını tahmin edilmektedir. GERD'nin avantajları elektrik dağıtımıyla sınırlı değildir; aynı zamanda aşağı komşulara, özellikle Sudan ve Mısır'a, silt ve çökeltinin %86'sını ortadan kaldırarak yardımcı olabilecektir. Yıl boyunca düzenli bir su akışını sürdürecektir ve mansap ülkelerdeki beklenmedik selleri önleyecektir. GERD, buharlaşmayı azaltarak ve su geri dönüşüm tekniklerini uygulayarak Etiyopya'nın günlük bölgelerindeki suyu da koruyacaktır (Tesfa, 2013). Etiyopya hükümeti barajın maliyetini 4.8 milyar dolar veya Etiyopya'nın 2012 ekonomik üretiminin yaklaşık %11.12'si olarak tahmin etmiştir (Dünya Bankası rakamlarına göre 43.13 milyar dolar). Barajın bölgesel dinamikler üzerinde zaten bir etkisi olmuş ve Etiyopya, Sudan ve Mısır arasında bir çekişme nedeni olmuştur. Mısır ve Sudan, GERD'nin Nil'in akışını önemli ölçüde azaltacağı ve ekonomilerini olumsuz etkileyeceği yönündeki endişelerini dile getirmişlerdir. Üç ülke, Nil Nehri'nin suyunun nasıl yönetileceği konusunda henüz bir anlaşmaya varmamıştır. Uzmanlara göre Mısır, nehrin beklenen su kaynağının yılda 11 ila 19 milyar metreküp (BCM/yıl) arasında düşebileceğini ve 2 milyon Mısırlı için gelir kaybına neden olabileceğini iddia etmektedir. Bu proje aynı zamanda Mısır'ın elektrik arzını %25-40 oranında azaltarak ülkenin üst kesimini karanlıkta bırakacaktır. Sel suları Etiyopya'da tutulursa, girişim Nasır Gölü'ndeki su seviyesini kalıcı olarak düşürebilir (Woldeyohannes, Khalil, & Salem, 2017).

Baraj operasyonu nehir aşağı ekosistemlerine ve su kullanıcılarına yönelik tehditlerin derecesini belirleyecektir. Pik çıkış kapasitesinde %10'luk bir düşüşle, Nil'in mansap su seviyesi 0,4-0,75 metre düşebilir. Öte yandan, diğer çalışmalar GERD'nin aşağı havzadaki ülkeler üzerinde önemli bir etkisi olmayacağını göstermektedir. GERD 2020'de dolmaya başlamıştır; 5-7 yıl içinde bitecek ve Mısır'ın rezervuarlarına girişleri geçici olarak azaltacaktır. Sudan'ın baraj kapasitesi daha düşüktür, bu da onu GERD dolduğunda akış kesintilerine karşı daha savunmasız hale getirebilecektir (USAID, 2021).



Şekil 2.5 GERD projesine ve rezervuar alanına bir bakış (Hagos, 2017)

Su stresi, 2030 yılına kadar tüm sektörlerde su kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırmayı ve su kıtlığını gidermek için sürdürülebilir su çekme ve tatlı su tedarikini garanti etmeyi ve su kıtlığından muzdarip insan sayısını önemli ölçüde azaltmayı amaçlayan SDG 6.4'te ele alınmaktadır. SDG 6.4.2, stres eşikleri %100 depolama kapasitesine sahip olmayan, dünya çapında bir su stresi değerlendirmesidir. Çevresel akış gereklilikleri dikkate alındıktan sonra göstergesi 6.4.2, tüm kilit sektörler tarafından çıkarılan toplam tatlı suyun (TFWW) toplam yenilenebilir tatlı su kaynaklarına (TRWR) (EFR) oranı olarak tanımlanmaktadır. Dünyada genelinde 32 ülke %25 ile %70 arasında su stresine sahiptir; 22 ülke %70'in üzerinde su stresine sahiptir ve ağır stresli olarak kabul edilmektedir; 15

ülke %100'ün üzerinde su stresine sahiptir ve dördü %1000'in üzerinde su stresine sahiptir. Çizelge 2.3'e göre Etiyopya'nın su stres oranı %32,26'dır (FAO, 2018).

Çevresel akış, sağlıklı nehir ekosistemlerini sürdürmek için gereken akış miktarını, kalitesini ve zamanlamasını ve bu ekosistemlere dayanan insan geçim kaynaklarını tanımlamaktır. Bugün sahip olduğumuz nehir geçmiş seçimleri yansıtmaktadır. Su kaynakları tahsisi için çevresel akış gereksinimi (environmental flow requirement-EFR), doğrudan ve dolaylı kullanım değerlerini destekleyen bir durumda tutmak için belirli bir miktar suyun bilerek bir su ekosistemine bırakılması veya serbest bırakılması gerektiğini belirtir (Yang, Sun, Cui, Chen, & Chen, 2009).

Ülke dışından gelen toplam yenilenebilir su kaynaklarının yüzdesi bağımlılık oranı göstergesi ile temsil edilmektedir. Bu göstergenin değeri %0 ile %100 arasında değişebilir. Bağımlılık oranı %0 olan bir ülkenin komşularından su alamadığı anlaşılmaktadır. Diğer yandan, %100 güven oranına sahip bir ülke ise yenilenebilir suyunun tamamını yukarı akış ülkelerinden alır ve kendi suyunu üretmez. Bu gösterge, suyun aşağı akış ülkelere tahsis edilme olasılığını dikkate almamaktadır (FAO, 2003). Çizelge 2.3'de görüldüğü gibi Etiyopya'nın su bağımlılık oranı %0'dır, bu da Etiyopya'nın tüm su kaynaklarının kendi sınırından kaynaklandığı anlamına gelmektedir.

Çizelge 2.3 Etiyopya su kaynakları verileri

Gösterge	Yıl	Etiyopya	Sahra Altı (medyan)
Uzun vadeli ortalama yağış (mm/yıl)	2017	848	1032
Toplam yenilenebilir tatlı su TRWR (MCM/yıl)	2017	122.000	38.385
Falkenmark endeksi kişi başına TRWR (m3/yıl)	2017	1.162	2.519
Toplam yenilenebilir yeraltı suyu TRWR (MCM/yıl)	2017	20.000	7.470
Toplam tatlı su çekme TFW (MCM/yıl)	2002	10.550	649
Toplam baraj kapasitesi (MCM)	2015	31.480	1.777
Bağımlılık oranı (%)	2017	0	22,78
Yıllar arası değişkenlik	2013	1,8	1,55
Mevsimsel değişkenlik	2013	3,3	3,15
Çevresel akış gereksinimi (MCM/yıl)	2017	89.300	18.570
SDG 6.4.2 Su stresi (%)	2016	32,26	5,7

Kaynak: (Aquastat, 2016)

2.4 Etiyopya'nın Sulama Amaçlı Su Kaynakları

Etiyopya'daki sulama endüstrisi ulusal ekonomiye önemli ölçüde katkıda bulunmamaktadır. Başlıca sorunlar, tutarlı ve güvenilir envanter verilerinin olmaması, genel olarak üzerinde anlaşmaya varılmış raporların olmaması ve sulama ile ilgili potansiyel ve uygulamalar hakkında iyi belgelenmiş raporlar olmamasıdır (Mosissa & Baihili, 2017).

Etiyopya, en az 5,3 milyon hektar sulama sağlamak için kullanılabilecek yüzey suyu, yeraltı suyu ve yağış kaynaklarına sahiptir. Bu, mevcut su kaynaklarının ülkenin yetiştirilebilir alanının altıda birine kadar sulayabileceği ve mevcut seviyelere göre önemli bir artış sağlayabileceği anlamına gelir. Bu, sırasıyla 3.7 milyon hektar yerçekimi

beslemeli yüzey suyunun yanı sıra 1.1 ve 0.5 milyon hektar yeraltı suyu ve yağış toplama içerir. Büyük nehir havzalarında, Su Kaynakları Bakanlığı (MoWR) 560 muhtemel sulama alanı belirlemiştir. Etiyopya'daki sulama projeleri, komuta alanı 3.000 hektardan büyükse büyük ölçekli sulama, 200 ila 3.000 hektar arasındaysa orta ölçekli ve 200 hektardan azsa küçük ölçekli sulama olarak sınıflandırılmaktadır (Awlachew & Merrey, 2005).

Etiyopya'nın ekilebilir arazisinin 640.000 hektarı (%5) sulanmaktadır, yağmur suyu hasadı 128.000 hektar, küçük ölçekli sulama 383.000 hektar, orta ve büyük ölçekli sulama ise 129.000 hektardan oluşmaktadır. Konvansiyonel sulama sistemlerinin hariç tutulduğu varsayılırsa, sulanan arazi toplam tarım alanının yaklaşık %1,6'sını oluşturmaktadır. Etiyopya, önümüzdeki beş yıl içinde küçük ölçekli sulama, yağmur suyu toplama ve diğer orta ve büyük ölçekli sulama planları dahil olmak üzere sulanan alanını 640.000 hektardan 1.8 milyon hektara çıkarmayı hedeflemektedir. Etiyopya'nın sulamayı geliştirme ve 1,8 milyon hektarlık beş yıllık sulama geliştirme hedefine ulaşma çabalarında birçok engeli bulunmaktadır. Sulama proje planlaması ve teslimi arasındaki uçurumun kapatılması; mevcut sulama planlarının performansının artırılması; sulama projelerinin ölçeklendirilmesindeki engellerin azaltılması ve sulama suyu kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması sorunlu konular arasındadır. Resmi sulama gelişmelerinin büyük çoğunluğunu kabaca 50 orta ve büyük ölçekli sulanan alana sahip olan Su Havzası barındırmaktadır (Awlachew, Erkossa, & Namara, 2010).

Awash nehri'nin yapısı, havzanın topografyası, nehrin sınır ötesi akışlardaki karmaşıklık eksikliği ve nehrin üretim için yerel pazara kolay erişilebilirliği ile bağlantılı olabilir. (Awulachew & Ayanaw, 2011), Etiyopya'nın iki büyük bölgesi olan Oromia ve SNNPR'de sulama planlarının performansı üzerine yapmıştır. Bulgular, Etiyopya'daki sulama planlarının çoğunun tam potansiyeline ulaşamadığını göstermektedir. Bunun nedeni, tarımsal uygulamalara yeterli genişlemenin olmaması, sorumlu yönetim kurumlarının eksikliği, planların uzun vadeli işletilmesi ve yönetimi için düşük teknik ve finansal kapasite, hasat sonrası depolama, işleme ve pazarlama ve destek hizmetlerinin eksikliği gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır.

2.5 Etiyopya'da Su Kaynakları Yönetimi

Etiyopya'nın su kaynaklarıyla ilgili temel endişe, eşit olmayan mekansal ve zamansal oluşumu ve dağılımıdır. Etiyopya Su Kaynakları Bakanlığı (MoWR, 2002), Etiyopyalıların güvenli içme suyuna erişim temel hakkına sahip olduğunu açıkça belirtmektedir. Su için çeşitli ihtiyaçlar olduğundan ve su ülke genelinde eşit olmayan bir şekilde dağıldığından, temiz suya adil, hakkaniyetli ve sürdürülebilir erişime ihtiyaç vardır. Etiyopya'nın su politikası, evsel su teminine öncelik vererek ve ardından hayvancılık için su sağlayarak temiz ve güvenli suyu teşvik etmektedir.

Etiyopya, 2001 yılında kapsamlı ve entegre bir Su Kaynakları Yönetim Politikası oluşturarak onu ülkenin ilk bağımsız su sektörü politikası haline getirmiştir. Politikanın kapsayıcı amacı, uzun vadeli kalkınma için mevcut su kaynaklarının daha verimli, adil ve optimal kullanımına yönelik girişimleri geliştirmek ve teşvik etmektir. Etiyopya'nın su sektörü stratejisi ilkesi, kırsal merkezli, merkezi olmayan, entegre ve katılımcı bir su yönetim sisteminin yanı sıra sosyal eşitlik, ekonomik verimlilik, su kullanıcısının güçlendirilmesi ve sürdürülebilirliğin önemini vurgulamaktadır. Sonuç olarak, ulusal su sektörü hedefi, uzun vadeli sosyo-ekonomik kalkınma için Etiyopya'nın mevcut su kaynaklarının en verimli, adil ve optimal kullanımını amaçlayan tüm ulusal girişimleri güçlendirmek ve teşvik etmektir (Berhanu, Seleshi, & Melesse, 2014).

Politika temel ilkeleri aşağıda özetlenmiştir:

- Vatandaşların, temel insan ihtiyaçlarını karşılamak için kabul edilebilir kalitede yeterli suya erişimi olacaktır;
- Su hem ekonomik hem de sosyal bir mal olarak kabul edilecektir;
- Su kaynaklarının geliştirilmesi, kırsal merkezli, merkezi olmayan bir yönetim, katılımcı yaklaşım ve entegre çerçeveye dayalı olacaktır;
- Su kaynakları yönetimi, sosyal adaleti, ekonomik verimliliği, sistem güvenilirliğini ve sürdürülebilirlik standartlarını garanti etmelidir;
- Özellikle kadınlar arasında, su kaynakları yönetiminde paydaş katılımı teşvik edilmelidir.

Su Kaynakları Yönetimi Politikasının bir bölümü olan Sulama Politikası, tarımsal endüstriler için gıda ürünlerinin ve hammaddelerin sürdürülebilir üretimi için geniş sulanan tarım potansiyelini geliştirmeyi taahhüt etmektedir. Sulama sisteminin ademi merkeziyetçiliğini ve kullanıcı tabanlı yönetimini, öncelikli planların inşasını, geleneksel sulama planlarının desteklenmesi ve geliştirilmesini, su tahsisinin oluşumunu ve uygun drenaj altyapısının entegrasyonunu vurgulamaktadır. Su Sektörünü Geliştirme Programı (WSDP) 2002 yılında 15 yıllık bir süre için (2002'den 2016'ya kadar) başlatılmıştır. Su kaynakları yönetimi ve gelişiminin finansmanını, olanak sağlayan bir ortamın oluşturulmasını, sınır ötesi nehir yönetimini, paydaş katılımını ve toplumsal cinsiyet kaynaştırmasını, afet önleme ve kamu güvenliğini ve çevre sağlığı standartlarını içermektedir (Aquastat, 2016). Çizelge 2.4, Etiyopya'da bulunan su kurumlarını ve sorumluluklarını göstermektedir.

Etkili nehir havzası yönetimi, uzun vadeli büyüme ve yoksulluğun azaltılmasının yanı sıra ekosistemleri ve biyolojik çeşitliliği korumak, sel kaynaklı ölümleri önlemek ve bölge sakinleri için içme suyu kaynaklarını geliştirmek için gereklidir. Entegre bir nehir havzası stratejisi geliştirmenin gerekliliği Etiyopya'da kabul edilmiştir. Bu, su kaynaklarının kullanımını ve korunmasını ve ayrıca bölgesel yönetimler arasında suyun sürdürülebilir yönetimini ve tahsisini düzenleyen Etiyopya Su Kaynakları Yönetimi Politikası (1999) koşullarından açıkça anlaşılmaktadır. Devletin rolü, hizmet arzından, değişen talebe duyarlı yöntemler çerçevesinde kolaylaştırıcı bir ortam yaratmaya ve kolaylaştırmaya doğru değişmektedir (MoWR ;UNESCO, 2006).

Etiyopya su politikası, politika beyanında görüldüğü gibi, entegre su kaynakları yönetimi (IWRM) kavramları ile desteklenir. Hükümet, terimin 2000 yılında tanıtılmasından bu yana IWRM kavram ve uygulamalarına dayalı bir su politikası, kanunu ve stratejisi oluşturmuştur. Su kaynaklarının kullanımını ve yönetimini idare etmek için, havza düzeyinde bir su yönetim organının oluşturulması da dahil olmak üzere büyük kurumsal değişiklikler kabul edilmiştir. IWRM'nin uygulanmasından bu yana, hidrolojik sınır veya nehir havzası, su kaynakları için kritik planlama ve yönetim birimi olarak kabul edilmiştir (MoWR, 2001). Politika, IWRM fikrine dayanmasına rağmen, uygulanmasında önemli

zorluklar olmuştur ve IWRM, su yönetiminde beklenen iyileştirmeleri gerçekleştirememiştir (Adey, Charlotte, Abraham, Ilyas, & Tena, 2015).

Havzadaki fiyatlandırma sistemi, suyu hem ticari bir kaynak hem de sosyal değer olarak gören su maliyeti ve fiyat ekonomisini vurgulayan Etiyopya Su Yönetimi Politikasına rağmen, IWRM fikrine karşı çalışmaktadır. Suyu değerli bir mal olarak değerlendirmemektedir. Ekonomik değeri yüksek doğal bir kaynak olarak su, toplumsal eşitliği sağlamak için su fiyat sistemine dahil edilebilir. Erişilemezlikle mücadele etmek için fiyat karşılanabilirliğine odaklanarak kıtlığı ve kirliliği azaltmak için optimum su kullanımını teşvik etmektedir. Aynı şekilde, verimli su fiyatlandırması, tarife belirleme ortamını dikkate alarak suistimalleri azaltır (Reta, Degefa, & Getnet, 2018).

Mevcut Büyüme ve Dönüşüm Planı (GTP), sürdürülebilir kalkınma yoluyla yoksulluğun ortadan kaldırılmasına ulaşmada su sektörüne öncelik vermektedir ((MoWR, 2001); (MOFED, 2010). Zablon vd. (2021) göre, hükümet gıda güvencesini artırmak ve tarıma dayalı sanayileşme planını desteklemek için sulamayı daha da genişletmeyi planlamaktadır. Su arzı ve talebi arasında bir denge sağlamak, kalkınma ve sürdürülebilir kalkınma hedefine ulaşmak için SDG hedefleri önemlidir. Ayrıca su stresi ve iklim değişikliğine uyum sağlamak için Etiyopya hükümetinin sadece su kullanım verimliliğini artırmaya ve esnek politikaları uygulamaya değil, aynı zamanda temel ekonomik ve sektörel reformlara da odaklanmasını tavsiye etmektedir. Ayrıca, bitkinin yerini daha uygun bir alana kaydırmak, modern teknolojiyi kullanmak ve pamuk ve şeker kamışı gibi yüksek su talebi olan bitkilerden daha az su yoğun bitkilere geçmek, verimde sürekli artışı sağlayacaktır.

Çizelge 2.4 Etiyopya su kurumları ve sorumluluklar

Kurum	Sorumluluklar
Federal düzeyde	
Su, Sulama ve Enerji Bakanlığı (MoWIE)	Genel su kaynaklarının planlanması, geliştirilmesi, idaresi, kullanımı ve korunması ile tüm orta ve büyük sulama planlarının denetimi
Tarım Bakanlığı (MoA)	Sulanan ve yağmurla beslenen küçük çiftçiler için su hasadı da dahil olmak üzere su yönetiminden (sulama uzantısı) sorumlu.
Çevre ve Orman Bakanlığı (MOEF)	Çevre koruma politikası, kanun ve yönergelerinin hazırlanması. Ayrıca, sosyal ve ekonomik kalkınma projelerinin, özellikle de sulama ve hidroelektrik projelerinin çevre üzerindeki etkisinin değerlendirilmesinden sorumludur ve takip çalışmalarından da sorumludur.
Su Kaynaklarını Geliştirme Fonu (RDF)	
Alt ulusal düzeylerde	
- Awash Havzası Kurumu (AwBA) - Abbay Nehir Havzası Kurumu (ARBA) - Rift Vadisi Göller Havzası Kurumu (RVLBA)	
Ulusal düzeyde	
Su, Maden ve Enerji Bürosu (Bowmen)	Küçük ölçekli sulama ve kırsal su temini ile küçük ölçekli hidroelektrik geliştirmeden sorumlu
Devletin Sulama Geliştirme Yetkilileri	Görevleri doğrultusunda operasyonel faaliyetlerde bulunmak (küçük ölçekli sulama planlarının etüdü, tasarımı ve inşaatı).

Kaynak: (Aquastat, 2016)

2.6 Su Kaynaklarının Geliştirilmesindeki Zorluklar

Etiyopya'nın su kaynakları gelişimini çeşitli kısıtlamalar etkilemektedir. Bu kısıtlar; yasal, politik, sosyal, kurumsal veya teknik olarak sınıflandırılırlar. (Israel & Merkinah, 2020). Ayrıca (Berhanu, Seleshi, & Melesse, 2014) Etiyopya'nın su kaynaklarının geliştirilmesindeki sorunların, Etiyopya'nın ikliminin, topografyasının, toprağının ve jeolojisinin coğrafi ve zamansal çeşitliliğinden kaynaklandığını ve bunun su kaynaklarının hacminin ve dağılımının değişmesine neden olduğunu belirtmektedir. Sonuç olarak, Etiyopya şimdiye kadar su kaynakları kullanım faaliyeti açısından düşük performans göstererek su sektörünün gelişimini kısıtlamıştır. Özellikle yağış, önemli mevsimsel ve bölgesel dalgalanmalar göstererek su mevcudiyetini mevsimsel bırakmaktadır.

Ayalew'a (2018) göre, Etiyopya'da su kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanımının temel zorlukları şunlardır: yağışlar mekanda ve zamanda eşit olmayan bir şekilde dağılmıştır ve önemli nehirler zaman ve mekanda eşit olmayan bir şekilde dağılmıştır. Ayrıca hidro politikadaki sorunlar, teknik zorluklar, ulusal topografya ve ekonomik zorluklar mevcuttur. Konunun derinlemesine tartışılması, Etiyopya'nın karmaşık yağış düzeninin ülkenin tüm bölgelerinin aynı miktarda yağmur almasını zorlaştırmaktadır. Özellikle ülkenin kuzeydoğu, doğu ve güneydoğu kesimleri daha az yağmur almaktadır. Sonuç olarak, Ogaden, Aysha ve Dinakle dahil olmak üzere bu bölgelerdeki üç nehir havzası esasen kurudur. Tüm nehirlerden gelen dağılım, deşarjın yıl boyunca önemli ölçüde değiştiğini ve maksimum akışın Haziran ortasından Ekim ortasına kadar olduğunu gösterirken, ek sulama şeklinde düzensiz yağış alanları dışında sulama nadiren gereklidir. Benzer şekilde, ülkenin toplam akışın %80-90'ını oluşturan yüksek akış potansiyeline sahip büyük nehirlerinin çoğunluğu batı ve güneybatıda bulunmaktadır. Ancak nüfusun sadece %40'ını desteklerken, ülkenin doğu, güneydoğu, orta ve kuzey bölgelerindeki nehir havzaları toplam akışın %20'sinden daha azını oluşturmakta ve nüfusun %60'ından fazlasını desteklemektedir. Etiyopya gelişmekte olan bir Afrika ülkesidir. Ekonominin düşük bir sermaye geliri vardır, bu da su sektörü büyümesi için öncelik ve bütçe tahsisi eksikliğine yol açmaktadır.,

2.7 Etiyopya'da Teff Üretimi

Etiyopya'nın yerli birincil tahılı olan teff (*Eragrostis teff*), Etiyopya'da önemli bir gıda ve beslenme güvencesi kaynağıdır (Esubalew & Tewabe, 2022). Bu tahıl 2°C ila 38°C arasında değişen sıcaklıklara dayanabilir; bazı çeşitler yıllık yaklaşık 2.000 mm yağışa dayanabilirken, diğerleri sadece 542 mm'ye dayanabilir. Teffin üç tipi vardır: kırmızı, kahverengi ve beyaz, her biri farklı mutfaklarda kullanılan çeşitli besin maddeleri ve tatlara sahiptir. Etiyopya'nın tarım ve gıda ekonomisinde önemli bir üründür. Yıllık olarak 7,15 milyon üzerinde çiftçi tarafından yetiştirilmektedir. Toplam hububat çiftçilerinin %45'i yaklaşık 3,10 milyon hektar alanda, yaklaşık 5,73 milyon metrik ton tahıl hasat edilmekte ve bu nedenle, toplam ekim alanının yaklaşık %30'unu ve ülkede yetiştirilen tüm tahılların brüt tahıl üretiminin %20'sini oluşturmaktadır (Vandecasteele, Dereje, Minten, & Taffesse, 2013; CSA, 2020).

Teff'in ticari fazlasının değeri, bir araya getirilen ülkedeki diğer tüm hububatların değerini aşmaktadır. Teff'in arzu edilebilirliği kısmen olumsuz hava koşullarına karşı direncinden ve hastalığa karşı diğer tahıllara göre daha az kırılganlığından kaynaklanmaktadır (Hailu, Weersink, & Minten, 2017). Teff, Etiyopya'nın tarım alanlarının %20'sinden fazlasını oluşturan kara topraklarda (Vertisoller) aşırı sulanan ortamda yetiştirme yeteneğine sahiptir. Teff'in piyasa fazlasının değeri de aynı dönemde Etiyopya'dan yapılan kahve ihracatının değerine yaklaşık olarak eşittir (Temmuz 2013'ten Haziran 2014'e kadar 714 milyon dolar, Çizelge 2.5). Ayrıca, çiftçilerin teff satışlarından elde ettikleri nakit değer, ülkenin diğer iki büyük ihracat ürününün satışlarından elde edilen gelirle karşılaştırıldığında, teff'ten elde edilen gelir, kahveden elde edilen gelirden %34 daha yüksek ve çiftçilerin susam satışlarından elde ettikleri gelirin neredeyse üç katıdır. Bu nedenle teff, Etiyopya'nın en önemli nakit bitkisidir (Minten, taffesse, & Brown, 2018). Teff üretimi gerçek GSYİH'nın ortalama %6,1'ine katkıda bulunurken, gerçek teff üretimindeki artış toplam gerçek GSYİH büyümesinin %6,4'üne (veya gerçek GSYİH'daki %10,7'lik büyümenin %0,67'sine) katkıda bulunmuştur (Moges, 2020). Teff taneleri, su tutma kapasitesi, uzun raf ömrü, eşsiz lezzeti, esnekliği ve pürüzsüz ve parlak dokusu ile en iyi kaliteyi ve en çok tüketici tarafından tercih edilen injera'yı (geleneksel fermente Etiyopya ekmeği) verir. Teff taneleri, buğdayın %60 ila %80'ine kıyasla %99 öğütme ununda

yüksek verim sağlar (Kebebew & Solomon, 2018). Besleyici olarak, 100 gram teff taneleri, buğday ve pirinç benzer şekilde 357 kcal'a sahiptir (Cheng, Mayes, Dalle, Demissew, & Massawe, 2017).

Çizelge 2.5 Tahıl ve susam üretim ile pazar fazlası (2013/2014)

Gıda maddesi	Miktar (milyon metrik ton)		Fiyat	Değer (US Milyar \$)	
	Üretim	Piyasa fazlası	(kg/birr)	Üretim	Piyasa fazlası
Teff	4,42	1,31	11,03	2,52	0,75
Arpa	1,91	0,24	6,95	0,69	0,09
Buğday	3,93	0,72	7,71	1,57	0,29
Mısır	6,49	0,72	4,75	1,59	0,18
Süpürge darısı	3,83	0,39	6,42	1,27	0,13
Parmak darısı	0,85	0,1	6,57	0,29	0,03
Yulaflar	0,06	0,01	7,03	0,02	0
Pirinç	0,09	0,02	9,7	0,05	0,01
Toplam tahıl	21,58	3,52	-	8	1,48
Kahve	0,39	0,2	55,03	1,12	0,56
Susam	0,22	0,15	32,41	0,37	0,26

Kaynak: (Minten, taffesse, & Brown, 2018)

Teff'in tanınması, beslenme uzmanları ve gıda bilimcileri tarafından küresel araştırma ilgisini teşvik etmiştir, çünkü ürün yüksek protein ve amino asit içeriğine sahiptir, glutensizdir ve düşük bir glisemik indekse sahiptir, bu da onu tip 2 diyabetli insanlar için uygun hale getirir. Avrupa'da, özellikle Hollanda ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yetiştiriciliğini genişletmek için ciddi girişimler devam etmektedir. Teff çok talep edilen bir tahıldır ve Etiyopya'da hem tahıl hem de saman için diğer tahıllara göre daha yüksek piyasa fiyatlarına sahiptir.

Teff yetiştiren çiftçiler, diğer tahıllardan daha fazla kazanmaktadır. Teff taneleri yabani otlar tarafından saldırıya uğramaz, bu da depolamadaki hasat sonrası kayıpların azaldığı ve haşere kontrol depolama kimyasallarına ihtiyaç duyulmadığı anlamına gelir. Diyet gereksinimleri için ülke, günlük protein alımının üçte ikisi ve kişi başına düşen kalori alımının %11'i için teff'e güvenmektedir (Rosenberg, et al., 2005). Teff, Etiyopya'nın 90 milyon nüfusunun yaklaşık %85'i için temel bir besindir ve şu anda neredeyse çok düşük verimle yağışa dayalı yetiştirilmektedir. Teff'in ulusal ortalama verimi 1.85 t/ha'dır (CSA, 2020). Teff verimi, buğday ve parmak darı gibi diğer küçük taneli tahılların verimine göre daha düşüktür (%20 - %40). Hasattan önce ve sonra, teff'in %25-30'u kaybedilmekte ve yatma 30'a varan verim kaybına neden olabilmektedir (Crymes, 2015). Düşük verim, etkili bitki yönetimi yaklaşımlarının eksikliğinin yanı sıra, teff'in yüksek barınma duyarlılığı ile ağırlaşan toprak verimliliğinin azalmasına bağlanmıştır (Mihretie vd., 2022).



Şekil 2.6 Teff bitkisi, tohumu ve unu (kaynak: appreciategoods)

Talep ve arz arasındaki büyük uçurum nedeniyle, ton başına teff maliyeti 130'dan 650 ABD dolarına kadar beş kat artmıştır. Şu anda, 2019/2020'de teff fiyatı çarpıcı bir şekilde 1.201,69 USD/ton'a yükselmiştir (Matiwos, 2021). (Tadele & Hibistu, 2021) e göre 2011 ve 2030 yılları arasında teff talebi %250 artacaktır. Teff için kentsel talepte hızlı büyüme olduğu doğrulanmıştır. Kentsel teff tüketimi 2011 yılında toplam teff tüketiminin %43'ünü oluştururken, bunun 2030 yılında %55'e çıkması beklenmektedir. Yüksek fiyat

nedeniyle, kentsel seçkinler kırsal yoksullardan daha fazla teff tüketmektedir. İstatistiklere göre, yıllık ortalama kentsel teff tüketimi kişi başına 61 kg, kırsal tüketim ise 20 kg'dır (Crymes, 2015). Etiyopya hükümeti, iç pazar sıkıntısını en aza indirmek için teff tahıl ve un ihracatını yasaklamak zorunda kalmıştır. Yasağın temel amacı enflasyonu kontrol etmek ve buğdayın iç piyasadaki fiyatını düşürmektir. Bu kısıtlama sonucunda teff fiyatı düşmemiş, ayrıca teff'e olan iç talebin yerli üretimi aşması nedeniyle ihracat kısıtlamasından bu yana teff'in iç fiyatı artmaya devam etmiştir (Rashid, 2010). Dünyadaki teff'in %90'ından fazlası Etiyopya'da üretilmektedir. En büyük üretim hacmine sahip olan ülke, küresel pazarda kendi ürününden kar elde edememektedir. Diğer ülkeler ise büyüyen pazardan yararlanmak için teff üretim ve pazarlamasına aktif olarak katılmaktadırlar (Heygin, 2018). Hyejin Lee 2018'e göre injera'yı (teff tahılının nihai veya işlenmiş ürünü, Şekil 2.5) diğer ülkelere ihraç etmek, teff fiyatını yüksek tutan bir diğer unsurdur. Teff tahıl ve un ihracat yasağının ardından 2012 yılında 2,5 milyon kg'a yükselen injera ihracat hacmi, 2008 yılına göre %270 artmıştır. Birleşik Arap Emirlikleri (BAE), toplam ihracatın yaklaşık %65'ini oluşturan ana injera ihracat destinasyonudur. BAE, her biri injera ihracatının yaklaşık %10'una katkıda bulunan ABD, Bahreyn ve İsveç'ten önce gelmektedir (Abraham, 2015). Çiftçi gelirini ve GSYİH'yı ve genel olarak refahı artırmak ve ayrıca olgunlaştıkça küresel teff pazarının bir bölümünü ele geçirmek için Etiyopya'nın modern tarım yöntemlerine, büyük ölçekli bir üretim sistemine ve verimli bir değer zincirine sahip ülkelerle rekabet etmek zorunda kalacağını öne sürmüştür.

Çiftçinin tarlasında çiftçilerin elde ettiği maksimum verim 2,5 ton/ ha'dır. Bununla birlikte, tipik çiftçi verimi yaklaşık 1 ton/ha tahıl ve hayvan yemi olarak kullanılan 5-6 ton/ha samandır (Yihun, 2015). Şu anda sulama deneysel arazilerde teff verimi 3,3 ton/ha'ya ulaşmıştır. Awash Nehir Havzasında uygulanan sulama fiyatlandırma seviyesi 0.00015 US\$/m³ olup, birçok ülkede uygulanan fiyatlandırma seviyelerine göre düşüktür. bu nedenle sulama ile üretim seviyesinin artırılması faydalı olabilir (Ayana vd., 2015). Etiyopya'da teff üretiminin ana alanları Etiyopya'nın kuzeybatı ve orta yaylalarında yoğunlaşmıştır. Etiyopya'nın dokuz bölgesi olmasına rağmen, Oromia ve Amhara bölgeleri %85 teff üretimini yapmaktadır. Tigray ve SNNPR, üretimleri küçük olmasına rağmen teff de üretmektedir. Bu, teff'in üretilmesi gereken iklim ve topografyadan

kaynaklanmaktadır. Teff, toplam tahıl ekim alanının %24,11'ini ve toplam tahıl üretiminin %17,11'ini oluşturmaktadır (Çizelge 2.6). Bununla birlikte, teff yağışla beslenen bir üründür ve yılda sadece bir kez üretilir. "Meher" mevsiminde (Eylül ve Şubat ayları arasında) hasat edilir.

Çizelge 2.6 Etiyopya'da ana (meher) sezonda hububat alanı, üretim, verim (2019/2020) (CSA, 2020)

Bitki	Ekili alan (milyon ha)	Ekili alan oranı (%)	Üretim (milyon ton)	Üretim oranı (%)	Ortalama verim	Çiftçi sayısı (milyon)
Tahıllılar	10.48	100	29,67	100	2,56	16,85
Teff	3,1	30,0	5,73	20	1,85	7,15
Mısır	2,27	21,7	9,63	32,47	4,24	11,47
Sorgum	1,8	17,4	5,31	17,75	2,88	4,87
Buğday	1,9	17,0	4,64	17,97	2,97	4,88
Arpa	0,95	9,0	2,37	8,01	2,5	3,91
Darı	0,45	4,3	1,13	3,8	2,47	1,8
Yulaf	0,021	0,2	0,05	0,15	2,15	0,15
Pirinç	0,06	0,5	0,17	0,58	2,96	0,17

2.8 Etiyopya'da İklim Değişikliği ve Teff Üretimi

Etiyopya'nın ekonomisi tarıma dayalıdır, dolayısıyla tarım nüfusun %70'inden fazlası için birincil gelir kaynağıdır. Ayrıca, tarım sektörü Etiyopya'nın toplam ihracatının yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. Öte yandan Etiyopya'da tarım, küçük çiftçilik ile karakterizedir ve hava ve iklim değişikliğine karşı çok savunmasızdır (Sankaranarayanan, et al., 2020). Etiyopya'nın yağış paterni, Etiyopya'da yağış oluşumu ve gelişimi için elverişli koşullar sağlayan mevsimsel intertropikal yakınsama bölgesi (ITCZ) hareketi, arazi yüzey ısıtması ve topografya arasındaki etkileşimlerden etkilenmektedir. Etiyopya'da, El Nino-Güney Salınımının (ENSO) yağış yoğunluğu üzerinde önemli bir etkisi vardır. Güçlü La Nina yılları Kiremt mevsiminde daha fazla yağışa neden olurken, El Nino yılları Kiremt mevsiminde daha düşük yağışa neden olur. Örneğin, 2015 ve 2017'deki El Nino olayları

ülkenin çoğunda kuraklığa neden olmuştur. Bu kuraklık tarımı etkilemiş ve hayvan kayıplarına neden olmuştur. Ülkenin iklimi, çok çeşitli yükseklikleri nedeniyle oldukça değişkendir. Genel olarak aşırı yükseklikler, hakim rüzgarlar tarafından taşınan hava kütlelerinin yükselmesine ve donmasına neden olarak yağışa neden olur. Öte yandan ovalar, yüksek zeminin arkasında bulundukları için aşırı derecede kurudur (Funk, Michaelsen, J., & Marshall, 2012).

USAID'ye (2015) göre, 1970'lerin ortaları ile 2000'lerin sonları arasında Belg (Kısa yağmur mevsimi, Şubat ayından Mayıs ayına kadar sürer) ve Kiremt (Haziran ve Eylül ortası arasında olan uzun yağmur mevsimi) yağışları güney, güneybatı ve güneydoğu Etiyopya'nın bazı bölgelerinde %15-20 oranında azalmıştır. Benzer şekilde, 1990 ve 2009 yılları arasında yeterli miktarda Belg yağmuru alan bölgeler %16 oranında küçülmüştür ve Etiyopya'nın Rift vadisi, güney ve doğusundaki yoğun nüfuslu bölgeleri iklim değişikliği riskine maruz bırakmıştır. Etiyopya'nın çoğunluğunun, yüzyılın sonuna kadar hava sıcaklığında 1.0°C 'den fazla bir artışa maruz kalması ve ısınma eğiliminin ülkenin güney ve doğusunda en fazla olması beklenmektedir (Li, Li, Ballard, Sun, & Jeuland, 2015). Bu ısınma, kuraklıkların ve bitki yetmezliğinin etkilerini daha da kötüleştirecek ve üretken tarım ve mera alanlarının kapsamını potansiyel olarak azaltacaktır. Etiyopya'nın doğu ve güney bölgelerindeki mevcut düşük yağış ve artan sıcaklık, mevcut tüm verimli arazilerin ekildiği ve nüfus gelişimi nedeniyle arazi sahibi büyüklüğünün küçüldüğü mevcut yoğun nüfuslu alanlarla çakışmaktadır. Etiyopya ülke çapında bir kuraklık değil, daha sık kuraklık eğilimi gösteren bölgesel kuraklık noktaları yaşamaktadır. Ancak daha sık kuraklık için bir eğilim ile oldukça bölgesel kuraklık noktaları bulunmaktadır. İklimsel olarak marjinal bölgelerde yaşayan çoğu pastoralist, agropastoral ve bazı yaylacılar şiddetli kuraklıklardan etkilenecek olsa da, iklimsel olarak güvenli bölgelerde daha iyi verim sonuçlarının hafifletilmesine yardımcı olabilir (USAID, 2015).

Diğer çalışmalarda, 60 yıllık hava durumu verilerine dayanarak, orta Etiyopya yaylalarındaki iklim değişikliği gerçektir. İklimle uyum kabul edilmeli ve iklim değişikliğindeki belirsizlik kaçınılmaz olarak kabul edilmelidir (Alemayehu, Masafu, Ebro, Tegegne, & Gebru, 2018). Etiyopya'da iklim değişikliği tarımsal üretkenliğe ve sonuç olarak gıda güvencesine bağlıdır. İklim değişikliğine ek olarak, Etiyopya'nın gıda

güvencesi konumu hızlı nüfus artışı ve kara ve su kaynaklarının bozulmasından zarar görmektedir. Sonuç olarak, iklim değişikliğine uyum sağlamanın yanı sıra, Etiyopya, ülkenin nüfus politikasının iyileştirilmesi ve yeniden değerlendirilmesi, bozulmuş toprak ve su kaynaklarının restorasyonu ve halkı için alternatif geçim seçenekleri bulmak da dahil olmak üzere sosyal ve ekonomik kalkınmanın dengelenmesinde birçok zorlukla karşı karşıyadır (Demissew, 2018).

İklim değişikliği nedeniyle teff, bölgedeki en savunmasız bitkilerden biridir (Evangelista, Evangelista, & Burnett, 2013). Etiyopya'da, beyaz teff deniz seviyesinden 1.800 ila 2.400 m yükseklikte en iyi şekilde büyür. Kahverengi teff, 2.400 m'nin üzerindeki yüksekliklerde yetiştirilir. Teff tarımı için ideal yıllık yağış miktarı 950 mm ile 1.500 mm arasındadır. Yıllık yağış miktarı en fazla 2.500 mm'dir (FAO, 2011). Öte yandan, Etiyopya'da teff, büyüme mevsimi boyunca yıllık 750-850 mm ve 450-550 mm yağışlarla iyi bir performans sergilemekle birlikte, büyüme mevsiminde 300 mm yağışla makul verim elde edilebilmektedir. Teff genetik olarak çeşitlidir, 1000 ila 2500 m yüksekliklerde ve ortalama 10°C ila 27°C sıcaklık aralığında yetiştirilir. Bitkinin hem kuraklığa hem de su basmasına toleranslı olduğu düşünülmektedir. Bu özellik, oldukça değişken çevre koşullarına sahip yerlerde yoksul çiftçiler için değerlidir. Teff, genellikle erken kuraklık nedeniyle bir tahılın başarısız olmasından sonra, aynı mevsimde bir kurtarma grubu olarak, daha sonraki yağmurlardan yararlanarak bir miktar tahıl ve saman elde etmek için ekilir. Etiyopya yaylaları için AquaCrop veya diğer simülasyon modelleri kullanılarak tahmin edilen erken olgunlaşan teff'in mevsimsel ET'si 280 ila 300 mm aralığındadır. Bu nedenle, kısa bir yaşam döngüsü olan teff böyle bir durumda su stresi bile yaşamayabilir, ancak verim daha uzun çevrim çeşitlerine kıyasla daha az olacaktır. Su kıtlığı, Etiyopya'nın kurak ve yarı kurak bölgelerinde yetersiz ve düzensiz yağışlar nedeniyle teff büyümesi için en önemli sınırlayıcı faktör olmasına rağmen, sulama geleneksel kültür alanlarında yaygın olarak uygulanmamaktadır. Araştırmalar, teff'in yeşil kanopiyi daha uzun süre koruyarak terminal kuraklığına eğilimli yerlerde tamamlayıcı sulamadan yararlandığını açıkça göstermektedir (FAO, 2012). Şu anda, teff Etiyopya'nın tüm idari bölgelerinde ağırlıklı olarak Tigray, Amhara, Oromia ve SNNP bölgelerinin yaylalarında yetişmektedir. DIVA-CBS uygunluk analizinden teff, Gambella, Benishangule ve güney SNNP'deki ülkenin ova bölgelerinde, teff büyümeyen bölgelerde yetişmek için

mükemmeldir. Şu anda teff büyümeyen alanlar teff'nin 2050'den 2070'e kadar iklim değişikliğine ilişkin tarımsal uygunluğuna ilişkin analiz, genellikle iklim değişikliği altında teff'e uygun alanların olduğunu göstermiştir. Etiyopya'nın hemen hemen tüm idari bölgelerinde değişim senaryoları artacaktır (Alemayehu, Masafu, Ebro, Tegegne, & Gebru, 2018). Öte yandan (Yumba, MD, Kiambi, F, & Rao, 2014), teff ve iklim değişikliği üzerine, iklim değişikliğinin bir sonucu olarak gelecekteki teff dağılım değişikliklerini ve verim kayıplarını öngören başka bir çalışma yürütmüştür. Araştırmaya göre, 2050 yılına gelindiğinde teff için mevcut uygun alanın yaklaşık %24'ü (236,975.65 km²) civarında bir kayıp olacaktır. Araştırmaya göre, Oromia bölgeleri kullanılabilir arazilerinin çoğunluğunu kaybedecektir. Türler güney-doğudan kuzey-batıya, Kuzey Etiyopya'nın daha yüksek kotlarına doğru hareket etmektedir. Daha düşük kotlardaki bitki uygunluk bölgeleri etkilenecektir. 1200 ila 2500 metre arasındaki rakımlarda uygunluk gelişmiştir. Ayrıca, bölgedeki sıcaklıkların 2050 yılında 15 ila 27°C arasında değişmesi ve yağışlarda telafi edici artışların 600 ila 1.900 mm arasında olması ve teff'i iklimsel olarak uygun hale getirmesi beklenmektedir.

Yeni bir araştırmaya göre (Zewudie, Ding, Rong, Zhao, & Y., 2021) , batı Etiyopya'da teff dağılımı için en uygun alan ilçenin kuzeybatı kesimindedir. Araştırmaya göre, iklim değişikliği teff dağılımını etkilemektedir ve beklenen toplam 5.000–7.300 km² uygun yaşam alanı kaybı mevcuttur. Son olarak, çalışma, bu değişikliğin kısa vadede ciddi bir tehlike oluşturmada da, Etiyopya'nın uzun vadede temel ürün olarak gelecekteki teff arzı üzerinde önemli bir etkisi olabileceğini belirlemiştir. Diğer yeni bir çalışma (Woldeyohannes, ve diğerleri, 2021), iklim projeksiyonlarına uygulandığında, modelin, Etiyopya teff'inde mevcut olan büyük çeşitliliğe dokunarak üreme ve koruma çabalarına duyulan ihtiyacı destekleyerek, teff yetiştiriciliğinin uygunluğunun 2070 yılına kadar azalacağını gösterdiğini de belirtmektedir. Teff, Etiyopya'nın ulusal gıda güvenesi için son derece önemlidir. İklim değişikliği, coğrafi ürün yelpazesini tehdit ederek gıda güvenesine doğrudan bir tehdit oluşturmaktadır (FAO 2011). Etiyopya'da 2070 yılına kadar öngörülen çarpıcı sıcaklık artışları, çiftçileri yalnızca daha yüksek rakımlarda dağlık bölgelerde yetiştirmeye zorlayarak, gıdaların zaten az olduğu ve nüfusun arttığı bir dönemde üretimi düşürebilir.

2.9 Su Ayak İzi Kavramı

Su ayak izi, bir ürün veya hizmet üretimi için tüm tedarik zincirinde kullanılan tatlı su miktarını belirlemek için geliştirilmiş bir göstergedir. Su ayak izi yöntemi, bir ürünün, hizmetin veya işlemin hem doğrudan hem de dolaylı su kullanımını araştırır. Su ayak izi, tipik su kullanımı veya su çekme ölçüsünden farklıdır çünkü su ayak izi, tüketim ürünü veya tüketim modeli ile su kullanımı ve kirlilik arasındaki bağlantıyı göstermektedir. Hem doğrudan hem de dolaylı su kullanımına odaklanarak, su yönetimi planlarında bilinçli kararlar almak için kullanılabilir değerli bilgiler verir. Ülkeler, ürünler, nehir havzaları ve ürünler dahil olmak üzere çeşitli kuruluşlar için bir su ayak izi değerlendirmesi gerçekleştirilebilir. Ülke ve nehir havzası su ayak izleri politika oluşumuna odaklanırken, ürün ve mal su ayak izleri tedarik zincirindeki suyla ilgili riskleri ve bunların yönetimini anlamaya odaklanır. Su ayak izi değerlendirmesi için kullanılan yaklaşım, kullanım amacına bağlı olarak farklılık gösterir. Örneğin, özel sektör, üretim ve dağıtım ile ilgili risklerin anlaşılmasına yardımcı olmak için ürünlerinin tedarik zincirindeki su bağımlılıklarını anlamakla sıklıkla ilgilenmektedir.

2.9.1 Su ayak izi değerlendirmesi

Hoekstra'ya göre (2011), su ayak izi değerlendirmesinin belirlenmesinde dört adımdan oluşan bir süreç yer alır. Bu dört adım şunlardır:

- (1) Hedef ve kapsam belirleme
- (2) Su ayak izinin muhasebeleştirilmesi
- (3) Sürdürülebilirlik değerlendirmesinin tamamlanması
- (4) Bir yanıt formülasyonu

Bu adımların her biri aşağıda tartışılmıştır.

(1) Hedef ve kapsam belirleme

Herhangi bir araştırma, neyin dahil edileceğine ve neyin hariç tutulacağına dair bir karar gerektirir. Su ayak izi için, bu kararlar açık bir şekilde verilir ve aşağıdaki gibi faktörleri içerir. Su ayak izinin değerlendirilmesi, bir ürünün tamamı veya tedarik zincirinin belirli bir adımı veya belirli bir ülke veya bölgedeki bir müşteri veya tüketici grubu gibi birçok hedefe sahiptir. Su ayak izi, belirli bir şirket veya endüstri için de hesaplanabilir. Bir WF araştırmasının temel amacı, kamuoyunu bilinçlendirmek, sıcak noktaları belirlemek, hedefler belirlemek veya politika oluşturmaya yardımcı olmak olsun, açıkça tanımlanmalıdır. Ayrıca, doğrudan/dolaylı su ayak izleri ve gri/mavi ve/veya yeşil su ayak izleri gibi özel çalışma vurgusu, çalışmanın yürütüleceği zaman aralığı gibi diğer özellikler de sağlanmalıdır.

(2) Su ayak izi muhasebesi

Bu aşamada alınan kararlar, yapılması gereken işgücü ve taşımacılığın dahil edilmesine ilişkin kararlar da dahil olmak üzere su muhasebesi hesaplamasında kullanılacak varsayımların oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca bu aşamada alınan kararlar, su muhasebesinde kullanılacak varsayımların oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

Bir WF çalışmasının sınırları, içerme ve dışlama alanları açıkça tanımlanarak doğru bir şekilde belirtilmelidir. Çalışmada aşağıdaki kontrol listesi açısından çeşitli faktörler de ele alınmalı ve vurgulanmalıdır.

- * Bir WF'nin farklı bileşenleri – mavi/gri ve/veya yeşil ayak izi – dikkate alınır mı?
- Hangi veri periyodu dahil edilmelidir?
- * Çalışma sadece doğrudan/dolaylı su ayak izlerini veya her ikisini de dikkate alıyor mu?
- Tedarik zincirinin tamamını değerlendirirken sınır nerede çiziliyor?
- * Ulusal bir WF, yalnızca bir ulusun tüketiminin bir kısmını mı yoksa toplam ulusun tüketimini mi inceler?

(3) Su ayak izi sürdürülebilirlik değerlendirmesi

Hesaplanan su ayak izi, işletme faaliyetinin veya sürecinin yerel çevre ve toplum üzerindeki etkisini belirlemek için bu aşamada değerlendirilir. Herhangi bir çalışmanın üçüncü ve en önemli adımı WF sürdürülebilirlik değerlendirmesidir. Burada incelenecek kilit nokta, coğrafi, ürün veya süreç temelli olsun, WF çalışmasının bakış açısına bağlıdır. Genel sürdürülebilirlik değerlendirmeleri, çevresel standartlarla ilişkili sürdürülebilirliği, ekonomik ve kıyaslama ile ilişkili verimliliği ve yerel ve küresel su kaynaklarının tahsisine yönelik eşitlik kriterlerini içerir. Her üç sürdürülebilirlik bileşeni de su miktarının ve kalitesinin her iki yönünü de içerir. Sürdürülebilirliği süreç verimliliği açısından değerlendirmek, bölgesel ve küresel düzeylerde benzer süreç türlerini kullanan yerleşik ölçütler gerektirir. Herhangi bir çalışmanın üçüncü aşamasında gerçekleşen bu değerlendirme, amaç ve kapsam belirlemenin birinci aşamasına ayrılmaz biçimde bağlıdır. Çevresel sürdürülebilirlik, ekosistemin ve suyun kullanım alanlarının nehir havzası/akifer ölçeğinde karşılanması için sürdürülebilir sınırlar içinde kullanılan tatlı su ile karşılanmaktadır. Burada su ayak izinin, havzadaki mevcut su kaynaklarına bağlı olan maksimum sürdürülebilir sınırlar bağlamında göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Maksimum sürdürülebilir su ayak izi, mevcut akış, depolama olanakları ve çevresel akış gereksinimleri göz önüne alındığında, tüketim amaçlı kullanımlar için bir yıl içinde zaman içinde maksimum düzeyde kullanılabilen yenilenebilir tatlı su hacmini ifade eder (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).

(4) Su ayak izi yanıt formülasyonu

Su ayak izi değerlendirmesinin bu son adımında, sürecin yerel su kıtlığı ve kirliliği üzerindeki etkisinin nasıl azaltılacağı konusunda önerilerde bulunmaktadır. Yöntemler, bir zaman dilimi ve sorumlu bir kişi belirtilir (Hoekstra vd., 2009). Kilit sorular arasında sürdürülebilirliğin tüm yönlerinin (ekonomik, sosyal ve çevresel) mavi/gri ve/veya yeşil su ayak izleri açısından incelenmesi gerekip gerekmediği ve yalnızca sıcak alanların belirlenip belirlenmeyeceği veya bu sıcak noktaların birincil mi yoksa ikincil mi olduğunu daha fazla belirtip belirtmeyeceği yer almaktadır.

Mavi ve yeşil su ayak izleri benzer metodoloji kullanılarak modellenirken, gri su ayak izi ayrı bir yaklaşım gerektirir. Mavi su ayak izi, insanlar tarafından yüzey veya yeraltı suyunun tüketimsel kullanımının bir ölçüsüdür. WF mavi, mavi suyun buharlaşması ve kayıp geri dönüş akışının toplamıdır. Mavi su esas olarak su çekimi ve sulama işlemi adımlarında kullanılır. Yeşil su ayak izi, bitkide yer alan 'kalıcı' suyu, bitki büyümesi sırasında tüketilen yağmur suyuyla birleştirir (burada 'yağmur suyu tüketimi, bitkilerden ve topraklardan gelen terlemeyi ifade eder). Yeşil su, "yeraltı suyunu beslemeyen karadaki yağış" suyudur (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).

2.9.2 Bitkinin yeşil su ayak izi hesaplanması

Tarımsal kökenli bir ürün üretmek için, topraktan buharlaşan, köklerden emilen ve bitki tarafından buharlaşan yağış ve hasat edilen bitkinin içine dahil edilen su dikkate alınmalıdır. Bu bileşen “yeşil su”dur ve tarımsal üretim aşamalarında yaygın olarak kullanılan suyun önemli bir bölümünü temsil eder. Doğal süreçlerden kaynaklandığı için herhangi bir fırsat maliyetine sahip değildir ve bu nedenle sadece tarımsal süreçler analizin bir parçası olduğunda ortaya çıkar. Özellikle, evapotranspirasyon (ET), bitki büyümesi sırasında meydana gelen etkili yağıştan daha yüksekse, $WF_{yeşil}$ etkili yağışa (P_{eff}) eşittir; öte yandan, evapotranspirasyon etkili yağıştan daha düşükse, $WF_{yeşil}$ evapotranspirasyona eşittir. Etkili yağış (P_{eff}), bitkisin büyüme dönemleri boyunca ihtiyaç duyduğu toplam yağış derinliği olarak verilir (Aldaya & M.R.Llamas, 2008). Aşağıda ilgili formüller verilmiştir.

$$ET \geq P_{eff} \quad \quad \quad WF_{yeşil} = P_{eff} \quad \quad \quad \text{Eşitlik (2.1)}$$

$$ET < P_{eff} = WF_{yeşil} = ET \quad \quad \quad \text{Eşitlik (2.2)}$$

$$p_e = \begin{cases} \frac{p(125 - 0.2p)}{125}; & p \leq 205\text{mm} \\ 125 + 0.1p, & p > 250\text{mm} \end{cases} \quad \quad \quad \text{Eşitlik (2.3)}$$

2.9.3 Bitkinin mavi su ayak izinin hesaplanması

Tarım sektörü ile ilgili olarak, kullanılan mavi su ürüne, su eksikliklerine karşı bitki toleransına, sulama verimliliğine ve yeşil suya bağlıdır. Yeşil suyun yetersiz olduğu durumda mavi su kullanılır. Özellikle, evapotranspirasyon yağıştan daha yüksekse, mavi su ayak izi potansiyel olarak evapotranspirasyon ve yağış arasındaki farka eşittir. Aksi takdirde, mavi su ayak izi sıfırdır.

$$ET \geq Peff \quad WF_{mavi\ teorik} = ET - Peff \quad \text{Eşitlik (2.4)}$$

$$ET < Peff \quad WF_{mavi\ teorik} = 0 \quad \text{Eşitlik (2.5)}$$

Daha ayrıntılı olarak, eğer $ET \geq Peff$; $WF_{mavi} = ET - Peff$, sulama yöntemi, zamanlama ve hacmi, toprak su içeriği, ürün yetiştirme özellikleri hakkında bilgi geçerli olduğunda geçerlidir. Öte yandan, sulama, toprak ve bitki hakkında bilgi mevcut olduğunda, daha ayrıntılı WF mavi ölçümü şiddetle tavsiye edilir (Hoekstra vd., 2011). Mavi su ayak izi hesaplamasına yalnızca bitki yüzey alanından sulama suyunun terlemesi dahil edilir. Sulama suyunu depolamak için inşa edilen yapay yüzey su rezervuarlarından su buharlaşması ve sulama suyunu sahaya taşıyan taşıma kanallarından su buharlaşması hariçtir. Su depolama ve taşıma, bitki tarlaya ekilmeden önce meydana gelen ve her birinin kendi su ayak izine sahip iki prosedürdür. Önceki iki işlem aşamasındaki buharlaşma kayıpları önemli olabilir ve tercihen hasat edilen bitkinin su ayak izi hesaplanırken dikkate alınmalıdır.

2.9.4 Bitkinin gri su ayak izinin hesaplanması

Üretim sırasında kullanılan gerçek bir su hacmi değil, üretim süreci boyunca kirlendikten sonra su kalitesini geri kazanmak için gereken hacimdir. Su kirliliği ve kalitesi ile ilgili kısıtlamalar normalleştirilmiştir. Gri su ayak izi, mevcut su kaynaklarını ölçmenin farklı bir bölümüdür; hesaplamalar, mavi ve yeşil muadillerinden çok daha farklı veri girişleri gerektirir.

Çeşitli çevresel nedenlerden dolayı kirletici ürünleri suya seyreltmek çok önemlidir. Su ayak izinin gri bileşeni (m^3/ton), azot uygulama oranının (kg/ha) liç fraksiyonu ile çarpılması ve bunu kabul edilebilir maksimum azot konsantrasyonu (kg/ m^3) ile alıcı su kütlesindeki doğal azot konsantrasyonu (kg/m^3) arasındaki farka bölünmesiyle ve daha sonra verimine (ton/ha) bölünmesi ile hesaplanır.

$$WF_{proc,gri} = \alpha \times AR(C_{max} - C_{nat})/y \quad \text{Eşitlik 2.6}$$

AR; hektar başına kimyasal (gübreler ve pestisitler) uygulama oranı

α ; liç fraksiyon

C_{max} ; (mg/dm^3) ortam suyu kalite standardı (yani kirletici için kabul edilebilir maksimum konsantrasyon),

C_{nat} ; (mg/dm^3) alıcı su kütlesindeki kirleticinin doğal konsantrasyonu

Y; bitki verimi

Genellikle, doğal konsantrasyon sıfır değildir, çünkü tüm nehirler doğal olarak bazı besinleri taşır. Bununla birlikte, genellikle basitlik, muhafazakar bir yaklaşım ve insan yapımı kirleticiler göz önüne alındığında sıfır olarak kabul edilir (Franke vd., 2013). Tarımsal üretim için azot genellikle WF_{gri} 'den sorumludur, çünkü azotlu gübreler tarlada en bol miktarda bulunur. Her madde için izin verilen maksimum sınırlar yerel koşullara göre değişir; Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) sınırları veya AB tarafından önerilen sınırlar kullanılır. Azot ile ilgili olarak, ABD-EPA $45 mg/dm^3$ NO_3 kullanılmasını önerirken, AB $50 mg/dm^3$ NO_3 kullanılmasını önerir. Yine de, WF güvenilirliği ve sağlamlığı, sonuçları yanlış etkileyebilecek uygun veri eksikliğinden etkilenir (Moberg, 2016). Bazı çalışmalarda, kirleticilerin değerlendirilmesindeki ve bileşenin gerçek su hacimlerine entegre edilmesindeki zorluklar nedeniyle gri bileşen değerlendirilmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada teff üretiminin gri su ayak izi de yer almamaktadır. Açıklanan üç bileşen (yeşil, mavi ve gri) ayrı ayrı ölçülmelidir; bununla birlikte, tek bir göstergeye sahip olmak için, toplanabilirler.

$$WF_{pro} = WF_{proc, green} + wF_{proc, blue} + WF_{proc, gre} \quad \text{Eşitlik (2.7)}$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

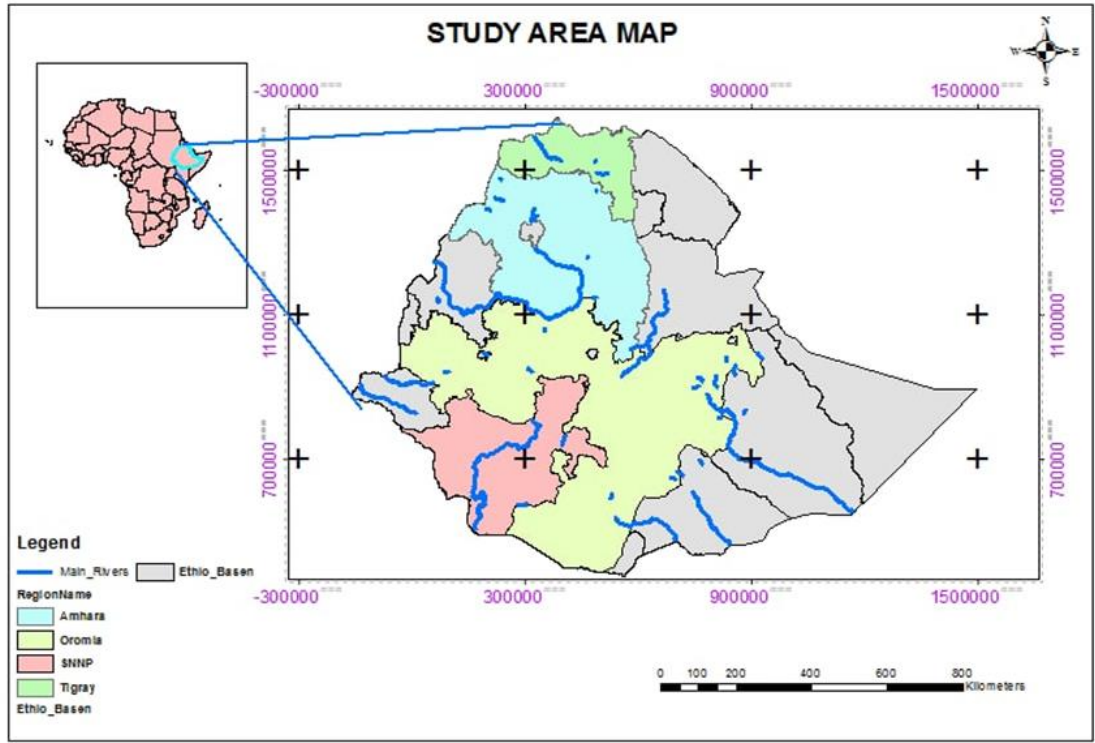
3.1 Çalışma Alanı

Bu çalışmanın temel amaçlarından biri, Etiyopya'daki dört farklı yüksek teff üreten alanda teff bitkisinin su ayak izini hesaplamaktır (Sekil 3.1). Teff üretimi miktarı 2018/2029'da %17,56'dan 2019/2020'de %18,50'ye yükselmiştir. Çizelge 3.1, Etiyopya bölgesine göre 2018/2019 ve 2019/2020 için teff alanını, üretimini ve verimini göstermektedir (CSA, 2020).

Çizelge 3.1 Etiyopya’da teff üretim verimi (2018/2019 ve 2019/2020)

Bölge	Alan (ha)		Üretim (ton)		Verim (ton/ha)	
	2018/2019	2019/2020	2018/2019	2019/2020	2018/2019	2019/2020
Oromia	1.431.869,73	1.487.970,57	2562868,89	2809097,84	1,79	1,88
Amhara	1.200.986,74	1.156.131,90	2161486,19	2189236,64	1,8	1,89
SNNP	236,532,28	241.008,69	3508286,48	380420,29	1,4	1,57
Tigray	176.545,8	188.391,88	283833,4	311753,88	1,6	1,65
Ortalama					1.7	1.74
Toplam	3.076.595,02	3.101.177,38	5403479,05	5735710,19		

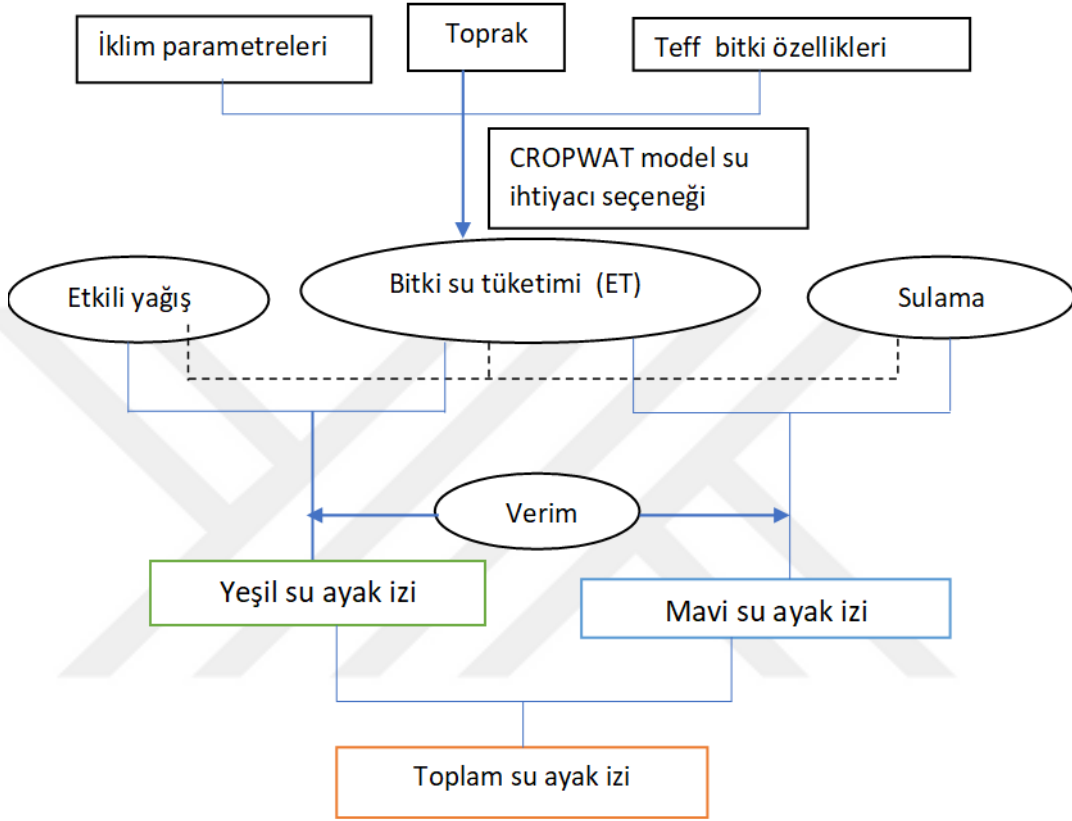
Kaynak: (CSA, AREA AND PRODUCTION OF MAJOR , 2020)



Şekil 3.1 Etiyopya'daki teff üretim bölgelerinin haritası

Bu çalışmada bitkinin WF tahminleri, Chapagain & Hoekstra, (2008) tarafından hazırlanan çerçeve izlenerek hesaplanmıştır. Su ayak izi, yeşil ve mavi su bileşenlerini ayırt ederek her yıl için hesaplanmıştır. Her bölgede üretilen teff bitkinin Wfmavi ve WFyeşil'i, ilgili sahalardaki yerel iklim ve toprak koşulları dikkate alınarak ölçülmüştür. Teff bitkisinin evapotranspirasyonunun hesaplanması ve verim, Allen ve diğ. (1998) tarafından sağlanan yöntem ve varsayımlara göre yapılmıştır. Bitkilerin su ayak izlerini hesaplamak için evapotranspirasyonun (ETc) hesaplanması esastır. Teff bitkinin ETc'si, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilen ve iklim, toprak ve ürün verilerinden ürün ve sulama suyu ihtiyacını ve sulama programını hesaplayabilen bir bilgisayar programı olan CROPWAT 8.0 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır (Swennenhuis, 2009). Tarımda mavi su kullanımı, tipik olarak sulama için çekilen toplam su miktarıyla ölçülür. Bir tarlada su buharlaşmasını ölçmek zaman alan bir işlemdir. Toplam evapotranspirasyon ölçülse bile, bunun ne kadarının mavi su olduğunu tahmin etmek gerekir. Sonuç olarak, çoğu durumda iklim, toprak, ürün özellikleri ve gerçek sulamaya dayalı su dengesi modelleri kullanılacaktır. CROPWAT, bir bitkinin tüm lgp'si (büyüme periyodu uzunluğu) boyunca ideal koşullar altında bitki su gereksinimlerini

hesaplamak için CLIMWAT 2.0 yazılımı yağış verilerini, bitki büyüme girdilerini ve genel toprak verilerini kullanır. CROPWAT programındaki tüm verimler ve değişkenler hesaba katıldıktan sonra mavi ve yeşil su ayak izleri belirlenebilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2Teff bitkisinin WF değerlendirmesinin diyagramı

3.2 Potansiyel Evapotranspirasyon

Çevrenin bitki su ihtiyacı üzerindeki etkisi, muhtemel evapotranspirasyon veya referans bitki evapotranspirasyon (ET_o) ile ifade edilir. ET_o, 8 ila 15 cm yüksekliğinde, yeşil çimenlerle kaplı, etkin bir şekilde gelişen, zemini tamamen gizleyen ve su sıkıntısı olmayan devasa bir bölgeden evapotranspirasyon hızıdır.

CROPWAT 8.0 programlaması, referans bitki evapotranspirasyonuna (ET_o) karar vermek için FAO Penman-Monteith yöntemini kullanır. Bu yöntem, diğer deneysel tekniklerin zayıf yönlerini ortadan kaldırır ve tüm alanlarda ve ortamlarda gerçek hasat

suyu kullanım bilgileriyle daha istikrarlı olan ETo değerleri verir ve şu anda önerilen tek tekniktir. Bu teknik, sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve güneş ışığı verilerine dayalı olarak bir alanın ETo'sunu tespit eder (Mohamoud, 2018).

$$E_{to} = \frac{0,408\delta(Rn-G) + \gamma \left(\frac{900}{T+273} \right) U(VPD)}{\Delta + \gamma(1+0,34u_2)} \quad (\text{Eşitlik 3.1})$$

Burda:

ETo = referans evapotranspirasyon [mm gün-1],

Rn = bitki yüzeyindeki net radyasyon [MJ m-2 d-1]

G = toprak ısı akışı yoğunluğu [MJ m-2 d-1]

γ = psikometrik sabit [kPa °C-1]

T = 2 m yükseklikte hava sıcaklığı [°C]

VPD = buhar basıncı açığı [kPa]

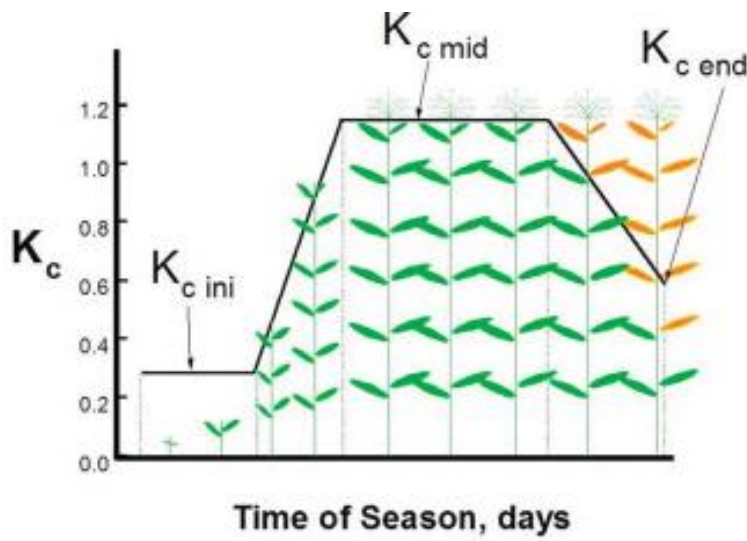
U₂ = 2 m yükseklikte rüzgar hızı [m/s]

Δ = eğimli buhar basıncı eğrisi [kPa °C-1]

3.3 Evapotranspirasyon (ETc)

ETo öncelikle FAO-Penman Monteith denkleminin sahaya özgü güneş radyasyonu, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları, bağıl nem ve rüzgar hızlarını besleyerek belirlenir. Öte yandan ETc, boyutsuz bitki katsayıları (Kc) ve Eto kullanılarak türetilir. Bitki terlemesi ve toprak buharlaşması, tek bir bitki katsayısına dahil edilmiştir. Kc katsayısı, bitki özelliklerini ve ayrıca toprak buharlaşmasının ortalama etkilerini hesaba katar. Ortalama bitki katsayıları, düzenli sulama planlaması ve yönetimi, temel sulama planlarının formülasyonu ve çoğu hidrolojik su dengesi araştırması için ayrı bir bitki ve toprak katsayısı kullanılarak günlük bir zaman adımında tahmin edilen Kc'den daha ilgili ve uygundur. Yalnızca belirli tarım alanları ve yıllar için günlük olarak Kc değerleri gerektiğinde ayrı bir terleme ve buharlaşma katsayısı (Kcb + Ke) dikkate alınmalıdır. Bitki katsayıları, erken, gelişme, mevsim ortası ve geç mevsim olmak üzere dört farklı gelişim aşamasında ampirik olarak ortalama alınan faktörlerdir. Kc değerleri, bitkinin uygun bölge ve iklimdeki özelliklerini temsil eder ve onu referans çimden ayırır (Allen,

Pereira, Raes, & Smith, 1998). Bitki evapotranspirasyonunun ve etkili yağış seviyelerinin herhangi bir bitkinin WF'si üzerinde önemli bir etkisi olduğu açıktır. Sonuç olarak, bu iki parametrenin güvenilir ve kesin olarak ölçülmesi ve tahmin edilmesi kritik öneme sahiptir. Her bitkinin, farklı büyüme aşamalarında farklı bitkiler için çeşitli su ihtiyacını tahmin edecek kendi bitki katsayıları olacaktır. Şekil 3.3, başlangıç, gelişme, sezon ortası ve sezon sonu aşamaları için ekimden sonraki günlerin veya haftaların bir fonksiyonu olarak bir bitki için bir K_c eğrisinin bir örneğini göstermektedir (Pokorny, 2009).



Şekil 3.3 Dikimden hasat dönemine kadar genelleştirilmiş bitki katsayı eğrisi
(Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998)

Ürün büyüme aşamaları dört ana aşamaya ayrılabilir: başlangıç, ürün gelişimi, sezon ortası ve sezon sonu. Bu aşamaların her birinin uzunluğu sıcaklık, enlem, yükseklik, ekim tarihi, bitki tipi ve kültürel teknikler tarafından belirlenir. Bitki büyüme aşamasını değerlendirmek ve ampirik K_c değerlerini buna göre ayarlamak için yerel saha gözlemleri en iyisidir. ET'nin çoğunluğu, büyüme mevsiminin başlarında, bitkinin çimlenmesi ve kuruluş aşamasında toprak yüzeyinden buharlaşma olarak meydana gelir. Bitki gölgelik büyüdükçe ve toprak yüzeyini kapladıkça, toprak yüzeyinden buharlaşma azalır ve ET'nin terleme bileşeni artar. Bitki erken sezonda küçük olduğunda, hem su kullanım oranı hem de K_c değeri küçüktür (K_c başlangıç aşaması) ve bitki büyüdükçe ürün ET oranı artar (Şekil 3.3). Tarımsal bitkiler tamamen olgunlaştığında, bitki ET oranı maksimuma ulaşır

(Kc sezon ortası). Sezon sonuna doğru bitki gelişimini tamamlayıp fizyolojik olgunluğa ulaştığında ET oranı bir kez daha düşer (Kc sezon sonu) (Pokorny, 2009)

Bitki evapotranspirasyon (ETc) için hesaplama prosedürü aşağıda verilmiştir:

- Bitki büyüme aşamalarının belirlenmesi, uzunluklarının belirlenmesi ve ilgili Kc katsayılarının seçilmesi
- Etap sırasında ıslanma sıklığı veya iklim koşulları için seçilen Kc katsayılarının ayarlanması
- Bitki katsayı eğrisinin oluşturulması (büyüme periyodu boyunca herhangi bir periyot için Kc değerlerinin belirlenmesine izin verilmesi)
- ETc'nin ETo ve Kc'nin çarpımı olarak hesaplanması

Gerçek bitki evapotranspirasyon (ETc, mm/gün) Eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır (Allen ve diğerleri, 1998, Mekonnen & Hoekstra, 2010):

$$Etc = ETo \times Kc \times ks \quad (\text{Eşitlik 3.2})$$

Burada,

Kc bitki katsayısı

Ks[t] mevcut toprak suyuna bağlı boyutsuz bir terleme azaltma faktörü ve

ETo [t] referans evapotranspirasyon (mm/gün)

3.4 Bitki Su İhtiyacı (CWR)

CWR (bitki su ihtiyacı), herhangi bir bitkinin evapotranspirasyon kayıplarını telafi etmek için ihtiyaç duyduğu toplam su miktarı olarak tanımlanır. Model, bitkinin su ihtiyacının tamamen karşılandığını ve bitki gelişiminin su kıtlığından etkilenmediğini varsayar (Hoekstra ve diğerleri, 2011); sonuç olarak, bitki su kullanımı ve bitki su gereksinimleri eşit hale gelir. Model, özellikle sulama faaliyetlerinin dahil edilmesinin zor olduğu geniş çalışma alanlarında, tarımsal üretimin su ayak izini hesaplamak için sıklıkla kullanılır.

$$CWR = Etc$$

3.5 Yeşil Su Ayak İzi (WFyeşil)

Teff bitkisi üretiminin WFyeşil değeri, ürün yetiştirme döneminde tarladan buharlaşan yağmur suyunun toplamı olarak hesaplanmıştır. Bitki su kullanımının yeşil bileşeni (CWUyeşil) verime (t/ha) bölünerek hesaplanır. CWUyeşil (m³/ha) Denklem 3.3 kullanılarak hesaplanır. Gerçek evapotranspirasyonun (ETa) toplamı, teff bitkisinin ekildiği günden hasatın son gününe kadar yapılmıştır. Yağmurla beslenen bitki üretimi durumunda, mavi su kullanımı sıfırdır.

$$CWU\ green(\frac{m^3}{ha}) = 10 * \sum_{d=1}^{lgp^{10}} ETc(mm) \quad (Eşitlik\ 3.3)$$

lgp : gün olarak büyüme periyodunun uzunluğunu temsil eder

(D); 10 mm cinsinden su derinliklerini hektar başına su hacmine (m³/ha) dönüştürmek için kullanılan bir faktördür. Bu nedenle, WFyeşil, CWU yeşil'in (m³/ha), Denklem 3.4'da t/ha cinsinden verilen gerçek bitki verimine (Y) bölünmesiyle hesaplanmıştır.

$$WF\ green = \frac{cwugreen}{Y} (m^3/t) \quad (Eşitlik\ 3.4)$$

3.6 Mavi Su Ayak İzi (WFmavi)

Teff bitki üretiminin WFmavi değeri, bitki su kullanımının mavi bileşeni, yani yeraltı suyu veya nehirler ve göller gibi açık su yüzeylerinden gelen su olarak hesaplanmıştır. Denklem 3.5 kullanılarak hesaplanan CWUmavi, α=1 (tam sulama) eksi yeşil bitki su kullanımı altında simüle edildiği gibi büyüme dönemi boyunca toplam ETc değerine eşittir. Toplama, bitkinin yetiştirildiği günden hasatın son gününe kadar yapılmıştır.

$$CWU\ mavi(\frac{m^3}{ha}) = 10 * \sum_{d=1}^{lgp^{10}} ETc(mm) \quad (Eşitlik\ 3.5)$$

ETmavi'nin günlük yeşil buharlaşmayı (mm/gün) temsil ettiği yerde;

Lgp, gün (d) cinsinden büyüme periyodunun uzunluğunu temsil eder;

10, milimetre cinsinden su derinliklerini hektar başına su hacmine (m³/ha) dönüştürmek için kullanılan bir faktördür. WF_{mavi}, CWU_{mavi}'nin (m³/ha), Denklem 3.6'de verilen gerçek bitki verimine (Y) (t/ha) bölünmesiyle hesaplanmıştır.

$$WF_{mavi} = \frac{CWU_{mavi}}{Y} \left(\frac{m^3}{t} \right) \quad (Eşitlik 3.6)$$

Daha önce belirtildiği gibi, Etiyopya'nın en büyük teff üreten dört bölgesi olan Oromia, Amhara, Tigray ve SNNP için teff üretiminin yeşil ve mavi su ayak izini m³/ha ve m³/ton cinsinden hesaplamak için yukarıda belirtilen denklemler (Denklem 3.3 den Denklem 3.6'a kadar) kullanılmıştır. Bu çalışmada su ayak izi bileşenleri m³/yıl biriminde hesaplanmıştır. Yıllık tüketilen su hacmini (m³/yıl) yansıtan su ayak izi göstergesi, m³/ha cinsinden su ayak izi değerinin 2019/2020 yılında teff ürününün ekildiği alan (ha) ile çarpılmasıyla belirlenir.

$$wf_{yeşil} \left(\frac{m^3}{year} \right) = WF_{yeşil} \left(\frac{m^3}{ha} \right) * dikim\ alanı \left(\frac{ha}{yıl} \right) \quad (Eşitlik 3.7)$$

$$wf_{mavi} \left(\frac{m^3}{year} \right) = WF_{mavi} \left(\frac{m^3}{ha} \right) * dikim\ alanı \left(\frac{ha}{yıl} \right) \quad (Eşitlik 3.8)$$

CROPWAT modeli, bitki evapotranspirasyonunu (ET) hesaplamak için iki seçenek sunar. İlk seçenek 'bitki su ihtiyacı seçeneği' (CWR seçeneği) 'dir. Bu seçenek, ET'yi 'ideal büyüme koşulları' altında hesaplar; bu, bitki büyümesini veya bitki verimini sınırlamaması için yağış ve/veya sulama ile yeterli toprak suyunun muhafaza edildiği anlamına gelir. İkinci seçenek 'sulama programı seçeneği' dir. Sulama programı seçeneği, CWR seçeneği olarak etkili yağış kavramı ile çalışmaz. Zamanla toprak nemini takip etmek için bir toprak suyu dengesi içerir. Bu nedenle, bu model için toprak üzerinde veri girişi gerekmektedir. Bu çalışmada CWR seçeneği kullanılmıştır, çünkü çalışma alanının yerel detaylı toprak verileri mevcut değildir ve FAO'nun orta toprak verileri kullanılmıştır (Hoekstra vd., 2011). 2019-2020 dönemi için dört (meteorolojik, toprak, bitki parametresi ve verim) veri kullanılarak su ayak izleri hesaplanmıştır.

3.7 CROPWAT Giriş Verileri

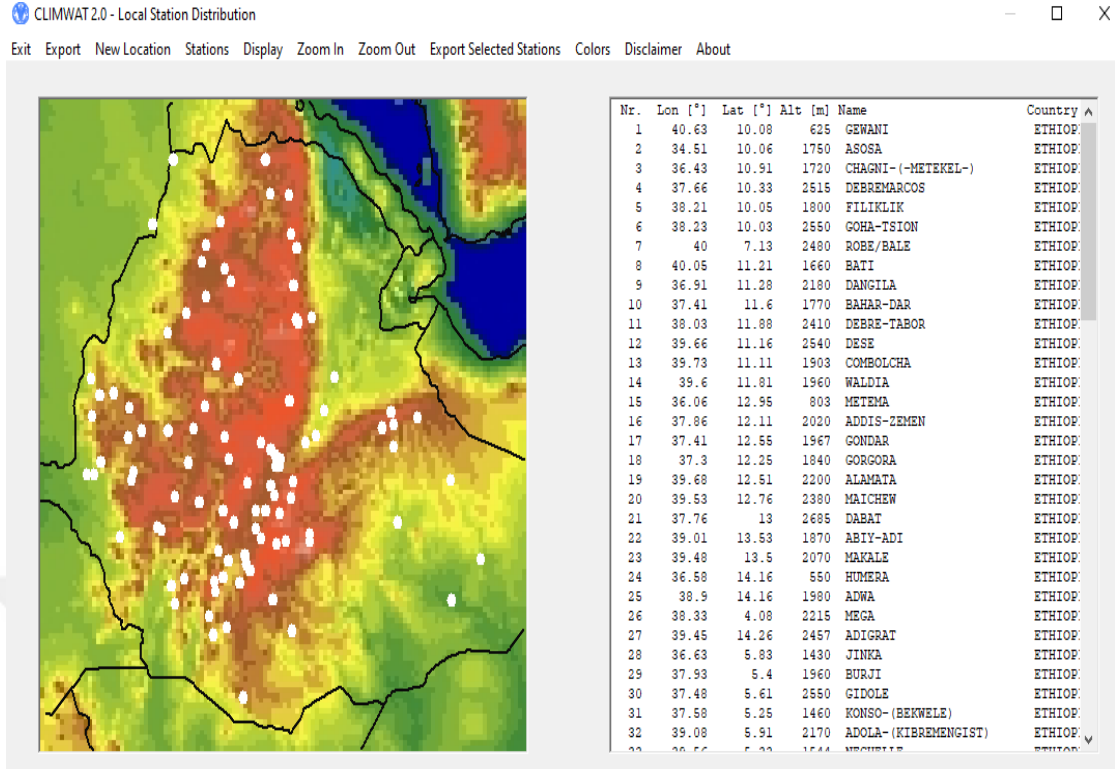
3.7.1 Meteorolojik veriler

İklim bilgisi elde etmek için CLIMWAT 2.0 yazılımı ile iklim verileri kullanılmıştır. CLIMWAT, bilgisayar yazılımı ile birlikte kullanılabilen bir iklim veri tabanıdır. Çeşitli bitkiler için, dünya çapında çeşitli klimatolojik istasyonlar için bitki su gereksinimlerinin, sulama arzının ve sulama planlamasının hesaplanmasını sağlar. FAO'nun Su Geliştirme ve Yönetim Birimi ile İklim Değişikliği ve Biyoenerji Birimi, CROPWAT için CLIMWAT 2.0 üzerinde işbirliği yapmıştır. CLIMWAT 2.0, dünya çapında binden fazla siteden gözlemlenen agroklimatik veriler sağlar. Bu çalışmada, meteorolojik veriler, Etiyopya'nın dört bölgesinde, CLIMWAT 2.0 programında bulunan, Oromia'da 48, Amhara'da 17, SNNPR'de 18 ve Tigray'da 9 olmak üzere toplam 93 meteoroloji istasyonundan toplanmıştır.

CLIMWAT 2.0 aşağıdaki iklim verilerini verir:

- Ortalama günlük maksimum sıcaklık (°C)
- Ortalama günlük minimum sıcaklık (°C)
- Ortalama bağıl nem (%)
- Ortalama rüzgar hızı (km/gün)
- Günlük ortalama güneşlenme saati
- Ortalama güneş radyasyonu (MJ/m²/gün)
- Aylık yağış miktarı (mm/ay)
- Aylık etkili yağış (mm/ay)
- Penman-Monteith yöntemi ile belirlenen referans evapotranspirasyon (mm/gün)

Bu yazılımda tek veya daha fazla istasyonun verileri, CROPWAT'ta kullanıma uygun bir biçimde alınabilir.



Şekil 3.4 CLIMWAT 2.0 Etiyopya hava istasyonlarının konumu

Belirtilen her istasyon için iki dosya üretilir. İlk dosya, uzun bir süre boyunca [mm/ay] aylık yağış verileri sağlar. Ayrıca etkili yağışlar belirlenmiş ve aynı dosyada sunulmuştur. İkinci dosya, yukarıda belirtilen yedi iklim faktörü için uzun vadeli aylık ortalamaları içerir. Yerin koordinatları ve rakımı da bu dosyada yer almaktadır (FAO, 2022).

Daha önce belirtildiği gibi CROPWAT yazılımı, Penman-Monteith formülü kullanılarak saha başına evapotranspirasyon (ET_o) hesaplamak için kullanılırken, USDA Toprak Koruma Hizmeti hesaplamasını kullanarak etkili yağışı (Pe_{ff}) hesaplamak için ayrı istasyonlardan gelen yağış verileri kullanılmıştır (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011). Etkili yağış seviyelerini hesaplamak için toplam yağış ve aylık tüketim kullanılmıştır.

3.7.2 Bitki parametreleri

Bitki katsayısı, bitki özellikleri, ekim ve hasat tarihleri literatürden türetilmiştir. Bunun nedeni, bitki parametrelerinin, birkaç farklı bitki için bitki parametrik verilerini veren bir kılavuz olan FAO 56 kılavuzunda özellikle mevcut olmamasıdır. Teff çoğu bölgede Temmuz ortası ile Ağustos başı arasında ekilebilir (Bizuwork & Yibekal, 2020), bu çalışmada teff ekim ve hasat tarihleri sırasıyla 15 Temmuz ve 18 Ekim olarak seçilmiştir. Bitkinin tükenme faktörü, bir bitkinin su stresi yaşamadan kök bölgesinden çekebileceği toplam kullanılabilir su (TAW) yüzdesini ifade eder. Tüketim faktörü tipik olarak yüksek ETc oranlarına ($> 8 \text{ mm d}^{-1}$) maruz kalan sığ köklü bitkiler için 0,30 ile düşük ETc oranlarına (3 mm d^{-1}) maruz kalan derin köklü bitkiler için 0,70 arasında değişir. Birkaç ürün için tipik olarak 0,50 değeri kullanılır. Bu çalışma aynı zamanda teff bitkisinin tükenme faktörünün 0,5 olduğunu kabul etmiştir. Verim tepki faktörü (Ky) nispi verim düşüşü ($1 - Y_a / Y_m$) ile nispi evapotranspirasyon açığı ($1 - E_{Ta} / E_{Tm}$) arasındaki ilişkiyi ölçer; burada Y_a , Y_m , E_{Ta} ve E_{Tm} gerçek ve maksimum ve sırasıyla evapotranspirasyonu temsil eder. Sonuç olarak, bitki Ky değerlerinin çoğu, bağıl verim (Y_a / Y_m) ile bağıl buharlaşma-terleme (E_{Ta} / E_{Tc}) arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu ve %50'ye veya $1 - E_{Ta} / E_{Tc} = 0,5$ kadar su açıkları için geçerli olduğu varsayımıyla türetilmiştir. Belirli bir evapotranspirasyon açığı için, verim tepki faktörü ne kadar yüksekse, verim o kadar düşük olur. Teff üretiminin genel verim tepkisinin 1,07 olduğunu göstermektedir. Ky değerleri ürüne özgüdür ve büyüme evrelerine göre büyüme mevsimi boyunca değişiklik gösterir.

Teff bitkisinin toplam büyüme süresi çeşide bağlı olarak değişir. Teff'in tipik büyüme periyodu 90 ila 120 gün arasında değişmekle birlikte bu çalışmada büyüme periyodu 96 gün olarak kabul edilmiştir. Teff bitkisinin parametresine ilişkin veriler ve verilerin elde edildiği literatür kaynakları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Yihun'a göre (2015), teff bitki evapotranspirasyonunun tüm büyüme periyodu boyunca 299 ila 342 mm arasında, genel ortalama 319 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Bu ortalama değer, arpanın 375 mm olan ET değerinden büyük ölçüde farklıdır, ancak

Millet'in 330 mm olan ET değerine daha yakındır (Araya, Stroosnijder, Gebresamuel, & Keesstra, 2011).

Toprakla ilgili bilgiler herhangi bir toprak verisi sağlanmadıysa, kılavuz varsayılan olarak 'orta toprak' kullanılmasını önerir. Orta toprak veya tınlı toprak bünye bakımından ortada bulunan ve ince ve kaba bünyeli topraklar arasında özelliklere sahip topraktır. Sonuç olarak, bu araştırmada toprak verisi olarak 'orta toprak' yada tınlı toprak özellikleri kullanılmıştır. Bitki verimleri, 2019/2020 sezonu için verim verileri CSA (Etiyopya Merkezi İstatistik Kurumu)'dan alınmıştır.

Çizelge 3.2 Teff bitkisinin büyüme verileri

Parametre	Büyüme aşaması				Kaynak
	Başlangıç	Gelişme	Orta	Geç	
Kc	0,6	0,8	1,2	0,8	(Yihun, 2015)
Aşama (gün)	36	12	24	24	(Desta, Bisa, & Tegenu, 2018)
Köklenme derinliği (m)	0,6	1,0			(Steduto, C. Hsiao, Fereres, Raes, & Division., 2012)
Tükenme faktörü (%)	0,50	0,50	0,50		(Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998)
Verim tepki faktörü (Ky)	1,07				(Kidist, 2017)
Bitki boyu (m)	1				(Steduto, C. Hsiao, Fereres, Raes, & Division., 2012)

3.8 Teff Bitkisinin Su Ayak İzi ve Ekonomik Su Verimliliği

Su ayak izinin ekonomik etkisi, verimsiz su tüketimi ile bağlantılıdır. Su kullanım verimliliğinin dikkate alınabileceği üç seviye vardır: yerel, nehir havzası ve küresel

(Hoekstra A. &, 2007). Tarımda ilgili soru şu olabilir: Daha fazla "damla başına ürün" alabilir miyiz? Bazen 'üretken verimlilik' olarak adlandırılan yerel su kullanım verimliliği, birim subaşına ürün birimleri (ton/m^3) cinsinden ifade edilebilir. Ekonomik su verimlilikleri USD/m^3 olarak ifade edilmektedir.

Ekonomik su verimliliği, fiziksel olarak su verimliliğinin (birim su başına ürün birimi) ürün fiyatı ile çarpılması (ürün birimi başına parasal değer) sonucunda elde edilen değere eşittir. 2019/2020 dönemi için ortalama üretici fiyatı ($\text{ABD}\$/\text{ton}$) olarak yeşil artı mavi su ayak izine (m^3/ton) bölünerek hesaplanır.

$$\text{EWP} = \text{UP} / \text{TWF}$$

(Eşitlik 3.9)

Burada,

TWF ($\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$); üretime dayalı WF

UP ($\text{ABD}\$/\text{ton}$); ürünün birim fiyatıdır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Etiyopya'da Teff Üretilen Başlıca Bölgeler

Bu çalışmada, 2019/2020 sezonunda Etiyopya'nın teff üretilen dört ana bölgesinde teff bitkisinin su ayak izini hesaplamak amaçlanmıştır. 2019/2020 yılında Etiyopya'da en fazla teff üretilen bölgeler Oromia, Amhara, Tigray ve SNNP'dir. Etiyopya'daki tüm ekili alanların yaklaşık %20'si teff tarafından işgal edilmektedir. Ülkenin ulusal istatistik kurumu'na (CSA) göre, Oromia ve Amhara bölgeleri, 2019/2020 ekim sezonunda en fazla teff üretmekte olup, teff üretim hacminin yaklaşık %85'ini ve ekilen alanın %84'ünü oluşturmaktadır. SNNP ve Tigray bölgeleri üçüncü ve dördüncü en büyük teff üreten bölgeler olmuştur. Bu bölgeler toplam ulusal teff üretiminin sırasıyla %6,5 ve %5,43'ünü oluşturmaktadır. Çizelge 4.1, 2019/2020 yılı için Etiyopya'daki teff üreten dört ana bölgedeki teff üretimi, ekili alanı ve verimi göstermektedir. Ayrıca, Oromia ve Amhara'nın en büyük teff üretimine sahip olduğunu göstermektedir. Etiyopya'da sulama yaygın olarak uygulanmamaktadır ve gelişmemiştir (CSA, 2020). İstatistiklere göre, 2019/2020'de sulanan toplam ürün alanı 211.047 hektar civarındadır. Sulama kullanan yaklaşık 1,3 milyon çiftçi olduğu tahmin edilmektedir. Bu rapora göre Etiyopya'da sulanan başlıca ürün mısırdır. 2019/2020'de sulanan bitki alanının çoğunluğu mısır, sorgum ve teff olup, mısır 53.670 hektar, sorgum 19.619 hektar ve teff 7.708 hektardır. Çizelge 4.2'de bölgelere göre sulanan teff ürün alanı gösterilmektedir. 019/2020 ekim yılı boyunca toplam teff bitki alanının yaklaşık %0,25'i sulanmaktadır.

Çizelge 4.1 Öncelikli bölgelerde teff üretim verileri (2019/2020)

Bölgeler	Ekilen alan (ha)	Üretim (ton/yıl)	Verim (ton/ha)	Ülke içindeki teff üretim payı (%)
Oromia	1.487.970,57	2.809.097,84	1,88	49,0
Amhara	1.156.131,09	2.189.236,64	1,89	38,1
SNNP	241.008,69	380.420,29	1,58	6,6
Tigray	188.391,88	311.753,88	1,65	5,4

(CSA, AREA AND PRODUCTION OF MAJOR , 2020)

Çizelge 4.2 Teff sulanan alanlar (2019/2020)

Bölgeler	Toplam teff bitki alanı	Sulanan teff alanı
Tigray	188.392	2.277
Amhara	1.156.131	2.398
Oromia	1.487.971	2.226
SNNP	241.009	n/a
Toplam	3.073.503	7.708

n/a, yüksek varyasyon katsayısı nedeniyle rapor edilememiştir (yani daha az güvenilirlerdir). Ancak, toplam tahminlerde konsolide edilmiştir (CSA, 2020)

4.2 Teff Su İhtiyacı

CROPWAT yazılımı, iklim, bitki ve toprak verilerini girdi verileri kullanarak bitki su tüketimi (ET), etkili yağış ve sulama ihtiyacını çıkarır. Bundan sonra etkili yağış ve sulama ihtiyacı Denklem 2.1 - 2.5 kullanılarak yeşil su ihtiyacı ve mavi su ihtiyacı olarak hesaplanmıştır. CROPWAT sonuçları ve ekran görüntüleri Ek 1 ve Ek 2’de verilmiştir.

4.2.1 Teff Su Tüketimi (ET)

Bulgulara göre Oromia bölgesindeki ortalama teff su tüketimi (ET) 287 mm, Amhara ve SNNPR bölgelerindeki ortalama teff su tüketimi (ET) ise sırasıyla 298 mm ve 290 mm olarak hesaplanmıştır. Öte yandan Tigray bölgesi 359 mm ile diğer üç bölgeye göre en yüksek teff su tüketimi veya evapotranspirasyon oranına sahip olmuştur. Etiyopya'nın ortalama teff bitki su tüketimi 309 mm'dir. Bu rakam diğer çalışmalardaki 319 mm teff ET değerine yakındır.

4.2.2 Etkili yağış (Peff)

Bulgular, Amhara, Oromia ve SNNP bölgelerinde etkili yağışların neredeyse aynı olduğunu göstermektedir. En yüksek etkili yağış Amhara bölgesinde 395 mm olarak

kaydedilmiştir. Oromia ve SNNPR bölgelerini sırasıyla 341 mm ve 309 mm etkili yağış izlemektedir. Tigray ise en düşük etkili yağışın 277 mm olduğunu, ülkenin ortalama etkili yağışının ise 330 mm olduğu belirtilmiştir.

4.2.3 Yeşil ve Mavi Su İhtiyacı

Ortalama ulusal teff yeşil su ihtiyacı 226 mm olarak hesaplanmıştır. Amhara bölgesinin yanı sıra 245 mm ile en yüksek teff yeşil su ihtiyacı miktarı, 194 mm ile Tigray bölgesi ise en düşük teff yeşil su ihtiyacı olmuştur. Mavi su ayak izi söz konusu olduğunda, Tigray bölgesi 169 mm ile en büyük teff mavi su ihtiyacına sahiptir. En düşük mavi bitki su ihtiyacı Amhara bölgesinde 50 mm olarak ölçülmüştür. Ortalama ulusal mavi su ihtiyacı 84 mm'dir.

Etiyopya'da teff bitkisinin su ihtiyacı genellikle sadece yağışla sağlanır ve daha fazla sulama yapılmaz. Sonuç olarak, bitkileri yetiştirmenin mavi su ayak izi bileşenleri sıfıra eşittir. Ancak bu çalışmada CROPWAT 8.0 programını çalıştırmak için CWR seçeneği kullanılmıştır. Bu seçenekte, ürün büyümesinde su sınırlaması olmadığı varsayılmaktadır. Model şunları hesaplar: (i) belirli iklim koşullarında büyüme döneminin tüm uzunluğu boyunca bitki su ihtiyacı (CWR); (ii) aynı dönemde etkili yağış; (iii) sulama gereksinimleri. Bitki suyu ihtiyacı, ekimden hasata kadar ölçülen ideal büyüme koşullarında evapotranspirasyon için gereken sudur. 'İdeal koşullar', bitki büyümesini ve bitki verimini sınırlamayacak şekilde yağış ve/veya sulama ile yeterli toprak suyunun muhafaza edilmesi anlamına gelir. Bu nedenle, teff üretiminin mavi su ayak izi çok az olmasına rağmen, yazılım yağış ve sulama ile yerine getirilen ideal bitki su ihtiyacını hesaplayarak uygun değer bitki gelişimi ve bitki üretimi sağlar.

Çizelge 4.3 Etiyopya’da teff bitkisinin su ihtiyacı bileşenleri

Bölgeler	ET (mm/da)	Peff (mm/da)	Wfyeşil (mm/da)	ETmavi (mm/da)
Oromia	287	341	229	61
Amhara	298	395	245	50
SNNPR	290	309	233	53
Tigray	359	277	194	169
Ortalama	309	330	226	84

Meteoroloji istasyonu verilerine dayanarak, yazılım tek başına yağışın bazı bölgelerde teff bitkisinin evapotranspirasyonunu karşılamak için yetersiz olduğunu belirler, bu nedenle yazılım, o alanda optimum verim elde etmek için teff bitkisinin gerektirdiği mavi su ayak izi olan sulama gereksinimini hesaplar. Başka bir deyişle, yeşil su ayak izi, 2019/2020 sezonu boyunca Etiyopya’da teff bitki üretimi tarafından kullanılan su türünün çoğunu temsil ederken, CROPWAT tarafından hesaplanan sulama gereksiniminin teff bitkisinin gerektirdiği mavi su ayak izi olduğu varsayılmaktadır, ancak teff Etiyopya’da genellikle kuru tarım olarak üretilir.

4.3 Yeşil Su, Mavi Su ve Toplam Su Ayak İzi

2019/2020 yılları için yapılan hesaplama sonucu Etiyopya’da en fazla teff üretimi yapılan Oromia, Amhara, SNNPR ve Tigray bölgelerinde teff bitkisel üretiminin su ayak izi m^3/ha , $m^3/yıl$ ve m^3/ton olarak aşağıda sunulmuştur.

4.3.1 Teff Bitkisinin (m^3/ha Cinsinden) Su Ayak İzi Bileşenleri

Denklem 3.3-3.4, Etiyopya’nın Oromia, Amhara, SNNP ve Tigray bölgelerinde 2019/2020 sezonunda teff bitkisinin yeşil, mavi ve toplam su ayak izini hesaplamak için

kullanılmıştır. Su ayak izinin m³/ha cinsinden değeri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Toplam ulusal su ayak izini elde etmek için bölgesel su ayak izlerinin ortalaması kullanılmıştır.

Çizelge 4.4 Teff bitkisinin yeşil, mavi ve toplam su ayak izi (m³/ha)

Bölgeler	WFyeşil (m³ /ha)	WFmavi (m³ /ha)	WFtoplam (m³ /ha)
Oromia	2291	613	2904
Amhara	2452	502	2952
SNNP	2338	534	2872
Tigray	1937	1692	3629
Ortalama	2254	835	3089

Çizelge 4.4, Amhara bölgesinin 2452 m³/ha değerleri ile en yüksek yeşil su ayak izine sahip olduğunu göstermektedir. Tigray, diğer bölgeye kıyasla, 1937 m³/ha değeri ile en küçük yeşil su ayak izine sahiptir. Ayrıca, 1692 m³/ha değerine sahip Tigray bölgesi en büyük mavi su ayak izine sahipken, bölgenin geri kalanı Oromia 613 m³/ha, Amhara 502 m³/ha ve SNNP 534 m³/ha ile en küçük ve karşılaştırılabilir mavi su ayak izlerine sahiptir. Etiyopya'nın 2019/2020 sezonunda teff üretiminin ortalama yeşil su ayak izi 2254 m³/ha iken mavi su ayak izi 835 m³/ha dır. Ortalama ulusal su ayak izi 3089 m³/ha olarak belirlenmiştir.

4.3.2 Teff Bitkisinin (m³/yıl Cinsinden) Su Ayak İzi Bileşenleri

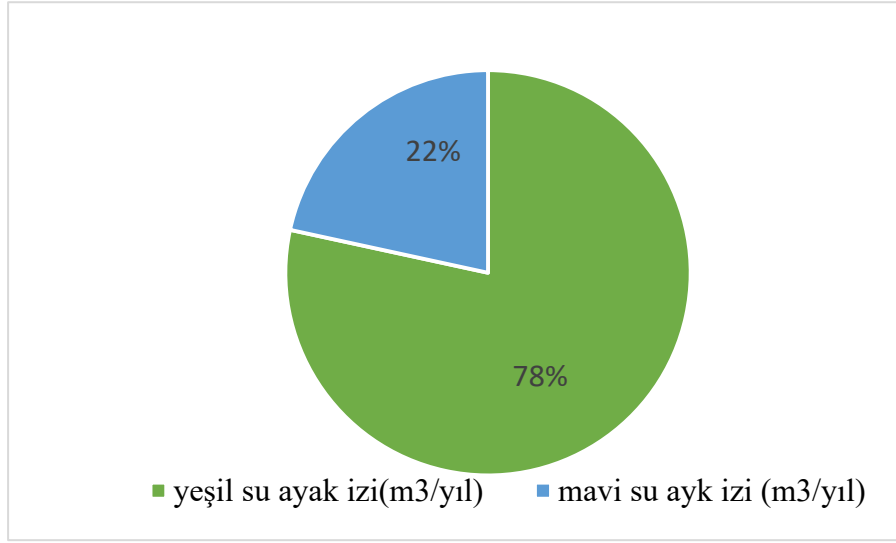
2019/2020 teff tarım sezonunun yeşil ve mavi su izleri, teff bitkisinin yıllık kullandığı toplam su (m³/yıl) cinsinden Denklem 3.7-3.8 kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.5 2019/2020'de Oromia, Amhara, Tigray ve SNNPR bölgelerinde teff bitki üretimi için kullanılan toplam su miktarını göstermektedir.

Çizelge 4.5 Teff bitkisinin yeşil, mavi ve toplam su ayak izi (milyar m³/yıl)

Bölgeler	WFyeşil (milyar m³/yıl)	WFmavi (milyar m³/yıl)	WF toplam (milyar m³/yıl)
Oromia	3,3	0,9	4,2
Amhara	2,8	0,6	3,4
SNNP	0,6	0,1	0,7
Tigray	0,4	0,3	0,7
Toplam	7,06	1,9	9,0

Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi en yüksek yeşil su ayak izi Oromia ve Amhara bölgelerinde sırasıyla 3,3 milyar m³/yıl ve 2,8 milyar m³/yıl ile kullanılmaktadır. Tigray ve SNNPR m³/yıl açısından en düşük yeşil su ayak izine sahipken, SNNP yılda 0,6 milyar m³/yıl yeşil su kullanarak teff bitkisi üretirken, Tigray 2019/2020'de 0,4 milyar m³/yıl kullanmaktadır. 2019/2020 büyüme sezonunda, teff bitkisini yetiştirmek için kullanılan toplam ulusal yeşil su miktarı 7,06 milyar m³/yıl olmuştur. Yine mavi su ayak izi açısından Oromia ve Amhara sırasıyla 0.9 milyar m³/yıl ve 0.6 milyar m³/yıl ile en büyük miktarlara sahiptir. SNNPR ve Tigray sırasıyla 0,1 milyar m³/yıl ve 0,3 milyar m³/yıl tüketmiştir. Teff üretimi ulusal toplam mavi su ayak izi 1,9 m³/yıl'dır. Teff üretiminin 2019/2020 yılı toplam su ayak izi 9 milyar m³/yıl olmuştur. CROPWAT modeline göre, teff bitkisinin 2019/2020 sezonunda yıllık toplam su ayak izinin yaklaşık %78'ü yeşil su ayak izi bileşeninden, %22'si ise mavi su ayak izi bileşeninden oluşmaktadır (Şekil 4.1).

Etiyopya nehir havzalarının çoğu birbirine bağlıdır ve bölgesel alanları paylaşır. Genale Dawa, Wabishebele, Awash, Rift vadisi, Barro akkobom ve Abay havzaları Oromia bölgesindeki alanın bir kısmını paylaşmaktadır ve bu bölgedeki yıllık su potansiyeli yaklaşık 49 milyar m³'tür. Bölgede teff yetiştirmek için gereken mavi su miktarı yıllık 0,9 milyar m³ olmuştur. Bu da bölgenin havzaların toplam su potansiyelinin sadece % 1,85'ini teff bitkisi için kullanabileceği anlamına gelmektedir. Bu sayı, bölgedeki teff bitkisinin yetiştirilmesinde ilave sulama uygulamalarının kullanılabileceğini ve bu büyük miktardaki havza suyu potansiyeli ile teff üretiminin optimize edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 4.1 Teff üretiminin yeşil ve mavi su ayak izlerinin oranları

Abay, Awash ve Tekeze havzalarının belli bir kısmı Amhara bölgesinde yer almakta olup toplam su akış kapasitesi 35,27 milyar m³'tür. CROPWAT çıktısına göre, teff bitkisinin ilave 0,57 milyar m³ mavi suya ihtiyacı vardır. Bu, havzanın toplam su potansiyelinin neredeyse %1,63'ünü oluşturmaktadır. Mereb ve Tekeze havzaları Tigray bölgesinde yer almaktadır. Yıllık su akış potansiyelleri yaklaşık 6,86 milyar m³'tür. Son olarak Tigray bölgesinde teff bitkisinin mavi su ayak izi 0,3 milyar m³ iken, SNNPR bölgesinde Abay, Awash ve Tekeze havzaları yıllık 20 milyar m³ su akışı potansiyeline sahip olup, teff üretiminde kullanılan mavi su miktarı 0,1 milyar m³ olmuştur. Üretimde mavi suyun kullanılması düşünüldüğünde, Mereb ve Tekeze havzalarındaki tüm su potansiyelinin yüzde 4,1'ini kullanabilen en yüksek mavi su tüketicisi Tigray bölgesi olacaktır.

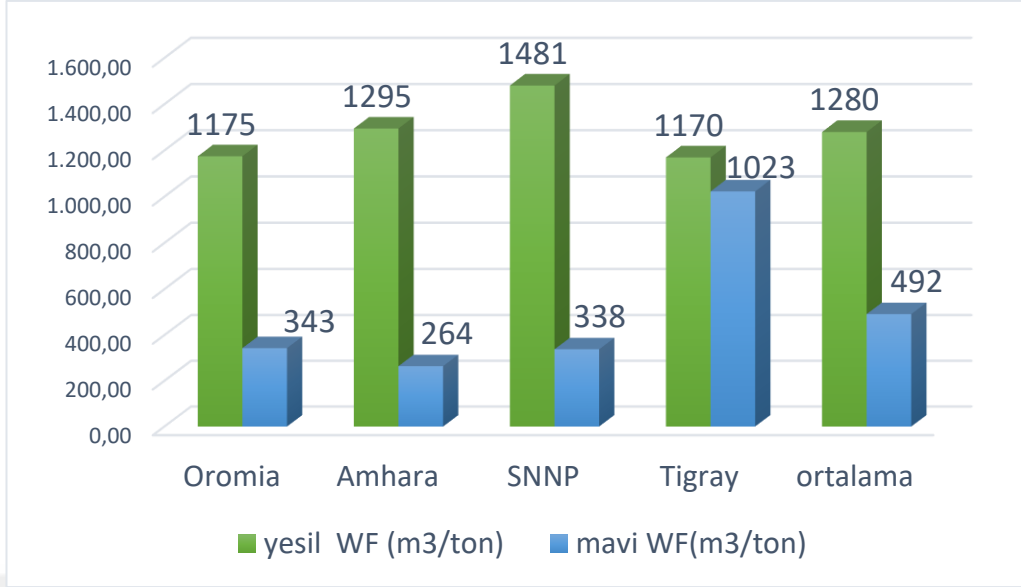
Çizelge 4.6 Nehir havzaları su potansiyeli ve teff'in toplam su ayak izi

Bölgeler	Mavi su ayak izi (Mm ³ /yıl) (A)	Su potansiyel (Mm ³ /yıl) (B)	Nehir havzaları	A/B (%)
Oromia	0,912	49	Genaledawa, Wabishebele, Awash,Rift valley, Barro Akkobo, Abay, Ogaden, Omo Gibe	1,9
Amhara	0,578	35	Abay, Awash, Tekeze, Denakil	1,6
SNNPR	0,128	20	Abay, Awash, Barro Akobo Omo Gibe	0,6
Tigray	0,318	7	Tekeze, Mereb	4,6
TOPLAM	8,994	111		

4.3.3 Teff Bitkisinin (m³/ton Cinsinden) su ayak izi bileşenleri

Etiyopya'daki teff bitkisinin çoğunun yetiştirildiği Oromia, Amhara, SNNPR ve Tigray bölgesinde 2019/2020; teff üretimi için gerekli olan yeşil su ayak izi, mavi su ayak izi ve toplam su ayak izi bileşenleri m³/ton olarak hesaplanarak Şekil 4.2 'de verilmiştir. Söz konusu su ayak izi bileşenleri (m³/ton) cinsinden hesaplanırken Denklem 3.7 - 3.8 kullanılmıştır.

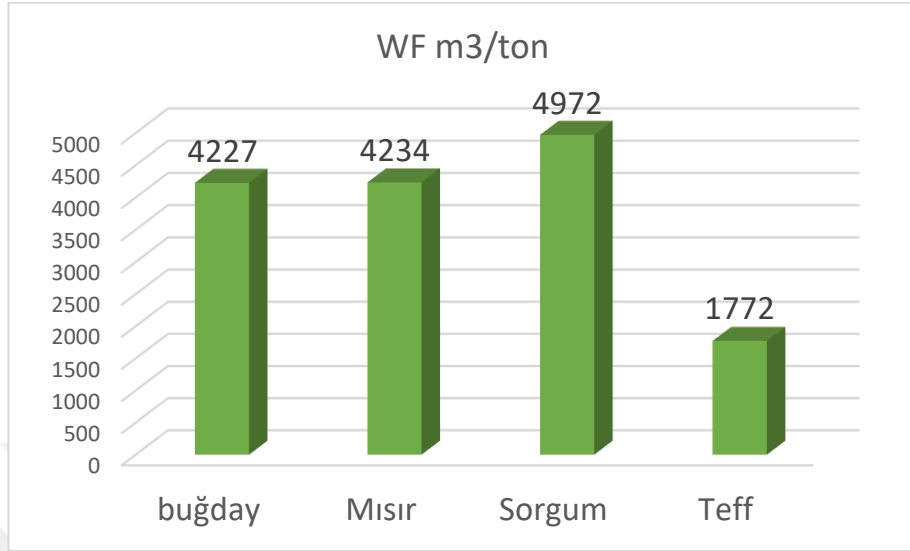
SNNPR bölgesi, ton başına en yüksek toplam su ayak izine sahiptir. SNNPR bölgesinde, 2019/2020'de 1 ton teff üretmek için kullanılan toplam su hacmi 1481 m³ yeşil su iken 1170 m³/ton ile Tigray alanı en düşük yeşil WF'ye sahiptir. Ortalama yeşil su ayak izi 1280 m³/ton'dur. Amhara bölgesi en düşük mavi su ayak izine (264m³/ton) sahipken, Tigray bölgesi en yüksek değere (1023 m³/ton) sahiptir. Ton başına ortalama mavi su ayak izi 492 m³'tür. Ulusal ortalama yeşil su ayak izi 1280 m³/ton olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2 Teff üretiminin yeşil, mavi ve toplam su ayak izi (m³/ton)

2016 yılında su ayak izi ağı (WFN) tarafından, ihracat değerine göre başlıca Etiyopya bitkileri olan kahve ve tohum, mısır, şeker kamışı, sorgum, buğday olduğu anlaşılmıştır. Üzerine bir su ayak izi çalışması yürütülmüştür. Mısır, üretiminde tüketilen toplam bitki yeşil su ayak izinin % 22'si ile Etiyopya'daki en büyük yeşil su payını kullanan bitkidir. Mısır, Etiyopya'da en büyük yeşil su payını ve üçüncü en büyük mavi su payını tüketen bitkidir ve ton üretim başına 4234 m³ yeşil + mavi su ayak izine sahiptir. Mısırdan sonra teff, Etiyopya'da en çok üretilen ikinci üründür. Teff ve mısırın yeşil su ayak izi karşılaştırıldığında, teff'in yeşil su ayak izi 1280 m³/ton'dur. Mavi su ayak izi dahil edildiğinde, toplam 1772 m³/ton'dur. Bu miktar, su ayak izi ağı çalışması tarafından bildirilen mısırın toplam su ayak izinin (4234 m³/ton) yarısından daha azdır. Şekil 4.3'de verilen grafik, 2016 yılında WFN tarafından analiz edilen Etiyopya'daki önemli bitkilerin su ayak izini ve 2019/2020 yıllık dönemde teff bitkisinin su ayak izini göstermektedir. Diğer ürünlerle karşılaştırıldığında, teff ürünü en düşük yeşil su ayak izine sahiptir. Öte yandan, M.M. & A.Y 'ya (2010) göre, mısırın ortalama küresel su ayak izi 1222 m³'tür, bu da teff'in mısırın ortalama küresel su ayak izinden daha yüksek bir su ayak izine sahip olduğunu göstermektedir. Teff ile bu bitkiler arasındaki su ayak izindeki fark, hava farklılıklarına, bitki türüne ve ayrıca bitki suyu gereksinimlerinin hesaplanmasındaki teknik değişkenliğe bağlanabilir. Örneğin, bitki suyu kullanımını teorik olarak

değerlendirirken, bitkisin su ayak izinin aşırı bir değerlendirmesi gözlemlenebilir (Fandika, 2019).



Şekil 4.3 Teff ve başlıca Etiyopya bitkileri su ayak izi

Hirpa ve diğ. (2022) tarafından yıkama havzasındaki başlıca bitkilerin ik'si üzerine yapılan yakın tarihli bir araştırmaya göre, Metahara bölgesindeki teff ik'nin yeşili ve grisi 4205 m³/ton ve mısır İK'si 1940 m³/ton idi. Çalışmanın bulgusu ayrıca, teff üretiminin yeşil su ayak izinin 3648 m³/ton olduğunu ve bu çalışmanın 1280 m³/ton olan bulgusundan önemli ölçüde daha yüksek olduğunu belirtmektedir. Büyüme aşamaları ve olgunluk tarihlerindeki farklılıklar nedeniyle seçilen bitki çeşitleri arasında bitki suyu ihtiyacı ve su ayak izlerinde önemli farklılıklar olabilmektedir (Fandika, 2019). Ayrıca Hirpa ve diğ. (2022), hava durumu, toprak özellikleri, bitki büyüme aşaması ve gübre tüketiminin tümü, bölgeler arasında su ayak izinin değerinde önemli değişikliklere neden olmaktadır. Bu anlamlılık, çalışmadaki ortalama teff büyüme süresinin (LGP) 140 gün olması, ancak bu çalışmadaki teff lgp'nin 96 gün olarak alınmasından kaynaklanıyor olabilir. Debre zait bölgesindeki teff üretimi, mevcut yağış miktarından kaynaklanan su eksikliğini gidermek için daha fazla mavi suya (1157 m³/ha) ihtiyaç duyarken, mavi su talebinin 1692 m³/ton olduğu Tigray bölgesine kıyasla bu değer düşüktür. Bu çalışmada, optimum teff verim kazancı için ulusal ortalama mavi su talebi 492 m³/ton olarak belirlenmiştir.

4.4 Ekonomik Su Verimliliği ve Su Ayak izi

2019/2020 dönemi için teff piyasa zinciri ve tüketici seviyesindeki teff'in ton başına fiyatı Çizelge 4.7'de verilmiştir. Teff'in fiyatı, işlendiğinde ve injera adı verilen nihai ürün haline geldiğinde önemli ölçüde daha fazladır, ancak bu çalışma tüketici aşamasında teff fiyatını almıştır. Etiyopya'da ortalama üretici teff fiyatı 2019/2019'da 1.201,69 ABD\$/ton'dur.

Çizelge 4.7 Teff değer zinciri maliyeti ve fiyatı

	Ortalama maliyet/fiyat (Birr/100 kg)
Çiftçi için ortalama maliyet	1800
Çiftçi fiyatı	2600
Kollektör fiyatı	3200
Toptancı fiyatı	3700
Perakendeci fiyatı	4200
Tüketicinin beklenen fiyatı	2411
Injera'ya katma değerli teff	5600

Kaynak: (Jaleta, 2021)

Ekonomik su verimliliği (EWP) Denklem 3.9 kullanılarak hesaplanmıştır. 2019/2020 ekim sezonunda teff bitkisinin ekonomik yeşil su ayak izi 0.68 USD/m³ olarak gerçekleşmiştir. Ürün fiyatı yüksekse ancak ürün su ayak izi düşükse EWP yüksek olabilir, tersine ürün fiyatı düşükse ancak ürün su ayak izi yüksekse EWP düşük olabilir. Pakistan'daki bir araştırmaya göre (Khan ve ark., 2021), mısır, pirinç ve arpa gibi ürünler teff ürünlerinden daha düşük EWP'ye sahiptir. Bu çalışmada mısır, arpa ve pirinç için ekonomik su verimliliği sırasıyla 0.003 USD/m³, 0.26 USD/m³ ve 0.24 USD/m³ olarak belirlenmiştir.

Yağış alan topraklarda nispeten daha düşük verim ve mavi suya kıyasla daha düşük bir yeşil su fırsat maliyeti vardır. Yeşil su kaynaklarının girdisinin artırılmasının daha yüksek ekonomik faydalar sağlayabileceği ve yağışlı üretimin daha büyük ekonomik potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir. Yeşil su kaynaklarının girdisinin artırılması daha yüksek ekonomik faydalar sağlayabilir. Sulamanın ya da mavi suyun ekonomik faydaları çok sınırlıdır, çünkü yeşil su daha az su kullanarak daha fazla ekonomik kazanca sahiptir, ayrıca mavi su daha verim aralıklarına sahip olsa bile, mavi suyun girdileri yeşil sudan daha yüksektir. Kuru tarımın belirgin avantajları ve ekonomik faydaları artırma potansiyeli vardır. Bu nedenle, teff daha fazla kuru tarıma bağımlı olduğu için çiftçiler, tarım sistemleri aracılığıyla su koruma oranını ve yeşil suyun kullanım verimliliğini artırmalıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Etiyopya'nın en önemli ürünlerinden olan teff bitkisinin su ayak izi değerlendirmesi yapılmıştır. 2019/2020 döneminde en çok teff üretilen bölgeler Amhara, Oromia, SNNPR ve Tigray olmuştur.

Bu çalışmaya göre, 2019-2020 yıllarında Etiyopya'da yetiştirilen teff bitkisinin ortalama ulusal yeşil su ihtiyacı 226 mm iken, Amhara bölgesinin 245 mm ile en yüksek yeşil su ihtiyacına sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca 194 mm değer ile Tigray bölgesi en düşük yeşil su ihtiyacına sahiptir. Tigray ve Amhara, sırasıyla 169 mm ve 50 mm ile en büyük ve en düşük mavi su ihtiyacına sahiptir. Ortalama ulusal mavi su ihtiyacı 84 mm'dir.

Çalışmada 2019/2020 yılında dört bölgede yeşil su ihtiyacı ve mavi su ihtiyacının belirlenmesinin ardından m^3/ha , $m^3/yıl$ ve m^3/ton cinsinden yeşil, mavi ve toplam su ayak izi bileşenleri hesaplanmıştır.

Etiyopya'da birim hektar başına etkili yağışlarla karşılanan kısmı ifade eden yeşil su ayak izinin (m^3/ha) en düşük olduğu bölgeler sırasıyla Amhara, SNNPR ve Oromia; en yüksek olduğu bölge ise Tigray'dır.

Etiyopya'da bölgelerin toplam teff ekim alanına katkısı doğrultusunda hesaplanan ortalama yeşil su ayak izi değeri 2019/2020 yılında $2.254 m^3/ha$ 'dır. Birim hektar başına toplam sulama suyu ile ifade edilen mavi su ayak izinin (m^3/ha) en düşük olduğu bölgeler 2019/2020 yılında sırasıyla Amhara, SNNPR ve Oromia, en yüksek olduğu bölge ise Tigray'dır. Etiyopya'da öncelikli dört bölgenin teff ekim alanlarındaki ağırlığı dikkate alınarak yapılan hesaplamada mavi su ayak izi, $834 m^3/ha$ olarak bulunmuştur.

Birim hektar başına yeşil ve mavi su ayak izi bileşenlerinin toplanmasıyla elde edilen ve toplam su ihtiyacı ile ifade edilen toplam su ayak izi, 2019/2020 yılında ortalama $3.089 m^3/ha$ 'dır.

Etiyopya’da teff üretimindeki yıllık toplam su ayak izi, 2019/2020 yılında 9 milyar m³ dır. Etiyopya’da 2019/2020 yılında yıllık toplam su ayak izinin yaklaşık %78’i yeşil su ayak izi bileşeninden, %22’sı ise mavi su ayak izi bileşeninden oluşmaktadır. Amhara bölgesi, yıllık yaklaşık 35 milyar m³ yüzey suyu potansiyeline sahiptir ve teff’in bunun sadece %1,85’ini tüketeceği tahmin edilmektedir. Ayrıca Oromia bölgesi 49 milyar m³ yıllık yüzey suyu potansiyeli ile toplam yıllık su potansiyelinin sadece %1,63’ünü tüketmiştir. SNNPR ve Tigray, teff bitkisi yetiştirmek için yıllık yüzey suyu potansiyelinin sırasıyla %0,5 ve %4,3’ünü kullanmıştır. Etiyopya’da tüm havzalar sadece teff bitkisini değil, buğday, mısır ve diğerleri gibi ana Etiyopya bitkilerini de sulamak için yeterli potansiyel suya sahiptir. Bununla birlikte, Etiyopya’nın teff bitki üretimi hala yağışa bağlıdır ve daha önce de belirtildiği gibi, Etiyopya’nın iklim eğilimi tutarlı değildir, özellikle yağış çok düzensiz ve güvenilmezdir. Etiyopya, tarımsal kalkınma ve maksimum üretim için tüm havzaları etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanmaya başlamalıdır.

Çalışma kapsamında hesaplanan su ayak izi göstergelerinden bir diğeri de 1 ton teff üretimi başına kullanılan su miktarıdır. Etiyopya’da üretilen teff miktarı başına toplam su ayak izinin en yüksek olduğu bölge Tigray’dır. Tigray’da 1 ton teff üretimi için kullanılan suyun toplam hacmi 2019/2020 yılında 2194 m³’tür. Belirtilen yılda Tigray’ın ardından teff üretimi başına en fazla toplam su ayak izine sahip bölge 1819 m³ değer ile SNNPR’dır. Toplam su ayak izinin en düşük olduğu bölgeler 1551 m³ ve 1559 m³ değer ile sırasıyla Amhara ve Oromia’dır. Ülkede 1 ton teff başına kullanılan ve etkili yağış ile karşılanan kısmı ifade eden ortalama yeşil su ayak izi 2019/2020’da 1280 m³/ton’dur. Su kaynaklarından karşılanan sulama suyunu ifade eden ortalama mavi su ayak izi değeri aynı yılda 492 m³/ton olmuştur.

2019/2020 yılında teff bitkisinin ekonomik su ayak izi 0.68 USD/m³ olarak gerçekleşmiştir. Diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında teff bitkisinin EWP değeri daha yüksektir, bu, teff fiyatının diğer bitki fiyatlarından çok yüksek olduğunu göstermektedir.

Önceki çalışmalar, yeşil suyun küresel gıda üretimi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada yeşil su mavi suya göre baskın olup teff üretiminin

toplam su ayak izinin %78'ini oluşturmaktadır. Yeşil su kullanımının yönetimi, suyun korunmasında ve küresel gıda güvencesinde önemli bir rol oynamaktadır. Artan tarımsal üretim, yağmuru daha faydalı hale getirdiği için yeşil suyun tarımda kullanılması esastır. Genel olarak tarımda yeşil ve mavi su ayak izi (m^3/ton), su verimliliği (ton/m^3) artırılarak önemli ölçüde azaltılabilir. Tarım genellikle arazi verimliliğini (ton/ha) maksimize etmeye odaklanır. Bu, daha az toprak ve daha fazla tatlı su olduğunda anlamlıdır, ancak topraktan daha az su olduğunda, su verimliliğini en üst düzeye çıkarmak daha önemlidir.

Etiyopya'da, teff tarımına yönelik sulama uygulamaları iyi bir şekilde oluşturulmamıştır. 2019/2020'de teff alanının sadece %0,25'i sulanmıştır. Ülkede 122 milyar m^3 potansiyel yüzey suyu ve 30 milyar m^3 potansiyel yeraltı suyu olduğu tahmin edilmekle birlikte, bunun sadece %5'i sulamada kullanılmaktadır. Su kaynağını kullanmaya başlamak teff ve diğer ürünlerin verimliliğini artırmak için çok önemlidir.

Tarımsal yeşil su ayak izi, mevcut yeşil su ile ilişkili arazinin bitki ve hayvancılık üretimi ve diğer nedenlerle kullanılması anlamına gelir. Teff ekimi için kullanılan arazi miktarı çok büyüktür. Ayrıca Etiyopya'nın tarım arazisinin %20'sini kaplar. Bu, teff'in artık ormancılık, otlatma veya diğer ekolojik koruma amaçları için mevcut olmayan arazileri kullandığını göstermektedir. Ancak teff üretiminin verimi olması gerektiği kadar yüksek değildir. Örneğin, deneyim sahası sulamadan 3 ton/ha teff hasat edilebilir. Yağmur suyu sulamasından ortalama teff veriminin 1 ton/ha olduğu düşünüldüğünde bu yüksek bir verimdir. Buna ek olarak, bir juba çalışmasına göre, 2019 ile 2050 yılları arasında teff için mevcut olan uygun alanın yaklaşık %24'ü ($236.975,65 km^2$) kaybedilecektir. Araştırmaya göre, Oromia'nın verimli topraklarının çoğu kaybolacaktır. Tarım uygulamalarını iyileştirerek arazi verimliliğini (verim, ton/ha) artırmak; sahadaki yağışlar aynı kaldığı için su verimliliğini (ton/m^3) artıracak ve yeşil su ayak izi (m^3/ton) azalacaktır. Yeşil su tüketimi ve sürdürülebilirlik arazi kullanımına bağlı olduğundan, teff bitkisi üretimi, aynı veya daha az yeşil su ayak izine sahip üretimi artırmak için tohum seçimi, malçlama, toprak işleme, daha iyi toprak koşulları ve gübre uygulaması gibi gelişmiş tarımsal yönetimden yararlanmalıdır. Su kullanım verimliliğini artırmak için su ayak izini azaltmak için üretim uygulamalarında ve nihai verimde bir iyileştirme gereklidir.

Bu aralıkların dışındaki ekim ve hasat tarihlerinin seçimi, nihai bitki su ayak izi tahminini açıkça etkileyecektir. Teff genellikle geç ekilmiştir, çünkü çiftçiler çeşitli nedenlerle ilk bitkilerini kaybettikten sonra teff'i değiştirirler. Ancak bu çalışmanın bulgusu, mevcut ekim tarihinin sadece tüm bölgelerde, özellikle Tigray bölgesinde yağış teff'in su ihtiyacını tam olarak karşılamaya yetmediğini göstermektedir. Bu yüzden Etiyopya'daki teff üretimi, oromia ve amhara bölgesine kıyasla tigray bölgesinde daha azdır, ancak yüksek mavi su talebine sahiptir, bu nedenle tigray bölgesindeki teff bitkisinin daha az mavi su ayak izi bitkisiyle değiştirmek önemlidir. Çiftçilerin ekim uygulamalarına göre teff üretiminde çoğu çiftçi yağış kullandığından, su stresi ile büyük ölçüde sınırlıdır. Ekim zamanı yağışlı mevsimde olmasına rağmen, düşük ve çok değişken yağış ile bitki mevsiminde sık görülen kuraklık dönemleri, bitkisin su ihtiyacını karşılamamaktadır. Optimal ekim zamanının planlanması bu nedenle çok önemlidir veya bitki üretiminin son aşamasında ek sulama gereklidir. Yihun'a (2015) göre sulama, teff verimini önemli ölçüde artırmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma Etiyopya'nın yağışa bağlı olduğunu, ancak yağmurun tahmin edilemez ve düzensiz olduğunu vurgulamaktadır. Yeşil su ayak izi bitki talebini ve diğer zayıf tarımsal yönetim uygulamalarını karşılamadığı için teff üretimi de düşüktür. Su ayak izi analizi, Etiyopya'nın muazzam su kaynaklarını kullanmaya başlaması gerektiğini göstermektedir. Bölgedeki küçük barajların inşasını genişleterek, sulama sistemi uygulamak için ideal bir yaklaşımdır. Bu uygulama, mavi su tüketimini artırabilir ve kuraklık dönemlerinde su üzerindeki baskıyı azaltabilir. Yeşil su da verimli bir şekilde kullanılabilir ve iyi tarım uygulamaları yönetimi ve erken ekim uygulanarak teff üretimini artırabilir. Nakit bir ürün olması ve neredeyse her gün milyonlarca Etiyopyalı tarafından tüketilmesi nedeniyle Etiyopya ekonomisi için çok önemli olan teff bitkisi, yüksek üretimi ile ülkedeki gıda güvencesini sağlayabilir.

Bu çalışmanın bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Bu çalışmada, CROPWAT yazılımı kullanılırken bitki su ihtiyacı seçeneği kullanılmıştır. Bu seçeneğin kendi sınırlamaları vardır. Bu seçenek ET'yi 'optimum büyüme koşulları' altında hesapladığından, uygun toprak suyu yağış ve/veya sulama ile korunur, bu nedenle bitki büyümesini veya bitki üretimini sınırlamaz. Başka bir deyişle, bunun mümkün olmadığı bölgelerde bile her

bitkinin taleplerine göre tamamen sulanması beklenir ve bu da mavi su ayak izinin fazla tahmin edilmesine neden olabilir. Bu çalışmada da gerçekte bitki alanının sadece % 0,25'i sulanmış ancak sonuç, teff'in 2019/2020'deki mavi su ayak izinin toplam su ayak izinin %22'si olduğunu göstererek yazılımın ideal koşullarda hesapladığını ve gerçek mavi su ayak izini fazla tahmin ettiğini göstermektedir. Ürün başına sulama haritalarının kullanılması, sulamanın nerede gerçekleştiğini belirler ve bu yerlerde tam sulama varsayılır. Sulamanın nereye gideceği belli olduğu için sulama haritalarının kullanılması daha kesin hesaplamalara olanak sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Abiy, C. (2018). Competing Water Resource Demands in Ethiopia's Federal System: Infancy of the Law toward Integrated Management. *Africans journals online (ajol)*, DOI: 10.4314/mlr.v12i2.1. www.ajol.info Erişim Tarihi: 28.08.2022
- Abraham, r. (2015). Achieving Food Security in Ethiopia by Promoting Productivity of Future World Food Tef: A Review. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 2(2):86-95.
- Adey, N. M., Charlotte, d. F., Abraham, M., Ilyas, M., & Tena, A. (2015). Integrated Water Resources Management: contrasting principles, policy, and practice, Awash River Basin, Ethiopia. *Water policy*, 335–354.
- Aldaya, M. M., & M.R.Llamas. (2008). Water footprint analysis for the Guadiana river basin. Madrid: ISBN: 978-84-96655-26-3 (Número 3).
- Alemayehu, N., Masafu, M., Ebro, A., T. ., & Gebru, G. (2018). Climate Change and Variability in the Mixed Crop/Livestock Production Systems of Central Ethiopian Highland. *springer*, 1-24.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration — guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome: FAO, <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm> Erişim Tarihi: 18.07.2022.
- Aquastat.(2016).Country profile Ethiopia. italy: FAO. <https://www.fao.org/aquastat/en/overview/> Erişim Tarihi: 01.06.2022
- Araya, A., Stroosnijder, L., Gebresamuel, G., & Keesstra, S. (2011). Crop coefficient, yield response to water stress and water productivity of teff (*Eragrostis tef* (ZUCC.)). *Agricultural Water Management*, 775-787.
- Arsano, Y. (. (2007). Ethiopia and the Nile. *semanticscholar*, DOI:10.3929/ETHZ-A-005380361. NCCR North SouthCurrently selected: <http://nccr-north-south.com>. Erişim Tarihi: 20.07.2022.
- Awlachew, S., & Merrey, D. (2005). Assessment of Small Scale Irrigation and Water Harvesting in Ethiopian Agricultural Development. *reaserchgate*, www.reaserchgate.com. Erişim Tarihi: 13.07.2022.
- Awlachew, S., Erkossa, T., & Namara, R. (2010). Irrigation potential in Ethiopia Constraints and opportunities for enhancing the system. *CATENA*, 76-85,.
- Awulachew, S., & Ayanaw, M. (2011). PERFORMANCE OF IRRIGATION: AN ASSESSMENT AT DIFFERENT SCALES IN ETHIOPIA. *Experimental Agriculture*, 47(Supplement S1):57-69.
- Ayalew, D. (2018). Theoretical and Empirical Review of Ethiopian Water Resource Potentials, Challenges and Future Development Opportunities. *International Journal of Waste Resources*, 8, 353.

- Ayana, M, Teklay, G., Abate, M., Eshetu, F. & Mada, M. (2015). Irrigation water pricing in Awash River Basin of Ethiopia: Evaluation of its impact on scheme-level irrigation performances and willingness to pay. *African Journal of Agricultural Research*, 10(6), 554-565.
- Berhanu, B., Seleshi, Y., & Melesse, A. (2014). Surface Water and Groundwater Resources of Ethiopia: Potentials and Challenges of Water Resources Development. *Nile River Nasinpp* 97–117.
- Bizuwork, T. D., & Yibekal, A. (2020). Optimizing blended (NPSB) and N fertilizer rates for the productivity of Durum wheat (*Triticum turgidum* L.var. durum) in Central Highlands of Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture* 6-1.
- Chapagain, A., & Hoekstra, A. (2008). The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *international water*, 33 (1), 19–32.
- Cheng, A., Mayes, S., Dalle, G., Demissew, S., & Massawe, F. (2017). Diversifying crops for food and nutrition. *Biol Rev Camb Philos Soc*. 188-198.
- Valles, V. (2001). Mechanism of Degradation of the Quality of Natural Water in the security - a case of teff. *Diversifying crops for food and nutrition security - a case of teff.*, 188-198.
- Chernet, T., Travi, Y., & Lakes Region of the Ethiopian Rift Valley. *Water Research*, 2819-2832.
- Crymes, A. (2015). The International Footprint of Teff: Resurgence of an Ancient Ethiopian Grain. *arts & Sciences Electronic Theses and Dissertations*, <https://openscholarship.wustl.edu>. Erişim Tarihi: 25.07.2022.
- CSA. (2020). AREA AND PRODUCTION OF MAJOR . Addis Ababa: CSA. <http://www.statsethiopia.gov.et/>. Erişim Tarihi: 13.08.2022.
- CSA. (2020). FARM MANAGEMENT PRACTICES (PRIVATE PEASANT HOLDINGS, MEHER SEASON). Addis Abeba. <http://www.statsethiopia.gov.et/>. Erişim Tarihi: 13.08.2022.
- Damkjaer, S., & Taylor, R. (2017). The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *ambio*, 513–531 .
- Demissew, T. N. (2018). Design, Performance Evaluation And Determination Of Optimum Irrigation Levels For Teff (*Eragrostis Tef* L.) Under Dragline Sprinkler Irrigation System In North Dodota. *Adama Science and Technology University Library Electronic Theses and Dissertations* <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/881>. Erişim Tarihi: 25.07.2022.
- Dereje, A., & Gedefa, L. (2021). Virtual Water and Its Share in Per-capita Water Availability (Case Study of Ethiopia). *science publish group*, 21-35.
- Desta, F., Bisa, M., & Tegenu, G. (2018). Estimation of Crop Water Requirement and Seasonal Irrigation Water Demand for *Eragrostis Tef*: Model-Based Analysis. In *technological interventions management irrigated agriculture* (p. 17). Apple Academic Press.

- Dhlamini, S., Mkhonza, T. H., Osman, A., Crundwell, F., Sheridan, C., & Harding, K. (2013). Introduction to Water Footprinting. Chemical Technology, <https://www.researchgate.net>. Erişim Tarihi: 01.08.2022.
- Enyew, B., & Steeneveld, G.-J. (2014). Analyzing the Impact of Topography on Precipitation and Flooding on the Ethiopian Highlands. Geology and Geosciences, <https://www.researchgate.net>. Erişim Tarihi: 25.08.2022.
- Esubalew, T., & Tewabe, H. (2022). Spatial production distribution, economic viability and value chain features of teff in Ethiopia systematic view. Cogent Economics & Finance, <https://doi.org/10.1080/23322039.2021.2020484> Erişim Tarihi: 21.08.2022.
- Evangelista, P., Evangelista, P., & Burnett, J. (2013). How will climate change spatially affect agriculture production in Ethiopia? Case studies of important cereal crops. climate change, 855-873.
- Fandika, I. R. (2019). Water Footprint Differences of Producing Cultivars of Selected Crops in New Zealand. In (Ed.), Irrigation in Agroecosystems. IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/intechopen.77509>. Erişim Tarihi: 11.08.2022.
- FAO. (2003). Review of world water resource by country. ROME: FAO. <https://www.fao.org/fao>. Erişim Tarihi: 17.08.2022.
- FAO. (2012). Crop yield response to water.FAO irrigation and drainaage papaer 66. Rome,italy: fao. <https://www.fao.org/fao>, Erişim Tarihi: 11.08.2022.
- FAO. (2018). rogress on level of water stress - Global baseline for SDG 6 Indicator 6.4.2. rome: FAO. <https://www.fao.org/fao>, Erişim Tarihi: 19.08.2022.
- FAO. (2021).FAO. Tracking water to make the most of it: <https://www.fao.org/fao>, Erişim Tarihi: 03.08.2022.
- FAO. (2022). FAO land waterdatabases and software climwat or for cropwat <https://www.fao.org> Erişim Tarihi:18.08.2022.
- Funk, C., Michaelsen, J., & Marshall, M. (2012). Mapping Recent Decadal Climate Variations in Precipitation and Temperature across Eastern Africa and the SahelIn: Wardlow, B.D., Anderson, M.C. and Verdin, J.P., Eds., Remote Sensing of Drought: Innovative Monitoring Approaches. CRC press, 331-358.
- Gebre stadik, d. (2003). The Nile Historical Legal Developmental Perspective. New york: Trafford Publishing. 151-252.
- Hagos, T. (2017, -02 28). africaleadershipmagazin. Ethiopia: GERD Generation Capacity Increases to 6,450 MW: <https://www.africanleadershipmagazine.com>. Erişim Tarihi: 11.08.2022
- Hailu, G., Weersink, A., & Minten, B. (2017). Determinants of the Productivity of Teff in Ethiopia. Eur J Dev , 866–892.
- Hameed, M., Moradkhani, H., Ahmadalipour, A., Moftakhari, H., Abbaszadeh, P., & Alipour, A. (2021). A Review of the 21st Century Challenges in the Food-Energy-Water Security in the Middle East. water, 11-4

- Handiso, B. W. (2018). The challenges and Opportunities of the Grand Renaissance Dam for sustainable Energy - Water - Food - Ecosystem services Nexus in Ethiopia. <https://www.semanticscholar.org/>. Erişim Tarihi: 11.08.2022
- Heygin, L. (2018). Teff, A Rising Global Crop: Current Status of Teff Production and Value Chainhe. *an open agriculture journal*, 185-193.
- Hirpa, B. A., Adane, G. B., Asrat, A., & Dessie Nedaw. (2022). Spatio-temporal variability and trend of water footprints in the upper Awash basin, central Ethiopia,. *journal of hydrology*, volume 608 0022-1694.
- Hoekstra, A. &. (2007). Water footprints of nations: Water useWater Footprints of Nations: Water Use by People as a Function of Their Consumption Pattern. . *water resource management*, 21. 35-48.
- Hoekstra, A., & P.Q.Hung. (2002). Virtual Water Tradea Quantification Of Virtual Water Flows Between Nationsin Relation To International Crop Trade. *Water Science and Technology*,203-209.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). - The Water Footprint Assessment Manual. Daugherty Water for Food Global Institute: Faculty Publications. 77.
- Israel, K., & Merkinch, M. (2020). Challenges, Experiences and Opportunities of Water Resource management in Ethiopia . *Journal of Resources Development and Management*, 62. 1-9.
- Jaleta, M. (2021). Agricultural Supply Chain Analysis During Supply Chain Disruptions: Case of Teff Commodity Supply Chain in Ethiopia in the era of COVID-19. *Sustainable Agriculture Research*. *Sustainable Agriculture Research*, 10(3):63-71,
- Kebebew, A., & Solomon, C. (2018). agronomist of teff INTERNATIONAL FOOD POLICY RESEARCH INSTITUTE (IFPRI) Washington, DC,39-70.
- Khan, T., Nouri, H., Booij, M., Hoekstra, A., Khan, H., & Ullah, I. (2021). Khan, Tariq & Nouri, Hamideh & Booij, Martijn & Hoekstra, Arjen & Khan, Hizbullah & Ullah, Ihsan. Water Footprint, Blue Water Scarcity, and Economic Water Productivity of Irrigated Crops in Peshawar Basin, Pakistan. *water*, 2073-4441.
- Li, L., Li, W., Ballard, T., Sun, G., & Jeuland, M. (2015). CMIP5 model simulations of EthiopianKiremt-season precipitation: current climate and future changes. *cilmate dynamics*, 1-13.
- Mekonnen, M. a. (2010). THE GREEN, BLUE AND GREY WATER FOOTPRINT OF CROPS AND DERIVED CROP PRODUCTS. NESCO-IHE, Delft,: Value of Water Research Report Series No. 47 .
- Mekonnen, M. M., & Gerbens-Leenes, W. (2020). The Water Footprint of Global Food Production. *water*, 2073-4441.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science advances*, 2.

- Mengesha, A., Min, C., Yunyun, H., Ewuketu, M., Xiaoyang, S., & Jie, Y. (2020). Ethiopian vegetation types, climate and topography. *sciencedirect*, 302-311.
- Mengistu, H., Demlie, M., & Abiye, T. (2019). Review: Groundwater resource potential and status of groundwater resource development in Ethiopia. *Hydrgeology journal*, 1051–1065.
- Minten, B., taffesse, A., & Brown, P. (2018). economics of teff: exploring Ethiopia's biggest cash crop. *ARGIS*, 978-0-89629-283-3.
- Moberg, E. (2016). The water footprint of coffeeproduction in Mirafior, Nicaragua . <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:913058/FULLTEXT01.pdf>.
- MOFED. (2010). Sustainable Development and Poverty Reduction). Addis abeba: Draft.
- Moges, D. (2020). Technical Efficiency of Smallholder Teff Producing Farmers in ethiopia. *the Journal of Applied Sciences Research*, 2383-2215.
- Mohamoud, A. (2018). TRAINING MANUAL ON APPLICATION OF CROPWAT 8 SOFTWARE IN IRIGATION. [pdfcoffee.com_manual-cropwat-8-pdf-free\(1\).pdf](https://pdfcoffee.com/manual-cropwat-8-pdf-free(1).pdf). <https://pdfcoffee.com/manual-cropwat-8-pdf-free.html> Erişim Tarihi: 29.08.2022.
- Mosissa, T., & Baihilu, B. (2017). Review on participatory small-scale irrigation schemes and small-scale rainwater harvesting technology development and its contribution to household food security in Ethiopia. *Water Resources and Environmental Engineerin* 54-63.
- MOWE. (2015). Engineering Services for Hydropower Cascade. Dabus Hydropower (Ethiopia). <https://www.scirp.org/%28S%28vtj3fa45qm1ean45vvffcz55%29%29/reference/referencespapers.aspx?referenceid=3056339> Erişim Tarihi: 21.08.2022
- MoWR ;UNESCO. (2006). National water development report for Ethiopia. ADDIS ABABA: UNESCO.
- MoWR. (2001). AddiSa Ababa: The Federal Democratic Republic of Ethiopia Ministry of Water Resources.
- MoWR. (2002). Water Sector Development Program 2002-2016. Irrigation Development Program. Addis ababa: MoWR.
- Orr, A., Amede, T., Tsusaka, T., Tiba, Z., Asmare, D., Deneke, T., & Phiri, A. (2017). Smallholder Risk Management Solutions (SRMS) in Malawi and Ethiopia. *Reaserchgate*, DOI:10.13140/RG.2.2.27916.51843.
- Pokorny, J. (2009). Evapotranspiration. *sciencedirect*, 292-303.
- Rashid, S. (2010). Staple Food Prices in Ethiopia. COMESA policyseminar on “Variation in staple food prices: Causes, consequence, and policy options. Maputo,: African Agricultural Marketing Project (AAMP). <http://purl.umn.edu/58552>, Erişim Tarihi: 21.08.2022.

- Reta, H., Degefa, T., & Getnet, A. (2018). Integrated Water Resources Management as a System Approach for Water Security: Evidence from the Awash River Basin of Ethiopia. *african journal online(ajol)*, 1810-4487
- Ridoutt, B., & Pfister, S. (2010). A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on freshwater scarcity. *Global Environmental Change*, 113-120.
- Rosenberg, R., Norberg, S., Smith, J., Charlton, B., Rykbost, K., & Shock, C. (2005). Yield and quality of teff forage as the function of varying fertilizer and irrigation. *klamath basin*: <https://www.researchgate.net/>, Erişim Tarihi: 21.08.2022
- Sankaranarayanan, S., Zhang, Y., Carney, J., Nigussie, Y., Esayas, B., Simane, B., Siddiqui, S. (2020). What Are the Domestic and Regional Impacts From Ethiopia's Policy on the Export Ban of Teff? *Frontiers in Sustainable Food Systems*, <https://www.frontiersin.org/article/> Erişim Tarihi: 17.08.2022
- Steduto, P., C. Hsiao, T., Fereres, E., Raes, & Division., L. a. (2012). crop yield respons of water. Rome, Italy: FAO. <https://www.fao.org/3/i2800e/i2800e00.htm> Erişim Tarihi: 21.08.2022.
- Swennenhuis, J. (2009). CROPWAT version 8.0 model. FAO, Vialledelle Terme di Caracalla, Rome, Italy. http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html. Erişim Tarihi: 21.09.2022.
- Tadele, E., & Hibistu, T. (2021). Empirical review on the use dynamics and economics of teff in Ethiopia. *Agric & Food Secur*, 1 -40.
- Tesfa, B. (2013). Benefit of Grand Ethiopian Renaissance Dam Project (GERDP) for Sudan and Egypt. *EIPSA Communicating Energy, Water, Environment & Economic*, 4-11.
- Thakare, J. (2019). Importance of Water Resource Management. (IJSRP), 2250-3153.
- UNECA. (2011). Climate Change and Water Resources of Africa: Challenges, Opportunities and Impacts. UN Economic Commission for Africa. African Climate Policy Centre Working Paper 5 <https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/uneca07.pdf> Erişim Tarihi: 09.08.2022
- UNESCO. (2009). Water in a changing world: the United Nations world water development report 3. london: UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000181993> Erişim Tarihi: 11.08.2022
- UNESCO. (2015). Transboundary water governance and climate change adaptation: international law, policy guidelines and best practice application. Paris: UNESCOA. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000235678>. Erişim Tarihi: 06.08.2022
- UNESCO World Water Assessment Programme. (2018). The United Nations world water development report 2018: nature-based solutions for water. paris: UNESCO. <https://inweh.unu.edu/> Erişim Tarihi: 05.08.2022.
- USAID. (2015). A Climate Trend Analysis of Ethiopia. <https://www.usaid.gov>. Erişim Tarihi: 07.08.2022.

- USAID. (2021). Ethiopia Water Resources Profile Overview. <https://winrock.org/> Erişim Tarihi: 21.09.2022.
- Vandecasteele, J., Dereje, M., Minten, B., & Taffesse, A. S. (2013). Scaling-up adoption of improved technologies: The impact of the promotion of row planting on farmers' teff yields in Ethiopia. Leuven: KU Leuven LICOS; <https://feb.kuleuven.be/drc/licos/publications/dp/dp-344> Erişim Tarihi: 08.09.2022.
- WFN. (2016). COUNTRY water foot print profile . www.Waterfootprintnetwork.org Erişim Tarihi: 21.08.2022.
- Woldeyohannes, A., Iohannes, S., Iohannes, S., Leonardo, C., Abate, E., Abate, E., & Dell'Acqua, M. (2021). Data-driven, participatory characterization of traditional farmer varieties discloses teff (*Eragrostis tef*) adaptive and breeding potential under current and future climates. *eLife* 11:e80009.
- Woldeyohannes, D.-Y., Khalil, A., & Salem, H. (2017). Nile River's Basin Dispute: Perspectives of the Grand Ethiopian Renaissance Dam (GERD). *Global Journal of Environmental Science and Management*, 1-21.
- Yang, Z., Sun, T., Cui, B., Chen, B., & Chen, G. (2009). Environmental flow requirements for integrated water resources allocation in the Yellow River Basin, China,. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2469-2481.
- Yihun, Y. m. (2015). Agricultural water productivity optimization for irrigated Teff (*Eragrostic Tef*) in a water scarce semi-arid region of Ethiopia. netherlandes: CRC Press.23-78.
- Yumba, J., MD, B., Kiambi, D., F, K., & Rao, K. (2014). Assessing the effects of climate change on teff in Ethiopia: implications for food security. ,Nairobi,keniya: African Biodiversity Conservation and Innovations Centre. <https://www.ajol.com> Erişim Tarihi: 21.08.2022
- Zablon, A., Eliza, S., & Tinebeb, Y. (2021, 07 25). 3 strategeies for wise development in Ethiopia. international water inistitution : <https://www.wri.org>. Erişim Tarihi: 21.08.2022
- Zeman, C., Rich, M., & Rose, J. (2006, 10 17). World water resources: Trends, challenges, and solutions. *reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 333-346.
- Zewudie, D., Ding, W., Rong, Z., Zhao, C., & Y., C. (2021). Spatiotemporal dynamics of habitat suitability for the Ethiopian staple crop, *Eragrostis tef* (teff), under changing climate. *peerj*, :e10965.

EKLER

EK 1 CROPWAT ile BÖlgelerde Bulunan İstasyonlardan Elde Edilen Sonuçlar

EK 2 CROPWAT Yazılımı Ekran Görüntüleri

EK 1 CROPWAT ile Bölgelerde Bulunan İstasyonlardan Elde Edilen Sonuçlar
Oromia bölgesinde bulunan istasyonlar için CROPWAT sonuçları

İstasyonlar	Etc (mm/da)	Peff (mm/da)	ETyeşil (mm/da)	ETmavi (mm/da)
Adaba	282.6	291.6	192.7	88.6
Adola	291	200	186.2	105.8
Agaro	288.9	432.5	288.8	0
Akaki	307.3	337.1	207.8	98.4
Alemaya	335.4	298.8	259.8	88.2
Ambo	302.5	314.3	225.4	75.7
Asela	256.7	392.2	238.9	14.5
Asendabo	278.9	331.2	224.4	51.9
Atinago	262.4	461.2	265.2	0
Awash	333.7	232.8	192.6	139.9
bako shawa	285.3	364.8	243.2	39.3
Bambsi	286.5	397.2	275.4	6.1
Begi	265.8	399.9	265.8	0
Bekoji	229.1	310.9	193.9	31.8
debrezeyit	304.9	311.4	207.1	97.4
dembidolo	276.8	334.7	265.4	8.4
Dixie	297	343.5	262	30.2
Dodola	285.5	309.2	231.7	50.3
Fililikilk	282.6	291.6	202.4	59.9
Fincha	291	200	244	25.7
Genbi	288.9	432.5	263.4	0
Goba	307.3	337.1	252.3	4
Girawa	335.4	298.8	183.6	53.1
Kofele	302.5	314.3	254.2	4.4
koka dam	256.7	392.2	233.8	102.1
Kuyera	278.9	331.2	250.3	24
Langano	262.4	461.2	160.2	136.8
Mega	333.7	232.8	80.8	248.2
Mendi	285.3	364.8	262.8	0
metahara	286.5	397.2	190.9	214.7
Midaga	265.8	399.9	217.7	109.6
Metu	229.1	310.9	269.5	0
Mojo	304.9	311.4	237.3	93.2
Munesa	276.8	334.7	246.1	1
Nazreth	297	343.5	219.7	318
Negele	285.5	309.2	110.7	185.8
Nejo	282.6	291.6	255.6	0
nekemte	291	200	252	0
Olgecho	288.9	432.5	203.8	85.2
Bale	307.3	337.1	242.9	48.7
Ticho	335.4	298.8	258.9	1.1
Weliso	302.5	314.3	195.4	78
Wenji	256.7	392.2	221.1	97.5
wush wush	278.9	331.2	280.2	0
Yubdo	262.4	461.2	264.5	0
Gore	260.2	478.9	260.1	0
Ortalama	287.1	340.5	229.1	61.3

Amhara bölgesinde bulunan istasyonlar için CROPWAT sonuçları

İstasyonlar	ET_c (mm/da)	Pe_{eff} (mm/da)	ET_{yeşil} (mm/da)	ET_{mavi} (mm/da)
Addis zaman	272.7	417.2	242.4	26
Bahirdar	284.1	472.7	284.2	0
Bati	348.2	286.1	211.1	136.6
Chagni	274.9	505.4	274.9	0
Combolcha	347.4	350.3	256.7	89
Dabat	257.4	399.4	222.9	26.6
Dangla	288.1	443.5	272.2	11.1
Debrebirhan	283.7	345.8	207.9	74.4
Debremarkos	240.1	425.6	232.8	2.7
Debretabor	270.3	443.1	244.7	22.2
Dessie	310.8	385.4	265.5	42.0
Gondar	299.5	367.4	220.6	75.6
Gorgora	284.6	363.5	217.0	65.9
Metema	382.1	377.5	294.4	85.6
Woldia	328.9	334.8	230.9	95.5
Ortalama	298.2	394.5	245.2	50.2

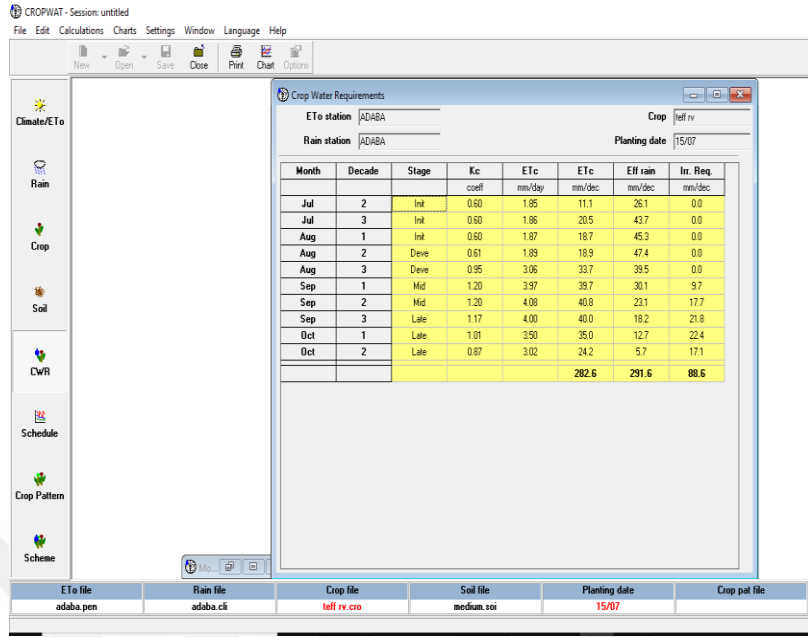
Tigray bölgesinde bulunan istasyonlar için CROPWAT sonuçları

İstasyonlar	ET_c (mm/da)	Pe_{eff} (mm/da)	ET_{yeşil} (mm/da)	ET_{mavi} (mm/da)
Abbaadi	362.4	267.2	146.2	215.5
Adigrat	371.3	202.3	150.0	220.5
Adawa	353.7	338.0	229.8	122.7
Alamata	352.5	243.8	179.1	179.7
Maichew	330.2	313.6	247.9	112.0
Humera	376.5	309.7	216.0	128.5
Makale	366.5	263.0	186.6	205.6
Ortalama	359.0	277.0	194.0	169.2

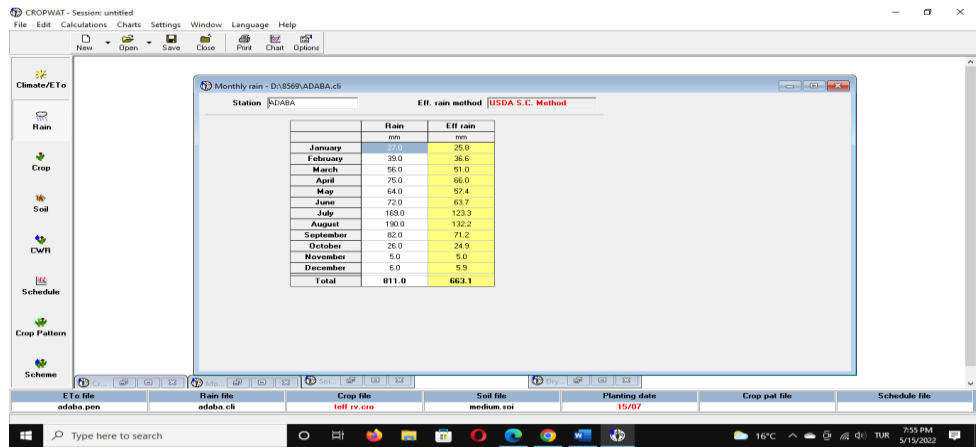
SNNPR bölgesinde bulunan istasyonlar için CROPWAT sonuçları

İstasyonlar	ETc (mm/da)	Peff (mm/da)	ETyeşil (mm/da)	ETmavi (mm/da)
Arba min	336.4	204.5	179.7	130.0
Bilate	301.8	214.0	190.9	108.3
Bonga	286.5	408.1	286.4	0.0
Burji	254.4	313.6	187.9	130.7
Felege neway	305.0	369.4	302.0	3.0
Gidole	292.6	291.2	243.7	50.4
Hagere selam	241.6	311.8	232.8	8.9
Jinka	294.0	317.6	271.2	22.7
Konso	297.7	107.5	107.2	187.0
Sodo	283.1	372.7	260.1	23.0
Mierab abaya	331.4	198.5	194.3	131.8
Tepi	285.5	398.7	248.0	35.4
Wondo	292.9	400.2	229.9	0.0
Yirgachefe	283.0	390.1	283.0	0.0
Yirgalem	293.4	337.2	285.3	8.0
Chincha	254.4	313.6	239.3	15.2
Ortalama	289.6	309.3	233.9	53.4

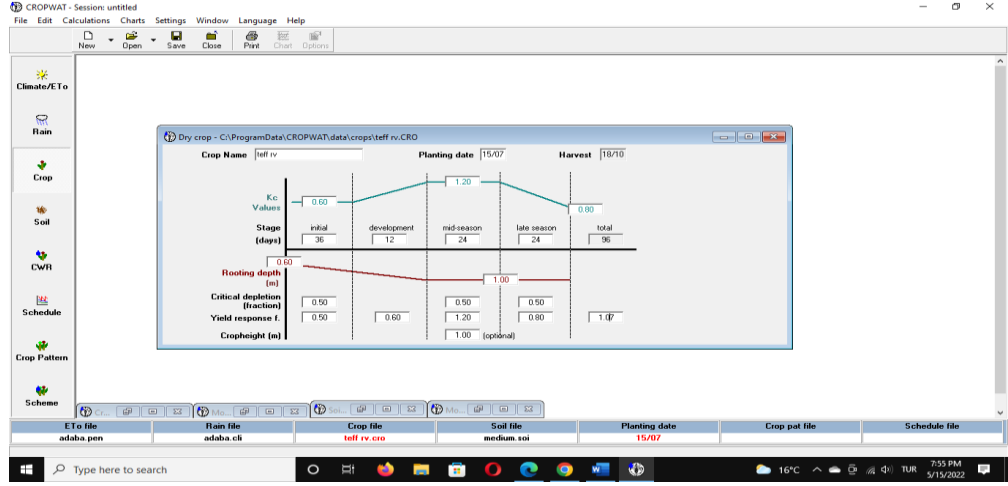
EK 2 CROPWAT Yazılımı Ekran Görüntüleri



Oromia bölgesinde bulunan Adaba istasyonda CROPWAT iklim verileri



Yağış verileri



Bitki özellikleri verileri

The screenshot displays the CROPWAT software interface with the 'Soil' tab selected. A window titled 'Soil - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\FAO\MEDIUM.SOI' is open, showing a form for entering soil parameters.

Parameter	Value	Unit
Total available soil moisture (FC - WP)	290.0	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	40	mm/day
Maximum rooting depth	900	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TAM)	0	%
Initial available soil moisture	290.0	mm/meter

Toprak verileri