

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ ANA BİLİM DALI

ÇORUH HAVZASI SU AYAK İZİNİN HESAPLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nagehan TAŞDEMİR

Danışman

Prof. Dr. Ayla BİLGİN

ARTVİN, 2025

BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ

Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çoruh Havzası Su Ayak izi Hesaplanması” başlıklı bu çalışmayı;

☒ Baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ayla BİLGİN’in sorumluluğunda tamamladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metin içerisinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı taahhüt ederim.

☒ Turnitin benzerlik programından alınmış olan özgünlük raporuna göre tezin benzerlik oranının % 18 olduğunu beyan ederim.

Aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Lisansüstü Eğitim-Öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

☐ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

☐ Tezim sadece Artvin Çoruh Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.

☒ Tezimin 6 ay süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

...../...../20.....

Nagehan TAŞDEMİR

ORCID NO: 0009-0008-0646-5884

İmza

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANA BİLİM DALI

ÇORUH HAVZASI SU AYAK İZİNİN HESAPLANMASI

Nagehan Taşdemir
ORCID NO: 0009-0008-0646-5884

Başkan : Doç. Dr. Hasan KOÇYİĞİT

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ayla BİLGİN

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Vedat YILMAZ

ONAY:

Bu Yüksek Lisans / Doktora tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../..... tarihinde oybirliği/oyçokluğu ile uygun görülmüş ve kabul edilmiştir.

.../.../.....

Prof. Dr. Kerem ÇOŞKUN

Enstitü Müdürü

ÖN SÖZ

“Çoruh Havzası Su Ayak İzinin Hesaplanması” konusunda yapılan bu çalışma; Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez sürecim boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen; bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren sayın danışman hocam Prof. Dr. Ayla Bilgin ‘e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Çalışma süresince yanımda olan, desteğini her daim hissettiren, fikir alışverişinde bulunduğum, yüksek lisans eğitimime başlamamda ve tüm aşamalarında varlığıyla bana güç veren sevgili eşim Dr. Öğr. Üyesi Taner Taşdemir’e; tüm bu zorlu süreç boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, bu günlere gelmemde emeği olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu çalışmamı çocuklarım Almina ve Demir Mete’ye ithaf ettiğimi bildirmek isterim.

Nagehan TAŞDEMİR

Artvin – 2025

İÇİNDEKİLER

KISALTMA DİZİNİ	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ.....	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgiler	1
1.2 Sanal Su ve Su Ayak İzi Kavramları.....	3
1.3 Su Ayak İzi Kapsamı	6
1.4 Çalışmanın Amacı, Önemi ve Literatüre Katkısı	8
1.5 Literatür İncelemesi.....	9
2 MATERYAL YÖNTEM.....	12
2.1 Materyal.....	12
2.1.1 Çalışma Alanı	12
2.1.2 İklim	15
2.1.3 Tarım	16
2.1.4 Hayvancılık	17
2.1.5 Yağış.....	18
2.1.6 Veri	19
2.1.6.1 Evapotranspirasyon ve Bitki Su Tüketimi	19
2.2 Yöntem	25
2.1.1 Su Ayak izi Hesaplama	26
3 BULGULAR	30
3.1 Alansal Evapotranspirasyon Tahmini	30
3.2 Çoruh Havzası Toplam Su Ayak İzi	31
3.3 Tarımsal Üretimin Toplam Su Ayak İzi	34
3.4 Hayvansal Üretimin Toplam Su Ayak İzi.....	45
3.5 Evsel Su Ayak İzi.....	49
4 SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR.....	54
EKLER	59

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	60
KURUM İZNİ YAZILARI	61



KISALTMA DİZİNİ

A	Bitkinin Ekim Alanı Miktarı
BST	Bitki Su Tüketimi
C_{max}	Maksimum Nitrat Konsantrasyonu
C_{nat}	Doğal Konsantrasyon
DSİ	Devlet Su İşleri
ET	Evapotranspirasyon
ET_0	Referans Evapotranspirasyon
ET_c	Bitkisel Evapotranspirasyon
ET_{mavi}	Mavi Evapotranspirasyon
$ET_{yeşil}$	Yeşil Evapotranspirasyon
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
K_c	Bitki Katsayısı
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
P	Bitki Üretim Miktarı
P_{eff}	Efektif Yağış
SA	Su Ayak İzi
SSM	Sanal Su Muhtevası
TAGEM	Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
V	Verim

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. 1 Dünyada suların dağılımı.	2
Şekil 1. 2 Suyun ülke gelir gruplarına göre kullanım alanları	3
Şekil 1. 3 Su ayak izi bileşenleri	6
Şekil 1. 4 Sektörlere göre Türkiye’de üretimin su ayak izi oranları.....	8
Şekil 2. 1 Çoruh havzasının Türkiye genelindeki görünümü	13
Şekil 2. 2 Çoruh havzası ilçe sınırları haritası	14
Şekil 2. 3 Çoruh havzası iklim bölgeleri	15
Şekil 2. 4 Bitki katsayısının gelişim dönemindeki değişimleri	22
Şekil 2. 5 New_LocClim ara yüzü.....	23
Şekil 2. 6 CROPWAT ara yüzü.....	23
Şekil 2. 7 Çoruh havzası noktasal gözlem istasyonları	25
Şekil 2. 8 Su ayak izi hesaplama adımları akış diyagramı	27
Şekil 3. 1 Havzadaki ilçelerin yıllık toplam yağış miktarları	31
Şekil 3. 2 Havzanın tarımsal, hayvansal, evsel su ayak izi miktarları (Milyon m ³).....	32
Şekil 3. 3 Havzanın toplam su ayak izi miktarları.....	32
Şekil 3. 4 Su ayak izi kategorilerinin toplam su ayak izine oranları	34
Şekil 3. 5 Tarımsal su ayak izinin mavi, yeşil, gri ve toplam miktarları (milyon m ³)	35
Şekil 3. 6 Tarımsal su ayak izi içerisindeki mavi, yeşil ve gri su ayak izlerinin oranları	35
Şekil 3. 7 Havzadaki tarımsal su ayak izi miktarının ilçelere göre dağılımı	37
Şekil 3. 8 İlçeler bazında toplam tarımsal su ayak izi miktarları	37
Şekil 3. 9 Havzadaki ürünlerin su ayak izinin miktarları	38
Şekil 3. 10 Buğday ürününün ilçelere göre su ayak izi miktarları	41
Şekil 3. 11 Barbunya ürününün ilçelere göre su ayak izi miktarları	42
Şekil 3. 12 Yulaf ürününün ilçelere göre su ayak izi miktarları.....	43
Şekil 3. 13 Bal kabağının ilçelere göre su ayak izi miktarları.....	44
Şekil 3. 14 Yonca ürününün ilçelere göre su ayak izi miktarları.	45
Şekil 3. 15 Hayvansal Üretimin Hayvan Kategorilerine Göre Su Ayak İzi Miktarları.....	47
Şekil 3. 16 Mavi, Yeşil Ve Gri Su Ayak İzlerinin Toplam Hayvansal Su Ayak İzindeki Payları.....	47

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Bazı ürünlerin küresel ortalama sanal su miktarları.....	6
Tablo 2.1 Çoruh havzasında toprağı bulunan illerin toplam alanı ve havza içinde kısımlarının oranları	13
Tablo 2.2 Çalışma kapsamındaki ilçelerin konum, nüfus ve iklim bölgeleri.....	14
Tablo 2.3 Havzada yer alan tarımsal ürünlerin listesi	16
Tablo 2.4 Çoruh havzası hayvancılık verileri ortalamaları (adet).....	17
Tablo 2.5 Bitki su tüketimini etkileyen faktörler	19
Tablo 2.6 Bitki dönemlerine göre K _c değişimleri	20
Tablo 2.7 İlçelere göre aylık yağış ortalamaları	22
Tablo 3.1 Çoruh havzası'nın ilçelerinin toplam su ayak izi miktarları (Milyon m ³)	32
Tablo 3.2 İlçeler bazında tarımsal su ayak izi miktarları (Milyon m ³).....	35
Tablo 3.3 Çalışma kapsamında incelenen tüm ürünlerin tarımsal su ayak izi kategorileri ve üretim miktarları	38
Tablo 3.4 Hayvansal su ayak izi birim değerleri m ³ /ton.....	44
Tablo 3.5 Çoruh Havzası'nın hayvan kategorilerine göre hayvansal üretiminin su ayak izi miktarları (Milyon m ³)	44
Tablo 3.6 Çoruh havzasının ilçelere göre hayvansal üretimin su ayak izi miktarları (Milyon m ³)	46
Tablo 3.7 Çalışma kapsamında yer alan 17 ilçenin evsel su ayak izi miktarları (m ³).....	47

Çoruh Havzası Su Ayak İzinin Hesaplanması

Nagehan TAŞDEMİR

Suyun sürdürülebilir yönetimini temel alan su ayak izi kavramı su kullanımının başta gelen göstergesidir denilebilir. Özellikle havza bazında belirlenen ve hesaplanarak ortaya konan su ayak izi parametreleri suyun verimli kullanımı ve etkin şekilde yönetiminde yönlendirici görev alır. Ülkemizde havza bazında su ayak izi ile ilgili çalışmalar kısıtlıdır. Bu çalışmada Çoruh Havzası'nın tarımsal, hayvansal ,evsel ve endüstriyel su ayak izi parametreleri ayrıntılı biçimde analiz edilmiştir. Havza ölçeğinde ilçe bazında yetiştirilen tarım ürünleri ilçelerin meteorolojik verileri, ekim ve dikim miktar ve alanları ele alınarak hesaplanmıştır. Hayvansal su ayak izi için hayvan sayıları ilçe bazında belirlenerek literatür verileriyle birlikte analiz edilmiştir. Evsel ve endüstriyel su ayak izi hesaplamaları ilçelerin nüfus verileri ve kişi başına kullanılan su miktarının kaynaklardan elde edilmesiyle ortaya konmuştur. Mevcut çalışma 2015-2024 yılları arasında kapsamaktadır. Yapılan hesaplamalar neticesinde Çoruh Havzası'nın toplam su ayak izi yaklaşık 1.4 milyar m³ olarak saptanmıştır. Çalışma kapsamı içerisindeki 17 ilçenin su ayak izi sonuçları değerlendirildiğinde en fazla su ayak izine sahip ilçenin Bayburt Merkez ilçesi olduğu, en az su ayak izine sahip ilçenin ise Artvin Murgul ilçesi olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı içerisinde hesaplanan tarımsal su ayak izi sonuçları değerlendirildiğinde en çok su ayak izine sahip ürünün buğday olduğu belirlenmiş, en fazla mavi su ayak izine sahip olan ürünün de barbunya taze olduğu saptanmıştır. Bu veriler ışığında temiz su kaynaklarının kullanımı açısından bu iki ürün havza özelinde önem arz etmektedir. Hayvansal üretimin su ayak izi değerlendirildiğinde ise Erzurum Şenkaya ilçesi ilk sırada yer almakta, havza genelinde yetiştirilen büyükbaş hayvan sayısının oransal büyüklüğü toplam su ayak izindeki payını belirlemekte mühim rol oynamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çoruh Havzası, Mavi su, Su ayak izi, Tarımsal su ayak izi, Yeşil su.

Calculation of Çoruh Basin Water Footprint

Nagehan TAŞDEMİR

The concept of water footprint, which is based on the sustainable management of water, can be said to be the foremost indicator of water use. Water footprint parameters, which are determined and calculated on a basin basis, play a guiding role in the efficient use and effective management of water. In our country, water footprint studies on a basin basis are quite limited. In the present study, the agricultural, livestock, domestic, and industrial water footprint parameters of the Çoruh Basin were analyzed in detail. At the basin scale, agricultural products grown at the district level were calculated by considering the meteorological data of the districts, as well as the quantities and areas of planting and sowing. For the livestock water footprint, the number of animals was determined at the district level and analyzed in conjunction with literature data. Domestic and industrial water footprint calculations were based on population data for each district and the amount of water used per person obtained from sources. The current study covers the period from 2015 to 2024. As a result of the calculations, the total water footprint of the Çoruh Basin was determined to be approximately 1.4 billion m³. When evaluating the water footprint results of the 17 districts within the scope of the study, it was determined that the district with the highest water footprint was Bayburt Central District, while the district with the lowest water footprint was Artvin Murgul District. When evaluating the agricultural water footprint results calculated within the study area, it was determined that wheat had the highest water footprint, while fresh broad beans had the highest blue water footprint. In light of these data, these two products are important in terms of clean water resource use in the basin. When evaluating the water footprint of animal production, Erzurum Şenkaya district ranks first, and the proportional size of the number of large livestock raised in the basin plays an important role in determining its share of the total water footprint.

Keywords: Çoruh basin, Blue water, Water footprint, Agriculturel water footprint, Green water.

1

GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Su, canlılar için çok önemli bir doğal kaynaktır. Su, doğada en yaygın bulunan sıvı maddelerden biridir. Ekosistemdeki bileşenlerin en önemlisi olan su, doğada su buharı, buz halinde veya su halinde bulunmaktadır (Şahin ve Kurnaz, 2014). Suyun bu kadar çeşitli şekillerde doğada var olması ve sürekli döngü halinde hareket etmesi canlılığın devamını sağlamaktadır (Şahin, 2016).

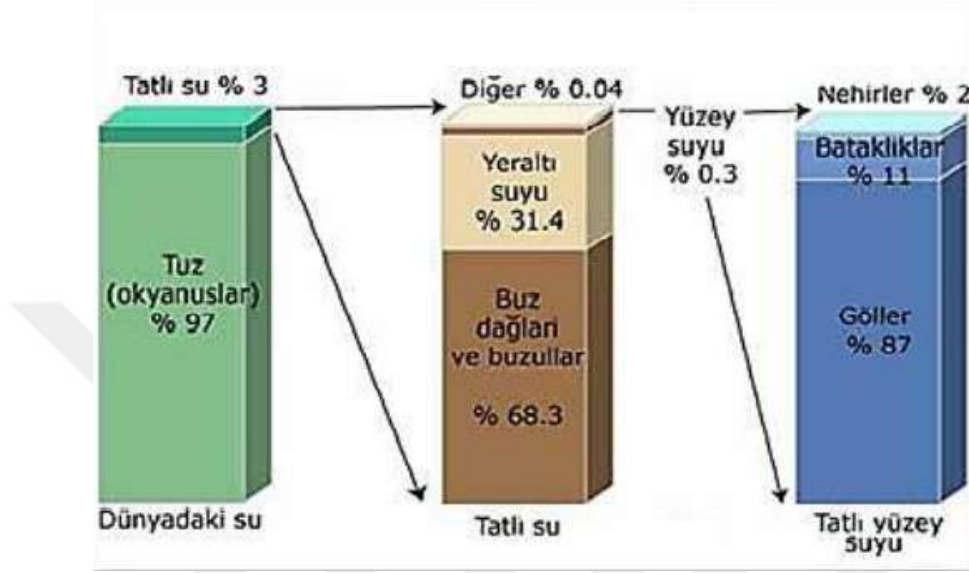
Son yıllardaki nüfus artışına paralel olarak artan gıda üretimi ve enerji ihtiyaçları nedeniyle insan kaynaklı faaliyetlerin hidrolojik döngü ve su kütleleri üzerinde önemli etkileri olmuştur (Muratoğlu vd. 2022). Dünyada su kütlesi yaklaşık olarak sabittir ve su molekülleri atmosferden dışarı çıkamaz. Su güneş ve yerçekimi nedeniyle hareket halindedir. Suyun atmosfer katmanları arasındaki hareketine Su Döngüsü denir (Sargıncı vd. 2022).

Muratoğlu'nun (2019) Hoekstra'dan (2013) aktardığına göre günlük faaliyetler, tarımsal süreçler ve endüstriyel amaçlar suyun tükenmesine ve kirlenmesine yol açmaktadır. Yine Muratoğlu'nun (2019) Postel (1993) ve Ercin'den (2012) aktardığına göre evler, okullar, işletmeler ve diğer belediye faaliyetleri toplam küresel su kullanımının yalnızca %10'una karşılık gelmektedir. Tarımsal faaliyetler, suyun büyük bir kısmını tüketmektedir ve bu durum, dünyanın insanlar tarafından çekilen tatlı su kullanımının yaklaşık %70'inden ve küresel tatlı su tüketiminin toplam %90'ından sorumludur (Muratoğlu, 2019).

Su, yaşam için vazgeçilmezdir ve pek çok biyolojik, kimyasal ve fiziksel süreçte rol oynar. Toplumların ve ekosistemin ayakta kalabilmesi suya bağlıdır. Tatlı su, canlılığın ve doğanın sürdürülebilirliği için ihtiyaç duyulan sınırlı bir kaynaktır (Hogeboom

2020). Dünyanın tatlı su kaynakları artan nüfus, su kullanımı ve su kirliliği sebebiyle her geçen gün azalmaktadır.

Dünya'nın %75'i suyla çevrili olmasına rağmen sadece %3'ü tatlı su olup bu suyun da % 0,3'ü kullanılabilir. Diğer kısımlar yer altı suyu ve dağlardaki buzullardır. Aşağıdaki Şekil 1'de dünyadaki su varlığının dağılımı gösterilmektedir (İlgar, 2020).



Şekil 1.1 Dünyada suların dağılımı (İlgar, 2020)

Tatlı su miktarının bu ölçüde azlığı su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve doğru yönetiminin önemini göz önüne sermektedir. Şimdiye kadar, su kaynaklarının idaresi tüm devletlerin görevleri içinde öncelikli olarak yer almış ve genellikle yasalar yardımıyla su kaynakları korunmaya çalışılmıştır(Şahin, 2016).

Son asırda dünyadaki su tüketimi 10 kat artmasına rağmen kişi başına düşen su miktarı %50 azalmıştır (İlgar, 2020).

2050 yılına gelindiğinde dünya nüfusunun yaklaşık 9 milyar olacağı tahmin edilirken (İraz, 2021), artan nüfusun sadece beslenebilmesi için su kaynaklarının %80 artması gerektiği düşünülmekte ve gerekli suyun nasıl temin edileceği konusunda belirsizlik sürmektedir (Şahin, 2016).

Dünyada kullanılabilir tatlı su kaynakları tarımsal, evsel ve endüstriyel olmak üzere üç ana alanda kullanılmaktadır. Dünya geneli ve ülkelerin gelir gruplarına göre su kullanım alanları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Suyun ülke gelir gruplarına göre kullanım alanları (URL-1)

Dünyadaki su kaynakları ve kullanım alanları oransal olarak çeşitlenebilmektedir. Kullanım suyunun oransal olarak dağılımına baktığımızda dünya genelinde %69 tarım amaçlı, %19 endüstriyel ve %12 ev tüketimi oranlarıyla karşılaşılmaktadır (URL-1). Bu oran Türkiye tarım sektöründe yaklaşık %89’dur (İraz, 2021).

Su varlığının coğrafi bölgelere göre farklı biçimde dağılması sonucu “su sorunları” terimi yerine “su kıtlığı” terimi kullanılmaya başlanmıştır (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Nüfus artışı ve sanayi gelişimi ile birlikte gıdaya olan talebin de artması ile daha fazla tarımsal üretim ihtiyacı oluşacağı ve ilerleyen zamanlarda su kıtlığı yaşanabileceği rapor edilmektedir (Hoekstra vd. 2011; Muratoğlu, 2022)

1.2 Sanal Su ve Su Ayak İzi Kavramları

Suyun kullanım alanları içine endüstri işletmeleri, evsel kullanımlar, enerji ve tarım gibi alanlardır (Baran, 2017). Jeologlar, endüstrileşmenin ve ekonomik büyümenin tetiklediği global çevre sorunları nedeniyle içinde bulunduğumuz çağın, insan çağı (Antroposen) olarak tanımlanmasını öneriyorlar. Kıt kaynakların yanlış kullanımı ve kirlilik, doğanın üstesinden gelebileceği sınıra ulaşmış öyle ki çoğu durumda sınırı aşmıştır. Su kaynakları ile ilgili rekabet ve çatışmaya neden olan iki önemli unsur, ekonomik büyüme ve gelişme nedeniyle artan talep ve yer altı sularının vahşice kullanımınıdır. Bununla birlikte, bu rekabeti hızlandıran asıl konu geri kalmış ülkelerin nüfus artışından ziyade gelişmiş ülkelerin artan tüketimidir. İklim değişikliği gösteren

bulgular, yağış miktarlarının dengesizliğine ve düzensizliğine işaret etmektedir (Pegram vd. 2014)

Türkiye geneli yıllık alansal yağış miktarı 574 m³ dür. 2016 yılı Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre ilk üç aylık yağış miktarı geçen yıllara göre %12 artış göstermekle beraber bölgesel bazda Doğu ve Güneydoğu bölgelerimizde yağış miktarında ortalama %20 civarında azalma söz konusudur. Doğu ve Güneydoğu bölgelerimizde azalan yağışlara ek olarak yaşanan şiddetli buharlaşma var olan su miktarının çok büyük bir kısmının yok olmasına sebep olmaktadır (Baran, 2017). Su kirliliği de temiz su kaynaklarının azalmasının ve su kıtlığı yaşanmasının başlıca sebeplerindendir. Su kaynakları tarımsal, endüstriyel ve evsel kirlilik, aynı zamanda küresel iklim değişikliği sebebiyle gittikçe azalmaktadır (Kasap, 2018).

Bu bağlamda, su kaynaklarını akılcı kullanmanın hayati önemini vurgulamak gerekir. Korumak ve iyi yönetmek suyu akılcı kullanmanın en önemli koşullarıdır. Bunu sağlayabilmek, suyun hareketini , ülkelerin ekonomisini, tarım ve sanayi sektörlerini ve bunlarla süre gelen insan hayatını bilmekten ve anlamaktan geçer. Mevcut endüstriyel ve ekonomik gelişmeler su sorununu hem küresel hem de bölgesel açıdan değerlendirme yoluna itmiştir. Su kullanımı; nereden bakarsak bakalım bildiğimizden çok daha fazlasıdır. Tükettiğimiz tarımsal ve endüstriyel ürünlerin de belli bir bölgedeki su kaynakları üzerinde çok büyük etkisi bulunmaktadır. Her gün kullanageldiğimiz her çeşit ürün veya tükettiğimiz besinler su kullanarak üretilmektedir. Yakın geçmişe kadar dikkate alınmayan su tüketimi ve kirliliği artık günümüzde üretim ve tedarik zinciri boyunca kullanılan suyun öneminin ve birbirimize bağımlılığımızın farkına varılmış, ‘Sanal su’ kavramı adı altında bütün bu bileşenler ayrılmaz bir bütünü oluşturmaktadır. (Pegram vd, 2014).

1990’ların başında Prof. J.A. Allan tarafından ilk kez bahsedilen “sanal su” kavramı Ortadoğu’daki ülkelerin su kıtlığına çözüm bulmak için türetilmiştir (Allan, 2002). Sanal su, aynı zamanda ‘saklı su’ veya ‘gölge su’ olarak da tanımlanmaktadır. Tüm bu farklı terimler bir ürünün içerisinde var olan su miktarının o ürünün üretimi süresince kullandığı su miktarı göz önünde bulundurulduğunda önemsiz kalmasından dolayı kullanılmaktadır. (Pegram vd. 2014). Sanal su, temiz su hacminin (m³) birim ürün (ton) başına karşılık gelen değeridir (Muratoğlu 2020).

Her ürün farklı oranlarda sanal su ihtiva etmektedir. Aşağıdaki Tablo 1’de günlük hayatımızda en sık tüketilen çeşitli ürünlerin ortalama sanal su miktarları verilmiştir.

Tablo 1.1 Bazı ürünlerin küresel ortalama sanal su miktarları (Chapagain ve Hoekstra, 2004)

Ürünler	Sanal su miktarları (litre)
1 bardak süt 200 ml	200
1 fincan kahve 125 ml	140
1 bardak çay 250 ml	35
1 dilim ekmek 30 gr	40
1 adet yumurta 40 gr	135
1 adet patates 100 gr	25
1 adet hamburger 150 gr	2400
1 adet elma 100 gr	70
1 adet domates 70 gr	13
1 adet portakal 100 gr	50
1 pamuklu tişört	4100
1 çift ayakkabı deri	8000

Ürünlerdeki sanal su miktarları, ürünlerin üretim şekillerine ve üretim yerlerinin fiziksel şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Şahin, 2016). Uygun iklim koşullarında yeterince yağmurla beslenen bir tahıl üretimindeki su ihtiyacı ile farklı iklim şartlarındaki kurak bir bölgede yetiştirilen tahılın üretimindeki su ihtiyacı farklı olacaktır. (İraz, 2021).

Üretim süreçlerinde kullanılan su miktarı ölçülebilmektedir. ‘Sanal su’ kavramı, ihtiyaç duyulan su miktarını tedarik zinciri boyunca ve tüm yönleriyle inceleyip bizi kesin sonuca ulaştırabilmektedir. Bu minvalde ortaya çıkan ‘Su Ayak İzi’ kavramı su konusundaki tartışmalara farklı ve yeni bakış açıları kazandırmıştır. Suyun tarımsal ve endüstriyel ürünlerdeki görünmeyen boyutuna bakarsak; su ayak izi değerlendirmesi

sadece yaşamımızı sürdürebilmek için gereken su miktarını değil, aynı zamanda ekonomimizin ne düzeyde su alanlarına bağımlı olduğunu hem mekânsal hem zamansal boyutlarıyla anlamamızı sağlamıştır (Pegram, 2014).

Su ayak izi kavramı (SA) ilk defa 2002 yılında UNESCO-IHE’de Arjen Hoekstra tarafından dile getirilmiştir (Bulut ve Şahin, 2020). Su ayak izi mavi, yeşil ve gri su bileşenlerinin toplamıdır (Muratoğlu, 2020). Aşağıdaki Şekil 1.3 ‘te su ayak izi bileşenleri gösterilmiştir. Mavi su ayak izi bir ürünün üretim sürecinde gerekli olan yüzey ve yeraltı sularının hacmi toplamıdır (Turan, 2017; Karlı ve Artar 2021; Demir 2023; Çakmak ve Torun 2023). Yeşil su ayak izi ürünün üretimi sırasında gerekli olan yağmur suyu hacmidir (Ceritoğlu vd. 2024; İraz, 2021; Avanoz, 2020). Bir ürünün üretimi sonucu ortaya çıkan kirli suyun bertaraf edilmesi için gerekli olan toplam temiz suyun hacmi ise gri su ayak izi şeklide tanımlanır. (Alper, 2015; Yeşil vd. 2023) Başka bir deyişle gri su ayak izi kirlilik yüklerinin doğal konsantrasyonlara indirgenmesi için gerekli olan temiz su miktarıdır (Muratoğlu, 2022).



Şekil 1.3 Su ayak izi bileşenleri (URL-2)

Su ayak izi hesaplamaları, Türkiye’de tatlı su kaynaklarının akılcı ve sürdürülebilir biçimde yönetiminin ülke ekonomisinde direkt etkisi olan en önemli faktörlerden biri olduğunu göstermektedir.

1.3 Su Ayak İzi Kapsamı

Su ayak izi, ülkedeki veya söz konusu bölgedeki üretim veya tüketimdeki su miktarını belirtirken bileşenleri (mavi, yeşil ve gri) de hangi amaçla, nerede ve nasıl kullanıldığını açıklamaktadır (Avanoz, 2020; Hoekstra vd. 2009). Bir bölgenin su ayak izi sınırları

belli bir bölge için tüketilen ve kirletilen toplam temiz su kaynağı miktarı olarak tanımlanmaktadır. (Şahin, 2018). Geleneksel su kullanımında sadece yüzey ve yeraltı suyunu içine alan mavi su ayak izi hesaplanırken, su ayak izi metodunda, mavi su ayak izi ile birlikte yeşil ve gri su miktarları da göz önüne alınmaktadır. (Avanoz, 2020).

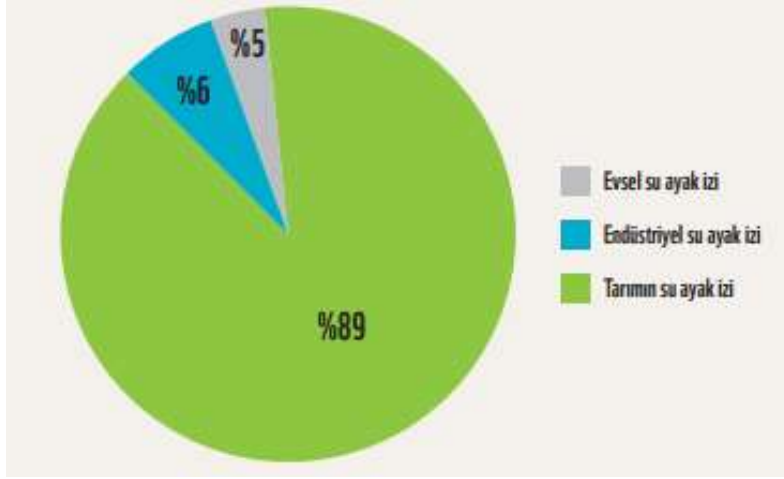
Bu su türleri birbirinden farklı işlevleri ile tanımlanırlar. Üretim sürecinde kullanılan yeraltı ve yüzey suları şeklinde tanımlanan mavi suya ulaşım genellikle yüksek maliyet gerektirir. Yeşil su, yağmur suyunun toprak nemi olarak toprakta biriken kısmıdır. Bitkisel üretimle ilgili olan yeşil su, üretim sırasında buharlaşmayla ya da terlemeyle kaybedilen su miktarı olduğundan dolayı mavi suya ulaşılma durumuna oranla daha kolay ve daha az maliyetlidir (Engin, 2019). Su tasarrufu konusunda mavi veya yeşil su farkı bu nedenle çok önemlidir. Yeşil su bitkiler ve hayvanlar için kullanılırken, mavi su bitkilerle beraber insanların kullanıp ürettiği her alanda kullanılmaktadır (Avanoz 2020).

Su ayak izi hesaplamaları yapılırken mavi, yeşil ve gri su ayak izleri miktarları ayrı ayrı hesaplanır ve son devrede herhangi bir ürünün, sektörün veya ülkenin belirli şartlarda ne kadar su ayak izine sahip olduğu hepsinin toplamıyla elde edilir.

$$SA_{\text{toplam}} = SA_{\text{mavi}} + SA_{\text{yeşil}} + SA_{\text{gri}} \quad (1)$$

Bu bağlamda üretim ve tüketimin su ayak izi kavramı karşımıza çıkmaktadır. Bir ülkenin ticaretini yaptığı veya kendi içerisinde tüketilen mal ve hizmetlerde kullanılan su miktarının belirlenmesinde su ayak izi metodu önemli rol oynar. Üretim süreçlerinin su ayak izi, su kaynaklarının kullanım biçimini ortaya koyarak bu kullanımın sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesinde temel bir araçtır. Üretimin su ayak izi hesaplamasında, ülkelerin tarımsal, hayvansal, evsel ve endüstriyel tüm sektörlerde kullandığı toplam su miktarı dikkate alınmaktadır (Avanoz, 2020). Şekil 1.4'te Üretimin su ayak izi oranlarının sektörler göre dağılımı gösterilmiştir. Bunun bir sonucu olarak bir ulusun üretiminin su ayak izi bütün sektörlerin toplamı olarak karşımıza çıkar.

$$SA_{\text{ulusal}} = SA_{\text{tarımsal}} + SA_{\text{hayvansal}} + SA_{\text{evsel}} + SA_{\text{endüstriyel}} \quad (2)$$



Şekil 1.4 Sektörlere göre Türkiye’de üretimin su ayak izi oranları (Pegram, 2014)

Tarımsal üretim yaklaşık %89’luk oranla Türkiye’deki su ayak izinde birincil etkindir. (Pegram, 2014). Onu %6’lık oranla endüstriyel, %5’lik oranla evsel su ayak izi takip etmektedir.

1.4 Çalışmanın Amacı, Önemi ve Literatüre Katkısı

Dünya genelinde nüfusun ve buna bağlı olarak tüketimin artması gıda ihtiyacının da artmasına neden olmaktadır. Artan gıda ihtiyacını karşılayabilmek için de tarımsal üretimin gerekliliği öne çıkarken, dünyada miktarı değişmeyen kaynaklar olan su ve toprağın önemi daha da göze çarpmaktadır. Küresel ölçekte ve ülkemizde en fazla su tüketiminin tarımsal alanda gerçekleştiği bilindiğinden bu bağlamda su ayak izi kavramı ve değerleri su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada suyun önemi vurgulanırken ülkemizdeki 25 havza arasında 10. büyük havza olan Çoruh Havzası’nın 2015-2024 yılları arasındaki su ayak izleri ayrıntılı bir biçimde hesaplanmaktadır.

Çoruh Havzası tarımsal su ayak izi hesaplaması baz alındığında havzada yetiştirilen ürünlerin su tüketimleri net bir biçimde karşımıza çıkmakta ve gereksiz su kullanımının engellenmesi açısından havza su yönetim çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Tarımsal su ayak izi dünya genelinde en fazla su ayak izine sahip olduğundan dolayı bu çalışma sayesinde Çoruh Havzası özelinde hangi ürünlerin su tüketimi açısından daha uygun olacağı görülmektedir. Hesaplamalar sonucunda toplam su ayak izi yüksek olan ürünler analiz edilmekte ve tespiti sağlanmaktadır.

1.5 Literatür İncelemesi

Su ayak izi konusunda literatürde süreçler, ürünler, ülkeler, sektörler, havzalar gibi birçok farklı alanda çalışmalar mevcuttur.

Hoekstra ve Hung (2005) tarafından yapılan çalışmada hesaplanan sanal su hacimlerine bakıldığında sanal su ithalatında Japonya, ihracatında ise Amerika ilk sırada yer almıştır. Chapagain vd. (2006) çalışmalarında farklı süreçler için pamuk üretiminin su ayak izini hesaplamışlardır. Mekonnen (2011) çalışmasında çeşitli ülkelerin üretim ve tüketim su ayak izlerini hesaplamıştır. Uluslararası toplam su hacminin su ayak izi bileşenlerine göre dağılımı, %68 yeşil su, %13 mavi su ve %19 gri su olarak rapor edilmiştir. Bir diğer çalışmada ise Mekonnen ve Hoekstra (2011) küresel çapta üretilen ürünlerin mavi ve yeşil su ayak izlerini CROPWAT yazılımını kullanarak hesaplamışlardır. Su ayak izi en yüksek olan ürünlerin buğday, mısır ve pirinç olduğunu saptamışlardır. Toplam bitkisel ürünlerin %78 oranında yeşil, %12 oranında mavi su ayak izine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Tandon ve diğerlerinin (2014) Hindistan'da yaptıkları çalışmada bir litre şişe suyun sanal su muhtevası üretim aşamalarının tümünü içine alacak şekilde hesaplanmış ve 17,41 l olarak rapor edilmiştir. Mekonnen ve Hoekstra (2012) çalışmalarında 1996-2005 yılları arasındaki verileri değerlendirerek çiftlik hayvanlarının su ayak izlerini tahmin etmişlerdir. Muratoğlu'nun 2019 yılında yaptığı araştırmada Yukarı Dicle havzasının mavi ve yeşil su ayak izlerini hesaplamıştır. 2010-2018 yılları arasındaki veriler incelendiğinde yıllık ortalama su ayak izinin 7,2 Gm³/yıl olduğu sonucuna varılmıştır. Muratoğlu'nun 2020'de yaptığı bir diğer çalışmada 2008-2019 yılları için Diyarbakır ilinin su ayak izlerini değerlendirmiş ve tespit etmiştir. Sonuç olarak Diyarbakır ilinin toplam su ayak izinin %86'sının tarımsal su ayak izi olduğu analiz edilmiştir. Pegram ve arkadaşları (2014) tarafından yayımlanan raporda, Türkiye'deki üretim ve tüketim süreçlerinin su ayak izi kapsamlı bir şekilde incelenmiş, su ayak izinin önemi vurgulanmış ve bu değerin azaltılmasına yönelik yapılabilecek çalışmalar ele alınmıştır. Raporda, Su Ayak izi Ağı (WFN)'nin 1996-2005 yılları arasındaki verileri değerlendirilmiş ve üretimin su ayak izinin %139,6 Milyar m³, tüketimin su ayak izinin ise 140,2 Milyar m³ olduğu saptanmıştır. Hesaplama sonucunda ortaya çıkan sonuca göre Türkiye'deki toplam su ayak izinin %89'unun tarım sektörüne ait olduğu ve bu göz önüne alındığında da öncelikli olarak tarımsal su ayak izi alanında çalışmaların yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Avanoz (2020), Türkiye’de ulusal ölçekte tarımsal su ayak izi hesaplamalarını konu alan ilk çalışmayı gerçekleştirmiştir. Araştırma kapsamında 2008–2018 döneminde üretilen toplam 97 tarımsal ürünün mavi ve yeşil su ayak izleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar, mavi su ayak izinin 59,84 milyar m³, yeşil su ayak izinin ise 47,01 milyar m³ olduğunu göstermiştir. Tarımsal üretime etkisinin düşük olduğu belirtilen gri su ayak izi bu çalışmada hesaba katılmamıştır. Ding vd. (2019) çalışmalarında Heilongjiang’da bazı ürünlerin yeşil ve mavi su ayak izlerini hesaplamış ve içlerinden çimen, buğday ve pirincin en fazla su ayak izine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Hu vd. (2016) Çin’de yer alan Dianchi Gölü Havzasının su ayak izini analiz etmişlerdir. 2000-2011 yılları arasını kapsayan çalışmada su ayak izi yaklaşık 2,82 Milyar m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

İraz (2021) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, Fırat Havzası’nın 2008–2019 yıllarına ait tarımsal, hayvansal, evsel ve endüstriyel sektörlerdeki su ayak izi bileşenleri (mavi, yeşil ve gri) değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, havzanın toplam su ayak izinin 28,01 milyar m³ olduğunu ve bu miktarın %90 gibi büyük bir bölümünün tarımsal üretimden kaynaklandığını göstermektedir. Çalışmada ayrıca hayvansal su ayak izinin 2,51 milyar m³, evsel ve endüstriyel su ayak izinin ise 0,51 milyar m³ olduğu ifade edilmiştir.

Alper (2015) çalışmasında pamuk üretiminin Aydın, Adana, Diyarbakır, İzmir ve Antalya için su ayak izini incelemiştir. Hesaplama sonucunda pamuk üretiminin su ayak izinin en düşük olduğu il 5,13 ton/ha ile Adana ili olduğu bildirilmiştir. Çankaya (2019) bir atık su arıtma tesisinde yaptığı su ayak izi çalışmasında %71 oranında gri su ayak izi, %29 oranında ise mavi su ayak izinin hesaplandığını belirtmiş, yeşil su ayak izinin ihmal edilecek seviyede (%0,35) olduğunu vurgulamıştır. Erdem (2021) yaptığı çalışmada Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzaları için tarımsal su ayak izi hesaplamıştır. 65 tarımsal ürün baz alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda su ayak izi miktarları sırasıyla 6,58 Milyar m³ ile Ceyhan, 3,53 Milyar m³ Seyhan ve 2,51 Milyar m³ de Asi Havzasında saptanmıştır. Aldaya vd. (2010) yaptıkları çalışmada İspanya’da ulusal düzeyde endüstriyel ve tarımsal su ayak izini hesaplamışlardır. İspanya’daki su kıtlığının tarımsal üretimdeki su yönetiminin yanlış uygulanması ve su kaynaklarının verimsiz tahsisi sonucu oluştuğunu belirtmişlerdir. Kaya ve Mazlum (2025) yaptıkları çalışmada küresel ve ulusal ölçekte hayvansal gıda üretiminin su ayak izinin önemi değerlendirilmiştir. Sonuç olarak et üretiminin su ayak izinin süt ve yumurta üretiminde

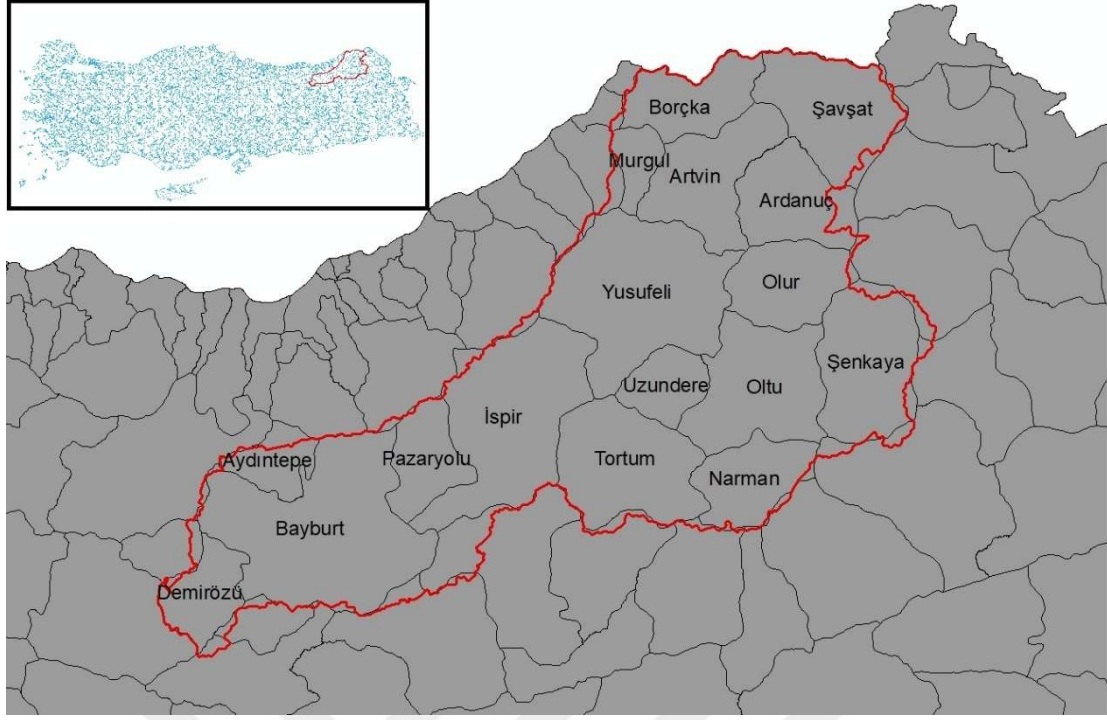
fazla olduğu, et üretimi içerisinde de sığır etinin en fazla su ayak izine sahip olduğu belirlenmiştir.



2.1 Materyal

2.1.1 Çalışma Alanı

Çoruh Havzası, Türkiye'nin kuzeydoğusunda, Karadeniz bölgesinin güneyinde ve Gürcistan'a bitişik bölgede yer alıp, yüzölçümü 20265,48 km²'dir. Yüzölçümüne göre havza, Türkiye'nin yaklaşık %2,61'ini kapsamaktadır. Havzanın ismini aldığı Çoruh Nehri, Mescit Dağları'ndan başlayıp Bayburt sınırlarındaki Kurt Çayı ile birleşerek Masat Çayı ismini alır. Bayburt il merkezinden sonra Büyükçay ile birleşir ve Çoruh ismini alır. Erzurum'dan geçtikten sonra Artvin'e geçer ve 50 m kotundan Türkiye sınırlarını terk ederek Gürcistan sınırları içerisinde Batum'dan denize dökülür. Havza büyüklüğü bakımından Türkiye'deki 25 havza içerisinde 10. sırada yer alır. Çoruh Havzasında il, ilçe, mahalle ve köyler dahil olmak üzere toplam 827 yerleşim birimi bulunmaktadır (TÜMAŞ, 2020). Aşağıda Şekil 2.1 'de Çoruh havzasının Türkiye genelindeki görünümü verilmiştir.



Şekil 2.1 Çoruh havzasının Türkiye genelindeki görünümü

Çoruh Havzası idari olarak Erzurum, Artvin, Bayburt, Kars, Erzincan, Gümüşhane, Rize, Ardahan ve Trabzon illerini içermektedir. Çoruh Havzası sınırları içerisinde, havzada bulunan alanları bakımından büyükten küçüğe sıralı olarak, Erzurum, Artvin, Bayburt, Kars, Erzincan, Gümüşhane, Rize, Ardahan ve Trabzon illeri bulunmaktadır. Havza içerisinde Artvin ilinin Ardanuç, Borçka, Merkez, Murgul, Yusufeli ve Şavşat ilçeleri; Bayburt ilinin Aydıntepe, Demirözü ve Merkez ilçeleri; Erzurum ilinin Aşkale, Aziziye, Ispir, Narman, Oltu, Olur, Pazaryolu, Şenkaya, Tortum, Uzundere ilçeleri; Erzincan ilinin Çayırlı ve Otlukbeli ilçeleri, Gümüşhane ilinin Köse ve Merkez ilçeleri ve bu ilçelere bağlı kırsal ve kentsel yerleşimler bulunmaktadır. Ardahan ilinin Göle, Hanak, Merkez ve Posof ilçeleri, Artvin ilinin Arhavi ve Hopa ilçeleri, Gümüşhane ilinin Kelkit ilçesi; Erzurum ilinin Horasan, Köprüköy ve Pasinler ilçeleri, Kars ilinin Sarıkamış ve Selim ilçeleri, Rize ilinin Ardeşen, Çamlıhemşin, Fındıklı ve İkizdere ilçeleri; Trabzon ilinin Çaykara ilçesi havza sınırlarına dahil olmasına rağmen bu ilçelere bağlı herhangi bir yerleşim yeri havza içerisinde bulunmamaktadır (SU PEK, 2023). Aşağıda Şekil 2.2’ de Çoruh havzası ilçe sınırları haritası verilmiştir.



Şekil 2.2 Çoruh havzası ilçe sınırları haritası

Aşağıdaki Tablo 2.1’de Çoruh Havzası içinde yer alan illerin toplam alanı, havza içerisinde kapladığı alan ve oranları yer almaktadır.

Tablo 2.1 Çoruh havzasında toprağı bulunan illerin toplam alanı ve havza içinde kısımlarının oranları (SU PEK, 2023)

İl Adı	Toplam Alan (ha)	İlin Havza İçerisindeki Alanı (ha)	İlin Havza İçindeki Oranı (%)
Bayburt	374.384,28	359.180,94	17,72
Artvin	740.047,35	667.182,35	32,92
Erzurum	2.502.134,21	957.668,37	47,26
Rize	383.023,86	7.045,74	0,35
Ardahan	494.168,94	6.624,76	0,33
Gümüşhane	666.437,43	7.903,79	0,39
Kars	1.022.193,26	11.833,81	0,58
Erzincan	1.180.376,70	8.968,64	0,44
Trabzon	462.970,63	139,48	0,01
TOPLAM	7.825.736,64	2.026.547,87	100,00

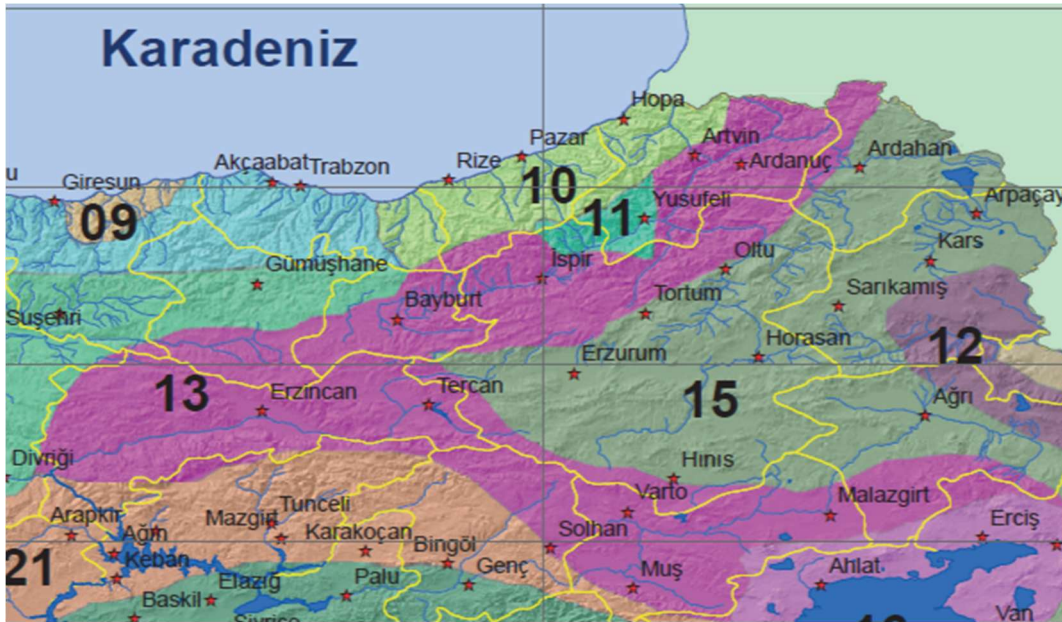
Yukarıdaki Tablo 2.1’den görüleceği üzere Bayburt, Artvin ve Erzurum illeri toplam havza yüzölçümünün %97,9’unu oluşturmaktadır. Bu nedenle araştırma kapsamı hem yağış alanı hem de yüzölçümleri bakımından bu üç il ile sınırlandırılacaktır.

2.1.2 İklim

Çoruh Havzası, doğu Karadeniz’in nemli iklimi ile Doğu Anadolu’nun karasal iklimi arasında bir geçiş bölgesidir. Karadeniz kıyı bölgesinden iç kesimlere geçildikçe yağış miktarı oldukça düşer ve daha sert kara iklimine geçilir (Koday ve Erhan, 2010; Zengin vd., 2009). Bu alt kuşaktan dolayı havza içinde hem nemli Karadeniz etkileri hem de kurak iç Anadolu özellikleri aynı anda yansır (Ünsal, 2006). Yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları serin ve yağışlıdır. En çok yağış ilkbahar mevsiminde görülmektedir (SU PEK, 2023).

Havzanın Güneyinde, Oltu ve Narman yörelerinde karasal iklim yaşanırken, kuzeyinde Borçka ve Muratlı bölgelerinde Doğu Karadeniz’in yumuşak ve yağışlı iklim özellikleri egemen olur (SU PEK, 2023).

Çoruh havzasında bulunan il ve ilçelerin içinde bulundukları iklim bölgelerinin harita üzerinde gösterimi Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Çoruh havzası iklim bölgeleri (TAGEM ve DSİ, 2017)

Çalışma alanı kapsamına alınan il ve ilçelerin konum bilgileri, yüz ölçümleri, nüfus bilgileri ve iklim bölgeleri aşağıdaki Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Çalışma kapsamındaki ilçelerin konum, nüfus ve iklim bölgeleri (URL-3 TÜİK, TAGEM ve DSİ, 2017)

İl-İlçe	Yüz ölçüm	Enlem	Boylam	Nüfus	İklim Bölgesi
Artvin-Ardanuç	958 km ²	41°07'43''K	42°03'33''D	11006	Bölge-13
Artvin-Borçka	805 km ²	41°21'49''K	41°40'45''D	22288	Bölge-10
Artvin-Merkez	1141 km ²	41°11'00''N	41°49'05''E	36071	Bölge-13
Artvin-Murgul	301 km ²	41°16'32''N	41°33'59''E	6331	Bölge-10
Artvin-Yusufeli	2261 km ²	40°48'38''N	41°31'37''E	18080	Bölge-11
Artvin-Şavşat	1316 km ²	41°14'36''N	42°21'50''E	16534	Bölge-13
Bayburt-Merkez	2705 km ²	40°15'35''N	40°13'40''E	69029	Bölge-13
Bayburt-Demirözü	594 km ²	40°09'50''N	39°53'33''E	8259	Bölge-13
Bayburt-Aydıntepe	446 km ²	40°23'27''N	40°09'02''E	6388	Bölge-23
Erzurum- Aşkale	1507 km ²	39°55'16''N	40°41'41''E	20700	Bölge-15
Erzurum-Aziziye	1529 km ²	39°57'N	41°06'E	70032	Bölge-15
Erzurum-İspir	2129 km ²	40°29'01''N	40°59'43''E	14765	Bölge-13
Erzurum-Narman	799 km ²	40°20'50''N	41°52'06''E	11536	Bölge-15
Erzurum-Oltu	1441 km ²	40°32'44''N	41°59'45''E	30374	Bölge-15
Erzurum-Olur	893 km ²	40°49'47''N	42°07'43''E	6220	Bölge-13
Erzurum-Pazaryolu	654 km ²	40°24'59''N	40°46'16''E	3786	Bölge-13
Erzurum-Şenkaya	1381 km ²	40°33'43''N	42°20'47''E	15412	Bölge-15
Erzurum-Tortum	1463 km ²	40°17'53''N	41°37'57''E	14787	Bölge-15
Erzurum-Uzundere	505 km ²	40°32'11''N	41°32'54''E	7664	Bölge-13

2.1.3 Tarım

Havzanın toplam alanı 2.026.548 hektardır. Bu alanın %15’ini oluşturan yaklaşık 305.000 hektarında tarım yapılmaktadır. Sulu tarım yapılan alan %4,25 iken kuru tarım

yapılan alan %9,94'tür. Havzada yetiştirilen en önemli ürünler hububat, fındık, çay, mısır, elma, armut, kiraz, ceviz, salatalıktır (TÜMAŞ,2020).

Havzadaki illerin tarım alanlarına bakıldığında Bayburt 119.980,29 ha, Erzurum 119.787,92 ha ve Artvin 60.027,72 hektarlık alanla sıralanmaktadır. Artvin'in tarım alanlarının %18'i fındık ve %13'ü çay alanlarıyla kaplıdır.

Bayburt'un yaklaşık üçte ikisi tarımla uğraşmaktadır. Bayburt ilinin arazi koşullarında tarımsal alan %60'lık paya sahiptir ve tarım il için önemli bir rol oynamaktadır.

Erzurum ilinin tarımsal işlenen alanın yaklaşık %69 unu tarla bitkileri %30 unu nadas alanı ve geriye kalan %1 den daha düşük bir alanı da sebze meyve ve süs bitkileri alanları oluşturmaktadır (TÜMAŞ, 2020).

Bu çalışmada Çoruh Havzasına ait tarımsal bitki çeşitleri TÜİK ve Tarım ve Orman Bakanlığı verilerinden derlenerek aşağıdaki Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Havzada yer alan tarımsal ürünlerin listesi

Armut	Çeltik	Hurma	Marul	Soğan
Arpa	Çilek	Ispanak	Maydanoz	Şeftali
Ayva	Domates	İncir	Mercimek	Triticale
Bal kabak,	Dut	Karpuz	Mısır	Turp
Barbunya	Elma	Kavun	Nohut	Üzüm
Bezelye	Erik	Kayısı	Pancar	Vişne
Biber	Fasulye	Kestane	Patates	Yonca
Buğday	Fındık	Kiraz	Patlıcan	Yulaf
Ceviz	Fiğ	Kivi	Pırasa	Zeytin
Çay	Havuç	Korunga	Sakız Kabak	Bakla
Çayır Otu	Hıyar	Lahana	Sarımsak	Taze fasulye

2.1.4 Hayvancılık

Çoruh havzasında hayvancılık önemli yer tutmaktadır. Büyükbaş hayvancılık, kümes hayvancılığı ve arıcılık olarak bu faaliyetleri sınıflandırmak mümkündür. Bayburt ilinde %23,2'lik oranla hayvancılık Türkiye genelinin üstündedir. Erzurum ili ise büyükbaş hayvan sayısı ile Türkiye'de en önde gelen illerdendir. Artvin ilinde hayvancılık diğer iki ile göre nispeten az olsa da önemli yer tutmaktadır (TÜMAŞ, 2020). Çoruh

Havzasındaki hayvancılık verilerinin il ve ilçelere göre dağılımı aşağıdaki Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4 Çoruh havzası hayvancılık verileri ortalamaları (adet) (2015-2024) (TÜİK)

İller	İlçeler	Koyun	Keçi	Sığır	Kümes hayvanı
Artvin	Ardanuç	63068	1779.1	11087.5	2707
Artvin	Borçka	6365.4	1522.2	6377.3	2030.6
Artvin	Artvin	15135.1	1567.1	5940.7	1915.3
Artvin	Murgul	259.1	466.4	1887	2469.7
Artvin	Şavşat	28797	686.1	17903.9	1577.7
Artvin	Yusufeli	7072.1	6570.5	13006	3078.8
Bayburt	Aydıntepe	7957.6	829.5	8877.9	6337.4
Bayburt	Demirözü	7396	1531	17888.8	3204.7
Bayburt	Bayburt	35090.3	3771	56641.1	37849.7
Erzurum	İspir	7576.6	4248.5	21484.5	7858
Erzurum	Narman	5048.7	800.8	35655.6	14851.9
Erzurum	Oltu	18273	4561.5	20417.8	9751.9
Erzurum	Olur	10977.5	1817.2	14858.4	4001.5
Erzurum	Pazaryolu	9667.8	122.9	5430.9	2221.6
Erzurum	Şenkaya	43535.3	4933	56288	11736.9
Erzurum	Tortum	12092.2	1209.1	29695.8	6406.4
Erzurum	Uzundere	7003.1	9344.1	2757.9	958.8
Toplam		285314.8	45760	326199.1	118957.9

2.1.5 Yağış

Çoruh Havzası, topografik ve iklimik özellikleri nedeniyle yağış dağılımında belirgin mekânsal farklılıklar gösteren bir bölgedir. Havzanın kuzey kesimleri Karadeniz'in nemli iklim kuşağına yakın olduğundan yıllık yağış miktarları oldukça yüksektir ve bazı bölgelerde 2000 mm'ye kadar çıkabilmektedir (TÜMAŞ, 2020). Buna karşılık, güney kesimlere ve iç kesimlere doğru gidildikçe yağış miktarı hızlı bir şekilde azalmakta, özellikle Bayburt ve çevresinde yıllık ortalama yağış 400–450 mm seviyelerine düşmektedir (Dadaş & Çiçek, 2018).

Yağış rejimi mevsimsel olarak da farklılık göstermektedir. Havzada en yağışlı dönem ilkbahar mevsimidir; bu dönemde toplam yağışın yaklaşık %30'u düşmektedir (Erdem, 2021). Kış mevsimi ikinci yağışlı dönem olup, yaz ve sonbahar mevsimleri daha kurak karakterdedir (Tarım ve Orman Bakanlığı [TOB], 2020). Özellikle yaz aylarında nemli hava kütlelerinin etkisinin azalması ve sıcaklıkların yükselmesi, buharlaşma oranlarını artırarak su kaynakları üzerinde baskı oluşturmaktadır (Tuncay & Yüceer, 2022).

Topografya, havzanın yağış karakteristiğini şekillendiren önemli bir faktördür. Karadeniz’e bakan kuzey yamaçlar, nemli hava kütlelerinin yükselmesine ve orografik yağış oluşumuna neden olurken, bu yamaçların gerisindeki gölgede kalan iç bölgeler nispeten kurak koşullara sahiptir (Yıldırım & Aksu, 2023). Özellikle İspir, Pazaryolu ve Şenkaya ilçelerinde yıllık ortalama yağış miktarı 450–600 mm arasında değişirken, Artvin Merkez ve Borçka ilçelerinde bu miktar 800–1200 mm aralığına ulaşmaktadır (ÇŞB, 2019).

Yağışların mevsimsel dağılımı ve mekânsal farklılığı, Çoruh Havzası’nın tarımsal faaliyetleri ve su yönetimi stratejileri üzerinde doğrudan etkilidir. Örneğin, ilkbahar aylarında düşen yüksek yağış miktarı tarımsal üretimde su ihtiyacını azaltırken, yaz aylarındaki kuraklık nedeniyle sulama ihtiyacı artmaktadır (TOB, 2020). Ayrıca, iklim değişikliği senaryoları, bölgede yağış miktarlarında %10–15 oranında artış olabileceğini, ancak yağışların mevsimsel dağılımında ve şiddetinde değişiklikler yaşanacağını göstermektedir (Tuncay & Yüceer, 2022).

2.1.6 Veri

2.1.6.1 Evapotranspirasyon ve Bitki Su Tüketimi

Evapotranspirasyon kara, deniz ve bitki örtüsü yüzeylerindeki sıvı haldeki suyun su buharı şeklinde atmosfere verilmesidir (Abdullah 2022). Literatürde evapotranspirasyon olarak geçen bitki su tüketimi ET şeklinde kısaltılır ve doğrudan toprak ve bitki yüzeyindeki buharlaşmayı ifade eder. Evaporasyon suyun buharlaşarak atmosfere karışması, transpirasyon ise bitki yüzeyindeki suyun terleme yoluyla atmosfere karışmasıdır. Bitkiler, kökleri aracılığıyla aldıkları suyun yalnızca sınırlı bir kısmını metabolik işlevlerinde kullanmakta, geri kalan büyük miktarı ise terleme süreciyle atmosfere bırakmaktadır (TAGEM ve DSİ, 2017). Evaporasyon ve transpirasyon aynı anda gerçekleştiğinden atmosfere karışan su evapotranspirasyon şeklinde ele alınır. ET, hesaplamalarda mm cinsinden ifade edilmektedir (Avanoz, 2020).

Evapotranspirasyonu etkileyen birçok faktör bulunmaktadır (İraz, 2021). ET’nin en yakın değerde hesaplanabilmesi için referans evapotranspirasyon (ET_0) kavramı kullanılmaktadır. ET’yi etkileyen faktörlerin çeşitli şartlar altında değişkenlik göstermesi bu ifadenin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. (Karaca vd. 2017) Aşağıda Tablo 2.5’te bitki su tüketimini etkileyen faktörler belirtilmiştir.

Tablo 2.5 Bitki su tüketimini etkileyen faktörler

İklim	Toprak	Bitki
Sıcaklık	Nem	Bitki cinsi
Rüzgâr	Bitki örtüsü	Gelişme evresi
Bağıl Nem	İşlenme durumu	Büyüme mevsimi
Solar Radyasyon		
Güneşlenme süresi		
Gündüz saatleri		

Referans evapotranspirasyon (ET_o), normal şartlar altında ortalama 12cm boyunda ve tam örtülmüş bir bitkinin su tüketimidir (TAGEM ve DSİ, 2017). ET_o tahmininde literatürde Penman-Monteith metodu yaygın olarak kullanılmaktadır (Şarлак ve Bağçacı, 2020). ET_o'ı sıcaklık, yağış ve rüzgâr, bağıl nem ve güneşlenme süresi gibi iklim parametreleri etkilemektedir (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Bitki evapotranspirasyonu (ET_c), bitkinin besin açısından eksiklik yaşamadığı, hastalık ve su stresi gibi olumsuzlukların bulunmadığı standart koşullar altında ihtiyaç duyduğu su miktarını göstermektedir (TAGEM ve DSİ, 2017).

Bir bitkinin evapotranspirasyonu için bitki katsayısı (K_c) gereklidir. Bu kavram ilk kez 1968 yılında Jensen tarafından ortaya atılmış ve daha sonra geliştirilmiştir. İklim, bitki çeşitliliği ve bitkinin büyümesi K_c 'yi etkileyen faktörlerdir. (İraz 2021)

Bitki katsayısı (K_c), bitki evapotranspirasyonu (ET_c) bölü referans evapotranspirasyonu (ET_o) olarak ifade edilir.

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (3)$$

K_c değerleri bitki gelişimlerine göre gün be gün değişebilmektedir (İraz 2021). Bitkinin yaşamı boyunca, boyu ve yaprak büyüklüğü evapotranspirasyon miktarını değiştirdiğinden dolayı K_c değerleri de gelişim dönemi boyunca farklılık

göstermektedir (Avanoz 2020). Bitki su tüketiminde hesaplamaları kolaylaştırmak için bitkinin 4 farklı gelişme dönemi için K_c değerleri hesaplanmıştır (TAGEM ve DSİ, 2017).

Başlangıç döneminde yaprağı küçük olup, topraktan buharlaşma bulunmaktadır. (Chapagain ve Hoekstra, 2004). K_c değerinin bu evrede sabit olduğu belirtilmektedir.

Gelişme döneminde, bitkinin yeşil kısmı hızla geliştiği için K_c değeri zemin örtüsünün boyuna karşılık gelir. K_c değerinin bu evrede arttığı varsayılmaktadır.

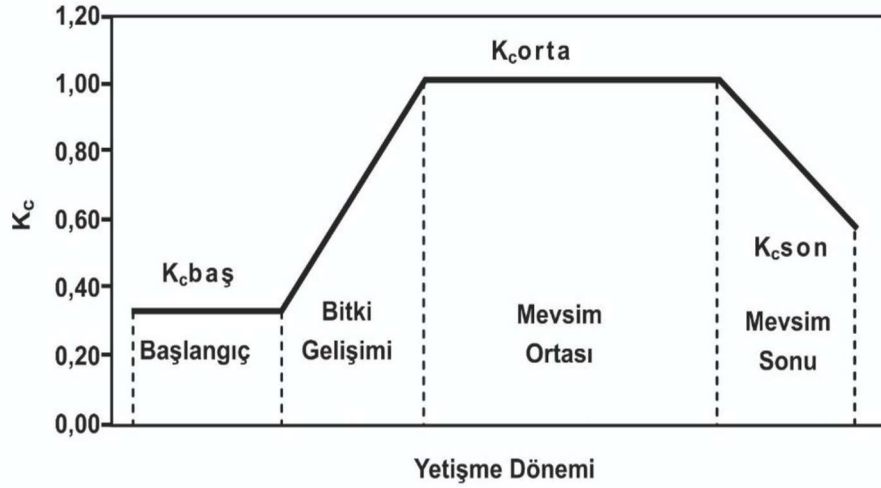
Orta dönem, olgunlaşıp, çiçek açmaya ve meyve vermeye başladığı dönem ile yaprakların sararmaya başladığı dönem arasını kapsamaktadır (TAGEM ve DSİ, 2017). K_c değeri bu evrede sabittir (İraz 2021).

Son dönem, bitkinin yaprak dökmeye başladığı ve nerdeyse yeşil yaprak kalmadığı dönemdir. Sob dönem, hasat zamanına ya da tam yaşlanma veresine kadar devam etmektedir ve bu dönemde K_c 'nin azaldığı varsayılmaktadır. Aşağıdaki Tablo 2.6'da bitki dönem ve katsayıları özetlenmiştir.

Tablo 2.6 Bitki dönemlerine göre K_c değişimleri.

Başlangıç Dönemi	Yaprak tomurcuklarının açmasıyla yaprakların oluşumuna kadar geçen dönemdir. Bu dönemde K_c katsayısı sabit kabul edilir.
Gelişme Dönemi	Bitkinin yeşil kısımlarının hızla geliştiği dönemdir. Bu dönemde K_c katsayısının her gün arttığı kabul edilir.
Orta Dönem	Çiçeklenme, olgunlaşma, meyve verme dönemidir. Bu dönemde K_c katsayısı sabit kabul edilir.
Son Dönem	Orta dönemle hasat arasındaki dönemdir. Bu dönemde K_c katsayısının azaldığı dönemdir.

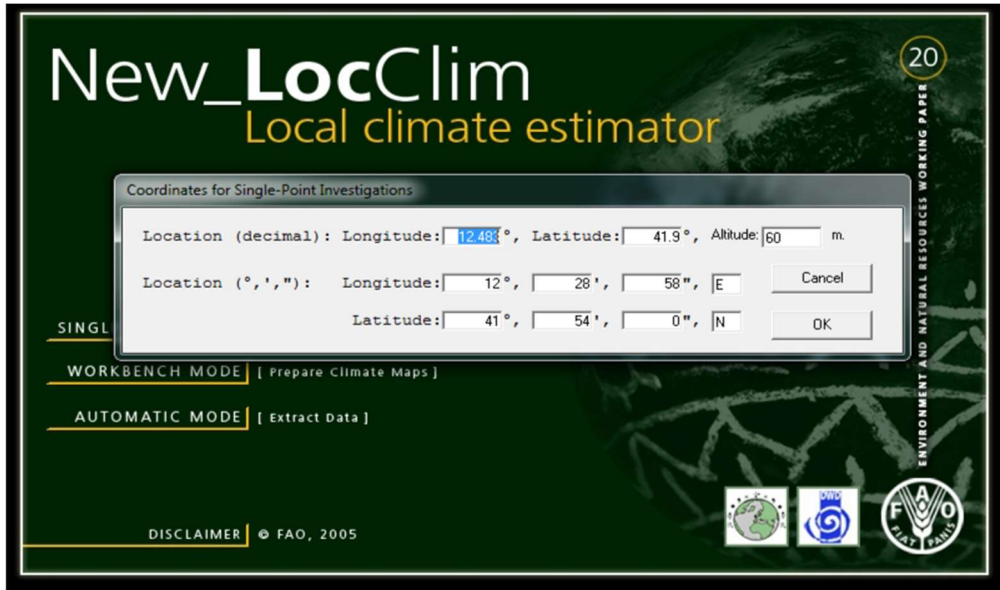
Aşağıda Şekil 2.4'te bitki katsayısının gelişim dönemlerindeki değişimi grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Bitki katsayısının gelişim dönemindeki değişimleri (İraz, 2021)

Referans evapotranspirasyonun hesaplanabilmesi için sıcaklık, nem, rüzgâr hızı ve güneşlenme sürelerine ilişkin aylık veriler kullanılmıştır. Bu parametreler, Tablo 3'te koordinat ve rakım bilgileri sunulan belirli ilçe merkezleri esas alınarak New_LocClim programı üzerinden alınmıştır. New_LocClim, FAO tarafından gözlem verilerinin olmadığı konumlardaki ortalama iklim şartlarını analiz eden bir yazılım ve veri tabanıdır; diğer bir deyişle yerel iklim tahmincisidir (Erdem, 2021).

New_LocClim yazılımında yer alan tek nokta metodu yoluyla iklimsel değişkenleri kullanarak iklim verilerinin olmadığı noktalar için enterpolasyon tekniği uygulanmaktadır (Erdem 2021). Mevcut çalışma kapsamında Çoruh Havzası sınırları içerisindeki çalışma alanı dahilinde yer alan ilçelerin New_LocClim yazılımından enlem, boylam ve rakım değerleri kullanılarak CROPWAT yazılımında kullanabileceğimiz referans evapotranspirasyon değerleri elde edilmiştir. Aşağıda New_LocClim yazılımının ara yüzü şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 New_LocClim ara yüzü

Cropwat yazılımında 4 adımda veri girilerek sonuçta bitki türü için ET_c ve efektif yağış değerleri elde edilir. İlk adımda “Climate” sekmesine New_LocClim yazılımından elde edilen sıcaklık vd. veriler girilir. İkinci adımda “rain” sekmesine alansal yağış değerleri girilir. Üçüncü adımda bitki türüne ve iklim bölgesine göre rehberden alınan bitki katsayıları, ekim ve hasat tarihleri, bitki dönem uzunlukları, kök bilgileri vd. veriler girilir. Son olarak ise bölgenin toprak özellikleri “soil” sekmesinde girilir. Cropwat programının “CWR” sekmesiyle gerekli olan bitki evapotranspirasyon (ET_c) ve efektif yağış değerlerine ulaşılır. Aşağıda şekil 2.6’da CROPWAT yazılımının ara yüzü gösterilmiştir.

Month	Decade	Stage	Kc	ETo	ETc	ETc	Eff rain	In. Req.
Jul	3	Init	0.55	2.05	10.3	5.6	4.1	
Aug	1	Init	0.55	2.03	20.3	11.9	8.4	
Aug	2	Init	0.55	2.00	20.0	11.3	8.7	
Aug	3	Deve	0.58	1.96	21.5	12.0	9.5	
Sep	1	Deve	0.73	2.28	22.8	12.7	10.1	
Sep	2	Deve	0.90	2.53	25.3	13.2	12.2	
Sep	3	Mid	1.05	2.60	26.0	14.5	11.6	
Oct	1	Mid	1.11	2.34	23.4	16.2	7.3	
Oct	2	Mid	1.11	1.94	19.4	17.6	1.8	
Oct	3	Mid	1.11	1.62	17.6	17.5	0.3	
Nov	1	Mid	1.11	1.29	12.9	17.4	0.0	
Nov	2	Late	1.11	0.97	9.7	17.5	0.0	
Nov	3	Late	1.00	0.75	7.5	16.8	0.0	
Dec	1	Late	0.85	0.53	5.3	15.9	0.0	
Dec	2	Late	0.74	0.36	2.2	9.1	0.0	
					244.5	209.1	74.0	

Şekil 2.6 CROPWAT ara yüzü

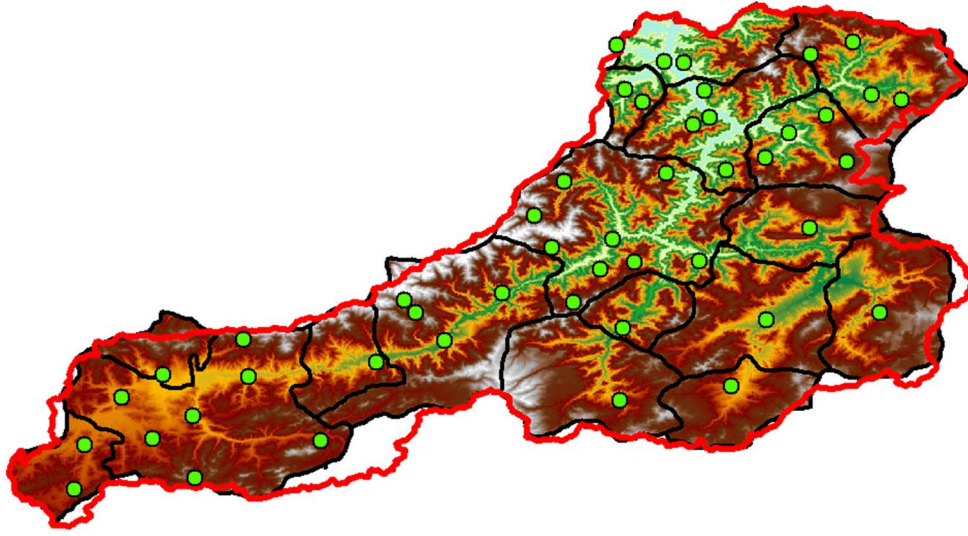
Mevcut çalışmada 2015-2024 yılları arasındaki aylık noktasal yağış ortalamaları ve diğer iklimsel veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir.

Aşağıdaki Tablo 2.7’de ilçelere göre aylık yağış ortalamaları verilmiştir.

Tablo 2.7 İlçelere göre aylık yağış ortalamaları (mm)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Art-Ardanuç	46.01	56.67	71.43	42.66	76.76	59.74	42.09	37.49	43.22	56.52	57.03	49.80
Art-Merkez	61.63	63.53	76.45	39.65	68.62	51.02	49.47	33.37	48.93	61.66	70.01	81.10
By-Aydıntepe	58.35	51.52	51.84	45.24	71.91	43.41	20.70	24.84	29.97	31.23	27.43	29.42
By-Merkez	26.49	22.35	62.86	49.87	86.21	50.46	30.92	17.89	23.37	38.66	36.23	56.58
Art-Borçka	225.28	217.90	116.57	50.57	77.24	88.75	93.41	76.85	130.06	210.12	177.88	175.65
By-Demirözü	20.78	17.39	39.18	38.04	78.78	44.25	33.83	22.20	23.84	27.85	25.52	24.54
Erz-Ispir	29.97	26.23	55.86	36.87	64.53	44.46	38.60	25.13	25.17	35.33	39.65	48.15
Art-Murgul	148.31	132.74	80.34	46.13	86.65	72.45	83.02	59.40	97.33	155.69	142.74	137.31
Erz-Narman	10.40	11.88	31.18	32.19	87.96	51.78	38.83	31.09	26.68	41.04	23.66	12.70
Erz-Oltu	9.19	8.48	22.31	30.84	59.98	34.57	29.06	27.70	20.40	27.01	26.43	14.57
Erz-Olur	17.12	13.20	34.77	37.09	72.57	56.56	39.38	31.51	24.71	35.75	32.37	23.06
Erz-Pazaryolu	33.76	26.02	58.39	45.62	83.37	50.52	24.86	30.66	27.48	37.51	38.26	37.44
Art-Şavşat	69.55	96.66	83.79	54.65	99.27	99.96	71.22	64.74	74.12	87.06	76.00	110.75
Erz-Şenkaya	20.64	20.51	44.69	43.47	86.57	58.23	47.56	30.94	31.33	39.03	32.20	20.46
Erz-Tortum	12.01	18.16	45.15	30.03	73.75	33.16	19.31	10.20	20.00	32.50	31.42	18.60
Erz-Uzundere	6.91	7.12	28.49	27.87	58.78	38.06	19.32	19.00	16.95	26.26	27.86	16.41
Art-Yusufeli	45.38	39.93	58.79	39.32	73.41	54.60	43.84	33.31	32.76	40.00	43.13	78.59

Aşağıda Şekil 2.7’de ise havza sınırları içerisinde yer alan meteoroloji gözlem istasyonları noktasal olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Çoruh havzası noktasal gözlem istasyonları

Ürün ekim ve hasat tarihleri, bitki gelişim periyotları, farklı süreçlerde Kc değerleri ve Çoruh Havzası'nda yetiştirilen bitkilerin yetiştiği bölgeler TAGEM ve DSİ tarafından yayımlanan Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketimi Rehberi'nden (TAGEM ve DSİ, 2017) alınmıştır.

Havzadaki üretim miktarı, ekimi yapılan alan gibi veriler Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) alınmıştır. Mevcut çalışmada 55 adet farklı çeşit ürün incelenmiştir ve hesaplamalara dahil edilmiştir. Tarımsal üretimin gri su ayak izini hesaplamak için gereken azot miktarı verileri ise Tarım ve Orman Bakanlığının hazırladığı gübreleme rehberinden alınmıştır (BÜGEM, 2018). Hayvansal su ayak izinin hesaplanması için gerekli hayvan sayıları yıllık verileri (büyükbaş, küçükbaş, kümes hayvanları) TÜİK veri tabanından elde edilmiştir. Hayvan kategorilerinin her birinin yıllık toplam su ayak izi miktarlarının belirlenmiş olduğu ulusal istatistik verilerine literatürden ulaşılmıştır (Mekonnen ve Hoekstra 2012). Evsel ve endüstriyel su tüketim verileri TÜİK'ten alınmış, bu iki türdeki su tüketimi ayak izi hesaplamalarında kişi başına tüketilen su miktarı baz alınmıştır. Havzada yer alan ilçelerin nüfus verileri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

2.2 Yöntem

Herhangi bir alanın (ülke, bölge, havza, il, ilçe vb) su ayak izi hesaplaması adımları aşağıdaki sıralamaya göre yapılır.

Bitkinin su tüketimi, yetiştirildiği bölgenin iklimsel karakteristiklerine göre farklılık göstereceğinden, öncelikle o bölgedeki yağış ve referans evapotranspirasyon (ET_0) verilerinin bilinmesi gerekir.

ET_0 değerinin hesaplanmasında kullanılan en doğru ve güvenilir yöntem Penman-Monteith yöntemidir (Erdem, 2021). Penman-Monteith yöntemi birçok (bitki yüzeyindeki net radyasyon, zemin ısı değişim yoğunluğu, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, doymuş buhar basıncı, gerçek buhar basıncı, basınç eğrisi eğimi, referans bitki türü ve hesaplandığı süre için sabit pay katsayısı, sabit payda katsayısı, psikometrik sabiti) meteorolojik veriyi kullanarak referans evapotranspirasyon değerlerini hesaplar.

Enterpolasyon, herhangi bir alan ya da bölgede bilinen noktasal değerler kullanılarak belirli olmayan noktaların değerlerini belirlemeye denir. ArcGis yazılımında enterpolasyon için birçok teknik mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılan ve en az hata payı olan enterpolasyon tekniği Kriging tekniğidir. Kriging tekniği değeri bilinen noktaların mesafeye bağlı olarak bilinmeyen noktaları tahmin eden bir tekniktir (Jhonston vd. 2001)

Mevcut çalışmada alansal olarak elde edilen değerler, yine TAGEM'den alınan bitki K_c verileri, bölgenin toprak özellikleri, bitki yetiştirme dönem uzunlukları FAO tarafından geliştirilen Cropwat yazılımına işlenerek ürünün yetiştirildiği alana göre bitki evapotranspirasyonu (ET_c) hesaplanır.

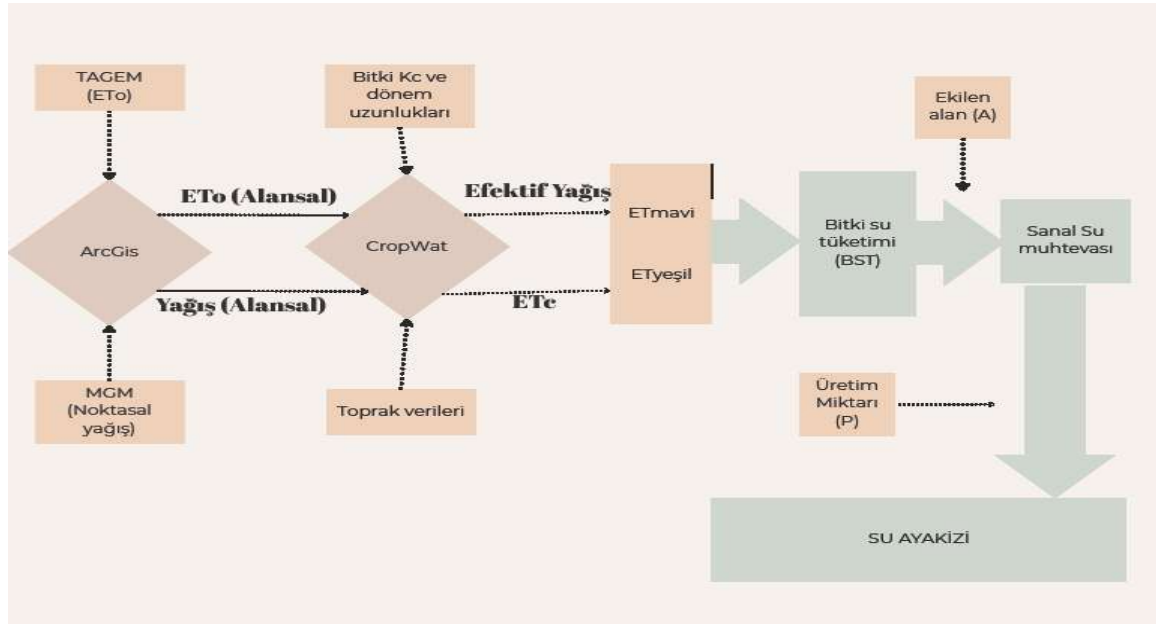
Cropwat yazılımı, 1992 yılında FAO arazi ve su geliştirme bölümü tarafından geliştirilmiştir. Bu yazılım bitki desenlerinin su ihtiyacını bitki desenine toprak ve iklim verilerine bağlı olarak tahmin etmek için oluşturulan bir yazılımdır (Nazeer, 2009).

2.2.1 Su Ayak İzi Hesaplama

Su ayak izini hesaplamak için literatürde birkaç metodoloji mevcuttur. Ana yaklaşım Hoekstra ve Hung'ın (2005) kullandığı CROPWAT, bir diğer hesaplama yöntemi AquaCrop (Chukalla vd, 2015; Zhuo vd. 2016), Çevre Politikası Entegre İklim (EPIC) modeli (Siebert ve Doll, 2010) ve GIS tabanlı EPIC modeli (GEPIC) (Liu, 2009) gibi ürün su verimliliği modelleri veya hidrolojik modeller kullanılmaktadır. Ayrıca, birkaç

çalışmada uzaktan algılama (Romaguera vd, 2010) ve saha ölçümleri (Xinchun vd. 2018) kullanılmıştır.

Belli bir havzanın su ayak izi o havzadaki tarımsal, hayvansal, evsel ve endüstriyel su ayak izlerinin toplamıdır. Mevcut çalışmada tarımsal su ayak izinin analizinde Chapagain ve Hoekstra'nın 2004'te geliştirdikleri su ayak izi metodu kullanılmıştır. Aşağıdaki şekil 2.8'de su ayak izi metodu hesaplama akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Su ayak izi hesaplama adımları akış diyagramı

Su ayak izi bileşenlerinin içinde en büyük orana sahip bileşen tarımsal su ayak izidir. Tarımsal su ayak izi, bitkilerin o bölgedeki yağışlardan aldıkları su miktarına (yeşil) ek olarak yağışların yeterli olmadığı durumda da yüzey veya yeraltı sularından yapılması gereken takviye miktarı (mavi) olarak iki basamakta hesaplanır. Mavi ve yeşil su ayak izi hesaplamanın ilk adımı yukarıdaki akış diyagramından görüldüğü gibi Cropwat programından alınan efektif yağış miktarı (P_{eff}) ve bitki evapotranspirasyonu (ET_c)'na göre yüzey ve yeraltı sularından meydana gelen evapotranspirasyon değerini (ET_{mavi})(mm) ve yağmur sularında meydana gelen evapotranspirasyon değerini ($ET_{yeşil}$)(mm) hesaplamakla başlar (Muratoğlu, 2020; İraz, 2021; Chapagain ve Hoekstra, 2004; Avanoz, 2020 ve Erdem 2021).

$$ET_{mavi} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \quad (4)$$

$$ET_{yeşil} = \min(ET_c, P_{eff}) \quad (5)$$

Bitki su tüketim miktarı (BST, m³/ha), bitkinin mavi su tüketimi ve bitkinin yeşil su tüketimi olarak iki kısımda aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır. Toplamları da toplam bitki su tüketimi olarak ifade edilir.

$$BST_{\text{mavi}} = 10 \sum ET_{\text{mavi}} \quad (6)$$

$$BST_{\text{yeşil}} = 10 \sum ET_{\text{yeşil}} \quad (7)$$

$$BST_{\text{toplam}} = BST_{\text{mavi}} + BST_{\text{yeşil}} \quad (8)$$

Herhangi bir ürün için harcanan ve işletilen toplam su miktarı sanal su muhtevası (SSM) (m³/ton) olarak tanımlanmıştır (Muratoğlu, 2020). Sanal su muhtevası aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi bitki su tüketim miktarının (BST) (m³/ha) bitki verimine (V) (ton/ha) bölünmesiyle elde edilir.

$$SSM_{\text{mavi}} = BST_{\text{mavi}} / V \quad (9)$$

$$SSM_{\text{yeşil}} = BST_{\text{yeşil}} / V \quad (10)$$

$$SSM_{\text{toplam}} = SSM_{\text{mavi}} + SSM_{\text{yeşil}} \quad (11)$$

Ürünün mavi ve yeşil su ayak izi (SA)(m³); sanal su muhtevası ile üretim miktarının (P) (ton) çarpımına eşittir.

$$SA_{\text{mavi+yeşil}} = \sum SSM_i \times P_i \quad (12)$$

Su ayak izinin son bileşeni olan gri su ayak izinin (SA_{gri}) hesaplanması için tarımsal aktiviteler sonucu suya direkt eklenen kirlетici yükünün (L), maksimum nitrat konsantrasyonu (C_{max}) ve doğal nitrat konsantrasyonlarının (C_{nat}) bilinmesi gerekir. Gri su ayak izi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır (İraz, 2021).

$$SA_{gri} = L(kg) / (C_{max} - C_{nat}) (kg/m^3) \quad (13)$$

Bu çalışmada, Dünya Sağlık Örgütü (WHO,2011), AB İçme Suyu Direktifi (EU, 2006) ve Türkiye Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB, 2020) temel alınarak C_{max} 11,3 mg/l olarak belirlenmiştir. C_{nat} Mekonnen vd. (2016) tarafından önerildiği gibi 1,5 mg/l olarak belirlenmiştir (Muratoğlu ve Demir 2022).

Hayvansal üretimin su ayak izi hesaplaması, literatürdeki (Mekonnen ve Hoekstra, 2012) dünya geneli için ülkeler bazında üretilmiş hayvan kategorilerine göre ortalama yıllık su ayak izi katsayıları ile mevcut çalışma için TÜİK'ten alınan hayvan istatistiklerinden türetilmiştir.

$$SA_{hayvansal} = n_i \times m_i (kg) \times k_i (m^3/ton) / 1000 \quad (14)$$

Burada n_i , ortalama hayvan sayısını; m_i hayvan türüne göre ortalama ağırlığı; k_i hayvan türüne göre su ayak izi katsayısını belirtmektedir.

Evsel ve endüstriyel su ayak izi hesaplaması nüfus ve kişi başına düşen su tüketimi üzerinden hesaplanır.

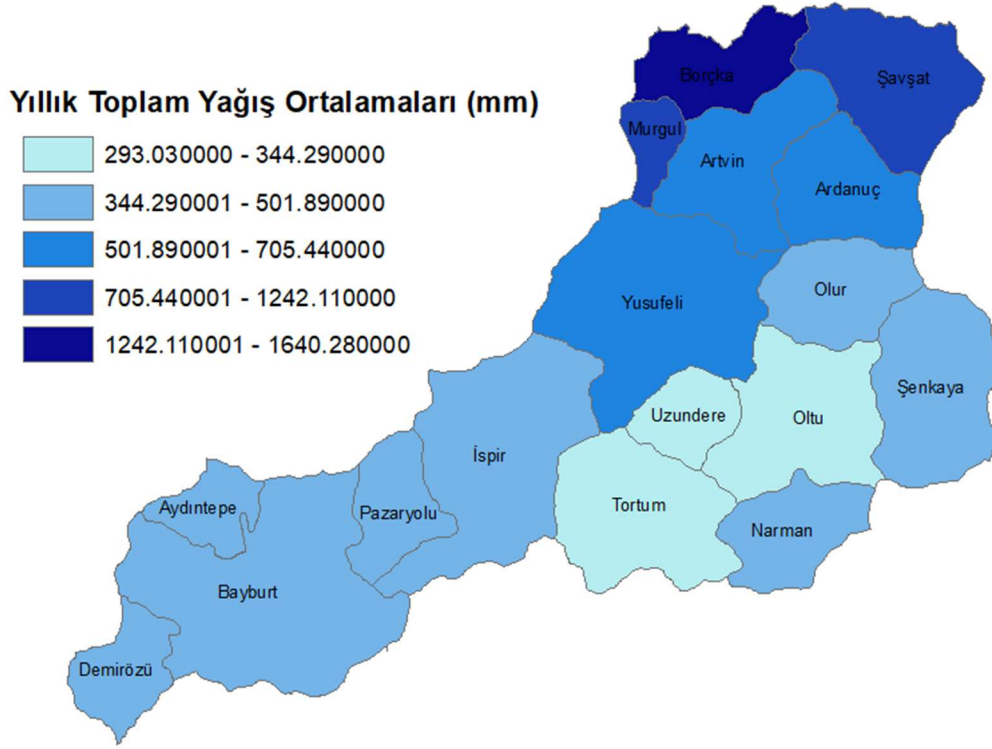
$$SA_{endüstriyel} = KBS (lt/gün) \times N \times 365 / 1000 \quad (15)$$

Burada KBS, kişi başı günlük su tüketim miktarını; N ise ilçe nüfusunu belirtmektedir.

Çoruh Havzası kapsamında yer alan çalışma alanı dahilindeki il ve ilçelerin endüstriyel su ayak izi hesaplamasında kullanılacak sanayi kuruluşlarının su tüketim verileri literatürde ve açık kaynaklarda ayrıntılı bir biçimde yer almadığından ve evsel ve endüstriyel su ayak izi miktarının toplam su ayak izi içerisindeki oranı oldukça düşük olduğundan (Muratoğlu, 2020) bu çalışmada kapsam dışı bırakılmıştır. Evsel ve endüstriyel su ayak izi hesaplaması sadece evsel su ayak izi miktarınca değerlendirilecektir.

3.1. Alansal Evapotranspirasyon Tahmini

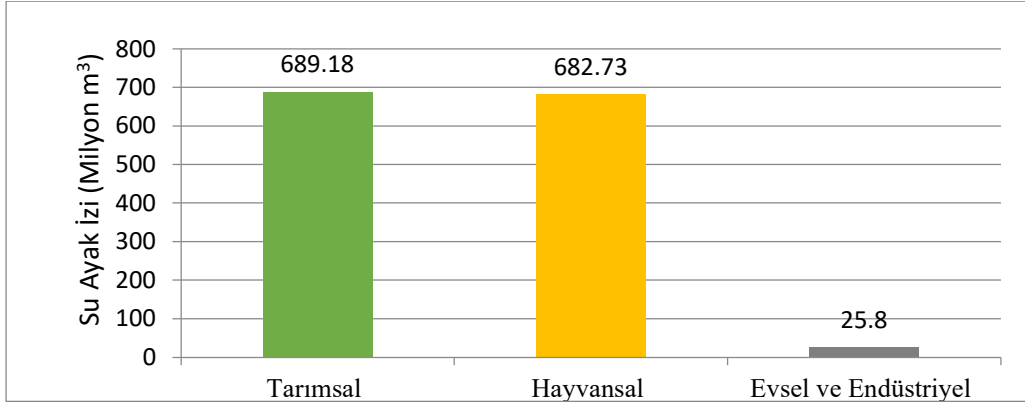
Su ayak izi çalışmalarında yağış miktarının alansal olarak hesaplanması gerekir. Literatürde alansal hesaplamalar ArcGis yazılımındaki enterpolasyon tekniklerinden genellikle Kriging metodu ile yapılmaktadır (Erdem 2021, Avanoz 2020). Enterpolasyon tekniklerinin uygulanabilmesi için her bir ilçede en az 3 veya 4 nokta verisine ihtiyaç vardır. Sadece tek bir nokta verisi ile Kriging (veya IDW, TIN gibi diğer enterpolasyon yöntemleri) kullanılamamaktadır. Çünkü bu yöntemler birden fazla nokta arasında mekânsal ilişki kurarak yüzey üretir. Mevcut çalışma kapsamında MGM’den alınan ölçüm noktaları verileri her ilçede yeterli sayıda değildir. Bazı ilçelerde sadece tek bir noktada ölçüm istasyonu mevcuttur. Çalışma alanının bu kısıtı nedeniyle ölçüm istasyonu yağış verilerinin ilçeler bazında aylık ortalamaları hesaplamalarda kullanılmıştır. Havzadaki ilçelerin yıllık toplam yağış miktarları aşağıda Şekil 3.1’deki harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Havzadaki ilçelerin yıllık toplam yağış miktarları

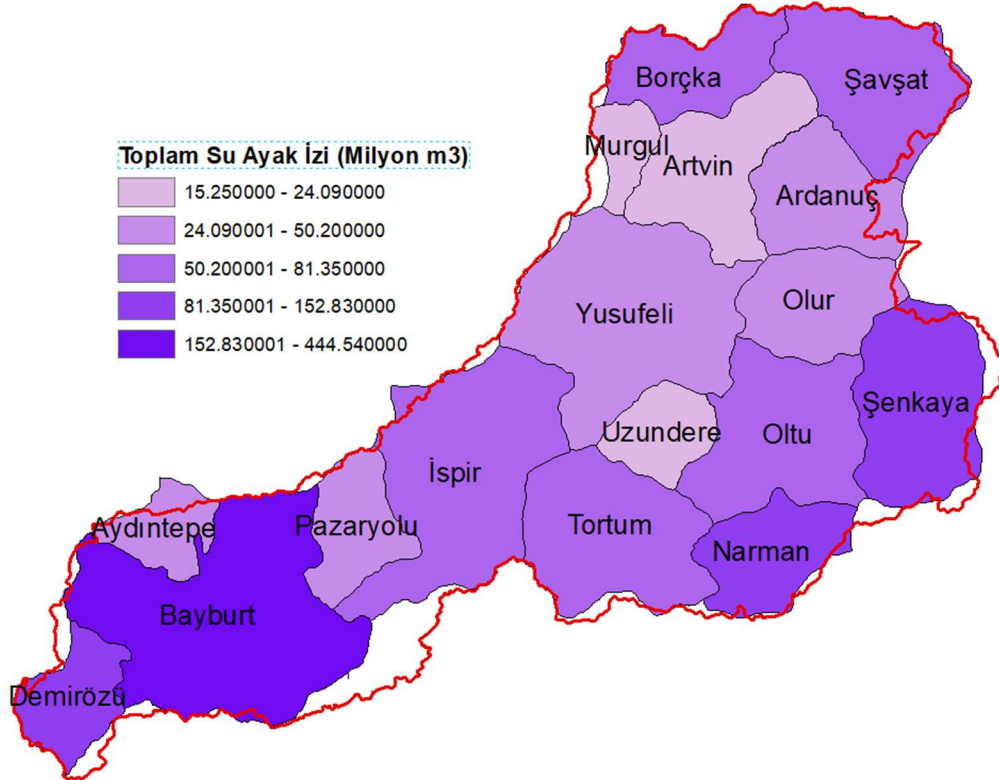
3.2. Çoruh Havzası Toplam Su Ayak İzi

Çoruh havzası toplam su ayak izi 2015-2024 yılları için ortalama yıllık yaklaşık 1,4 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Tarımsal su ayak izi yaklaşık 689 milyon m³, hayvansal su ayak izi 682 milyon m³ ve evsel su ayak izi de 25 milyon m³ şeklinde analiz edilmiştir. Çoruh Havzası'nda tarım ve hayvancılık faaliyetleri su kaynaklarının en önemli tüketim kanallarıdır. Özellikle hayvancılık faaliyetleri etkin bir rol oynar. Havzanın çalışma kapsamındaki ilçelerinin tarımsal faaliyetleri havzanın arazi koşulları ve topoğrafik yapısı nedeniyle diğer havzalara göre nispeten kısıtlıdır ve hayvansal faaliyetler ön plana çıkmıştır. Bu nedenle tarımsal su ayak izi ve hayvansal su ayak izi değerleri birbirine oldukça yakın tespit edilmiştir. Aşağıda şekil 3.2'de havzanın toplam su ayak izi kategoriler halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Havzanın tarımsal, hayvansal, evsel su ayak izi miktarları (Milyon m³)

Çalışma alanı içinde yer alan ilçelerin toplam su ayak izi miktarları incelendiğinde en yüksek su ayak izine sahip ilçenin Bayburt Merkez ilçesine ait olduğu saptanmıştır. Onu Erzurum Şenkaya ilçesi takip etmektedir. Toplam su ayak izinin %31,80 ini Bayburt Merkez ilçesi oluştururken, Erzurum Şenkaya ilçesinin oranı %10,93 şeklinde analiz edilmiştir. Havzanın geneline bakıldığında havzanın güneyinde kuzey bölgesine göre toplam su ayak izi miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Aşağıda havzanın toplam su ayak izi miktarları harita üzerinde Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



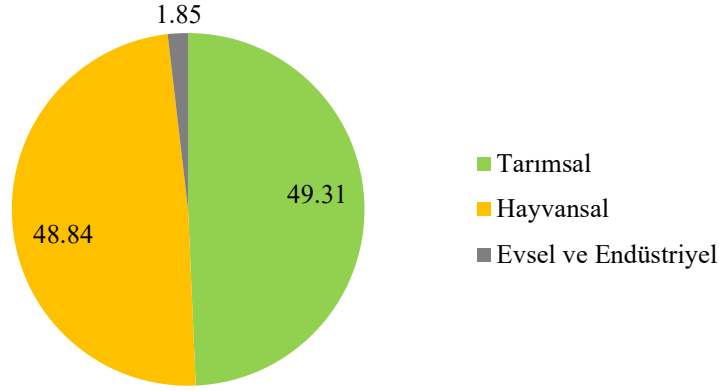
Şekil 3.3 Havzanın toplam su ayak izi miktarları

Aşağıdaki Tablo 3.1’de mevcut çalışmanın kapsadığı Çoruh Havzası’nın ilçelerinin toplam su ayak izleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Çoruh havzası’nın ilçelerinin toplam su ayak izi miktarları (Milyon m³)

	İlçeler	Tarımsal SA	Hayvansal SA	Evsel SA	Toplam SA
ARTVİN	Ardanuç	4.00	28.47	0.84	33.31
	Artvin	7.89	13.45	2.75	24.09
	Borçka	47.81	13.45	1.70	62.97
	Murgul	10.95	3.82	0.48	15.25
	Şavşat	17.61	38.68	1.26	57.55
	Yusufeli	6.30	27.02	1.38	34.70
BAYBURT	Aydıntepe	31.18	18.58	0.43	50.20
	Bayburt	322.95	116.94	4.65	444.54
	Demirözü	76.71	36.58	0.56	113.85
ERZURUM	İspir	22.98	43.92	1.67	68.57
	Narman	40.63	71.86	1.30	113.79
	Oltu	15.62	42.86	3.43	61.90
	Olur	4.78	30.89	0.70	36.37
	Pazaryolu	18.43	11.82	0.43	30.68
	Şenkaya	33.99	117.10	1.74	152.83
	Tortum	19.04	60.64	1.67	81.35
	Uzundere	8.31	6.65	0.86	15.82
	TOPLAM	689.18	682.73	25.85	1397.76

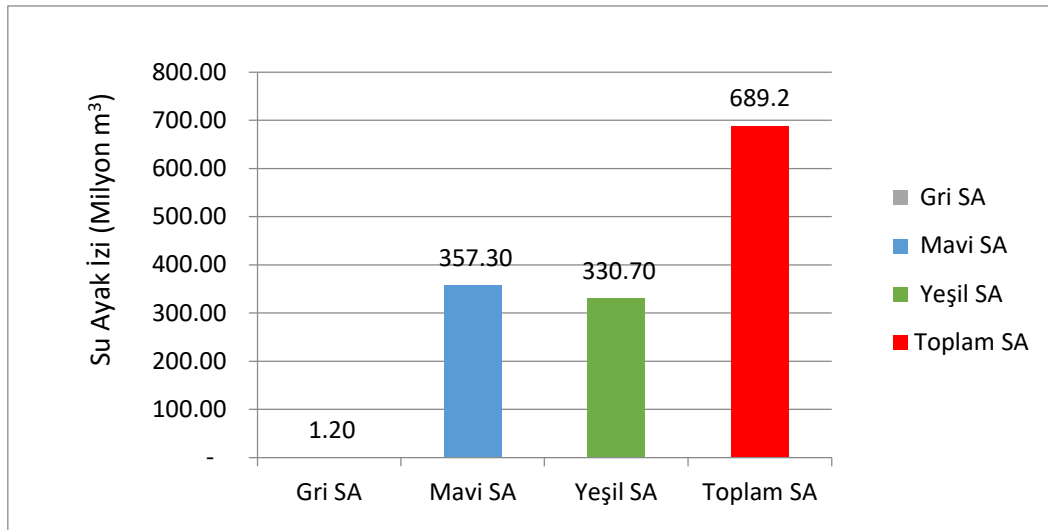
Yapılan hesaplamalar sonucunda tarımsal su ayak izi toplam su ayak izinin % 49,31’ine, hayvansal su ayak izi ise %48,84’üne tekabül etmektedir. Evsel su ayak izinin de toplam miktarın %1,85’i olduğu saptanmıştır. Aşağıdaki şekil 3.4’te su ayak izi kategorilerinin toplam su ayak izine oranları gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Su ayak izi kategorilerinin toplam su ayak izine oranları

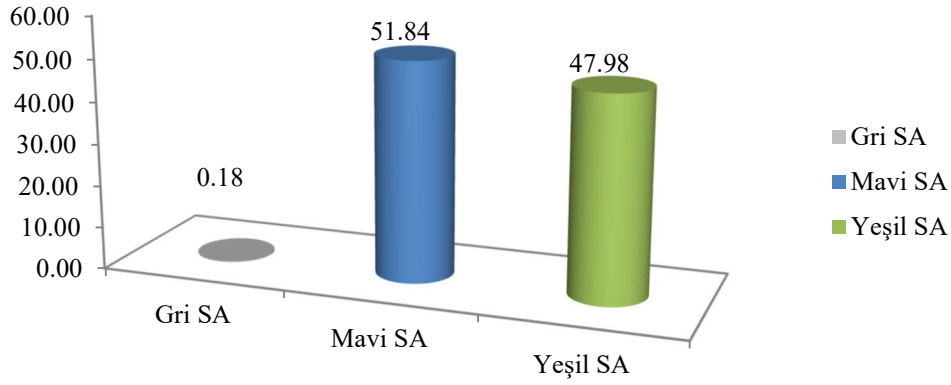
3.3. Tarımsal Üretimin Toplam Su Ayak İzi

Çalışma kapsamında analiz edilen 55 ürünün havzadaki toplam tarımsal su ayak izi miktarı yaklaşık 689,2 milyon m³ olarak hesaplanmıştır. Toplam tarımsal su ayak izini oluşturan mavi, yeşil ve gri su ayak izi miktarları sırasıyla yaklaşık 357,3 milyon m³, 330,7 milyon m³ ve 1,2 milyon m³ şeklinde oluşmuştur. Mavi su ayak izi toplam tarımsal su ayak izinin %51,84'ünü oluştururken, yeşil su ayak izi de %47,98 olarak hesaplanmıştır. Çoruh havzasının tarımsal gri su ayak izi ise tarımsal su ayak izi içerisinde yalnızca %0,18 oranla göze çarpmaktadır. Aşağıda Şekil 3.5'te tarımsal su ayak izinin mavi, yeşil, gri ve toplam biçiminde değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Tarımsal su ayak izinin mavi, yeşil, gri ve toplam miktarları (Milyon m³)

Mevcut çalışma kapsamında yapılan hesaplamalara göre elde edilen sonuçlara bakıldığında tarımsal su ayak izi içerisindeki mavi, yeşil ve gri su ayak izlerinin oranları aşağıdaki şekil 3.6’da gösterilmiştir.



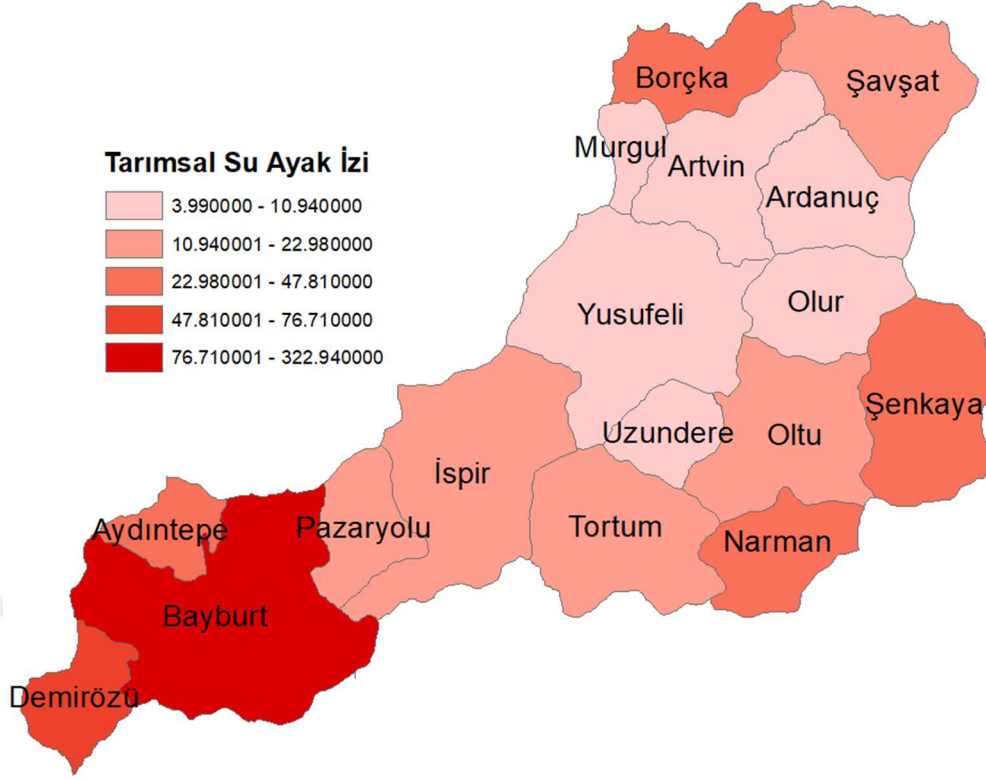
Şekil 3.6 Tarımsal su ayak izi içerisindeki mavi, yeşil ve gri su ayak izlerinin oranları

Havzanın tarımsal su ayak izinin ilçeler bazında incelemesi durumunda en fazla su ayak izine sahip ilçe yaklaşık 323 milyon m³ ile Bayburt Merkez olarak belirlenmiştir. Bayburt Merkez ilçesi Çoruh havzası tarımsal su ayak izi toplamının %46,86’sını oluşturmaktadır. Onu Demirözü ilçesi takip etmektedir. İlçelerin toplam su ayak izi miktarları (mavi, yeşil ve gri) aşağıdaki tablo 3.2 de verilmiştir. Tabloda ayrıca ilçenin tarımsal su ayak izi içerisindeki mavi su ayak izi oranları da belirtilmiştir. İlçelerin kendi içerisinde tarımsal su ayak izi kategorileri incelendiğinde en fazla mavi su ayak izine sahip ilçenin Uzundere olduğu görülmektedir. Borçka’nın ise mavi su ayak izi oranı yalnızca %7,7 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.2 İlçeler bazında tarımsal su ayak izi miktarları (Milyon m³)

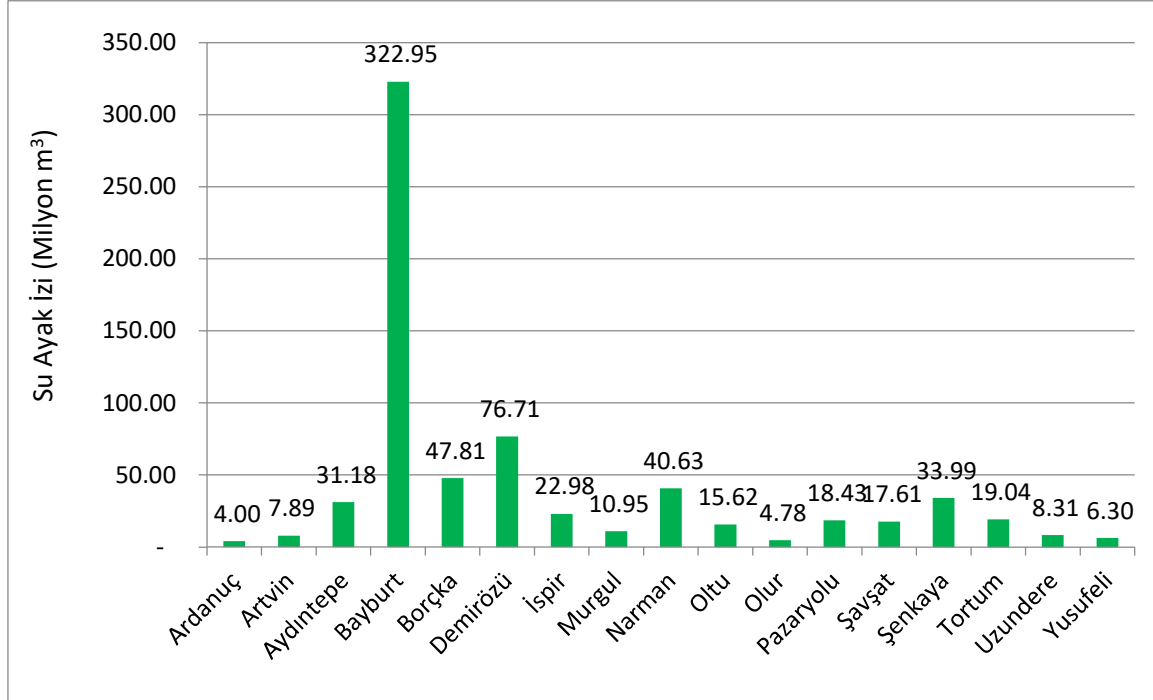
	İlçeler	SA gri	SA mavi	SA yeşil	Tarımsal SA	Mavi
ARTVİN	Ardanuç	0.010	1.590	2.399	3.998	39,76
	Artvin	0.017	3.601	4.270	7.888	45,65
	Borçka	0.132	3.688	43.991	47.811	7,71
	Murgul	0.027	2.509	8.412	10.948	22,92
	Şavşat	0.047	4.310	13.251	17.608	24,48
	Yusufeli	0.011	2.989	3.302	6.302	47,43
BAYBURT	Aydıntepe	0.070	18.427	12.687	31.184	59,09
	Bayburt	0.478	190.804	131.666	322.948	59,08
	Demirözü	0.158	44.833	31.722	76.712	58,44
ERZURUM	İspir	0.038	12.742	10.202	22.982	55,44
	Narman	0.079	19.211	21.343	40.633	47,28
	Oltu	0.028	8.973	6.620	15.621	57,44
	Olur	0.008	2.295	2.475	4.778	48,02
	Pazaryolu	0.034	9.429	8.967	18.430	51,16
	Şenkaya	0.069	14.458	19.459	33.986	42,54
	Tortum	0.030	11.800	7.208	19.038	61,98
	Uzundere	0.012	5.615	2.682	8.309	67,57
	Toplam	1.249	357.274	330.655	689.178	

Havzadaki ilçelerin toplam tarımsal su ayak izi miktarları aşağıdaki Şekil 3.7’de harita üzerinde gösterilmiştir.



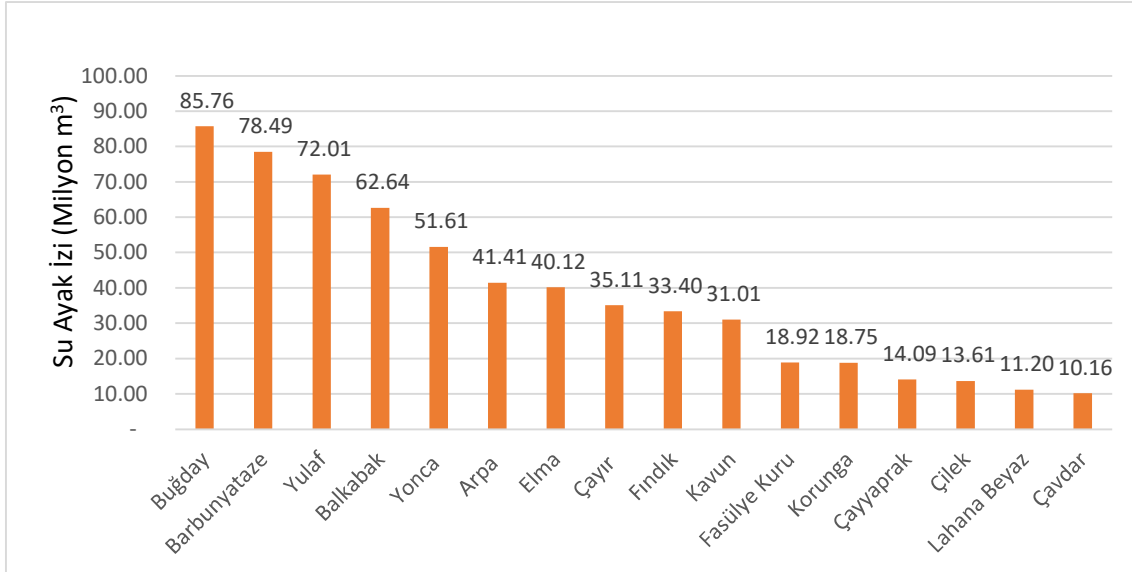
Şekil 3.7 Havzadaki tarımsal su ayak izi miktarının ilçelere göre dağılımı

Mevcut çalışmada ele alınan Çoruh Havzası ilçelerinin toplam tarımsal su ayak izi miktarları aşağıdaki Şekil 3.8’de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.8 İlçeler bazında toplam tarımsal su ayak izi miktarları

Havzadaki ürünlerin su ayak izi miktarları aşağıdaki Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Buna göre havzada en fazla su ayak izi miktarına sahip ürünlerin ilk olarak buğday daha sonra barbunya taze olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.9 Havzadaki bazı ürünlerin su ayak izi miktarları

Çalışma kapsamında incelenen tüm ürünlerin tarımsal su ayak izi kategorileri ve üretim miktarları aşağıdaki Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3 Çalışma kapsamında incelenen tüm ürünlerin tarımsal su ayak izi kategorileri ve üretim miktarları

Ürünler	P (ton)	SA _{mavi} (milyon m³)	SA _{yeşil} (milyon m³)	SA _{agri} (milyon m³)	SA _{top} (milyon m³)	SSM _{mavi} (m³/ton)	SSM _{yeşil} (m³/ton)	SSM _{top} (m³/ton)
Armut	2,443.90	0.44	0.38	0.00	0.81	179.02	153.98	333.00
Arpa	23,099.50	21.59	19.75	0.08	41.41	934.52	854.87	1,789.39
Ayva	631.00	0.13	0.14	0.00	0.28	212.09	228.57	440.67
Bakla taze	11.25	-	0.00	0.00	0.00	-	97.07	97.07
Bal kabak	23,472.90	40.40	22.14	0.10	62.64	1,721.01	943.32	2,664.33
Barbunya	36,455.85	53.52	24.92	0.05	78.49	1,467.94	683.57	2,151.51
Bezelye	127.00	0.01	0.01	0.00	0.02	78.12	112.43	190.55

Tablo 3.3 Çalışma kapsamında incelenen tüm ürünlerin tarımsal su ayak izi kategorileri ve üretim miktarları (Devamı)

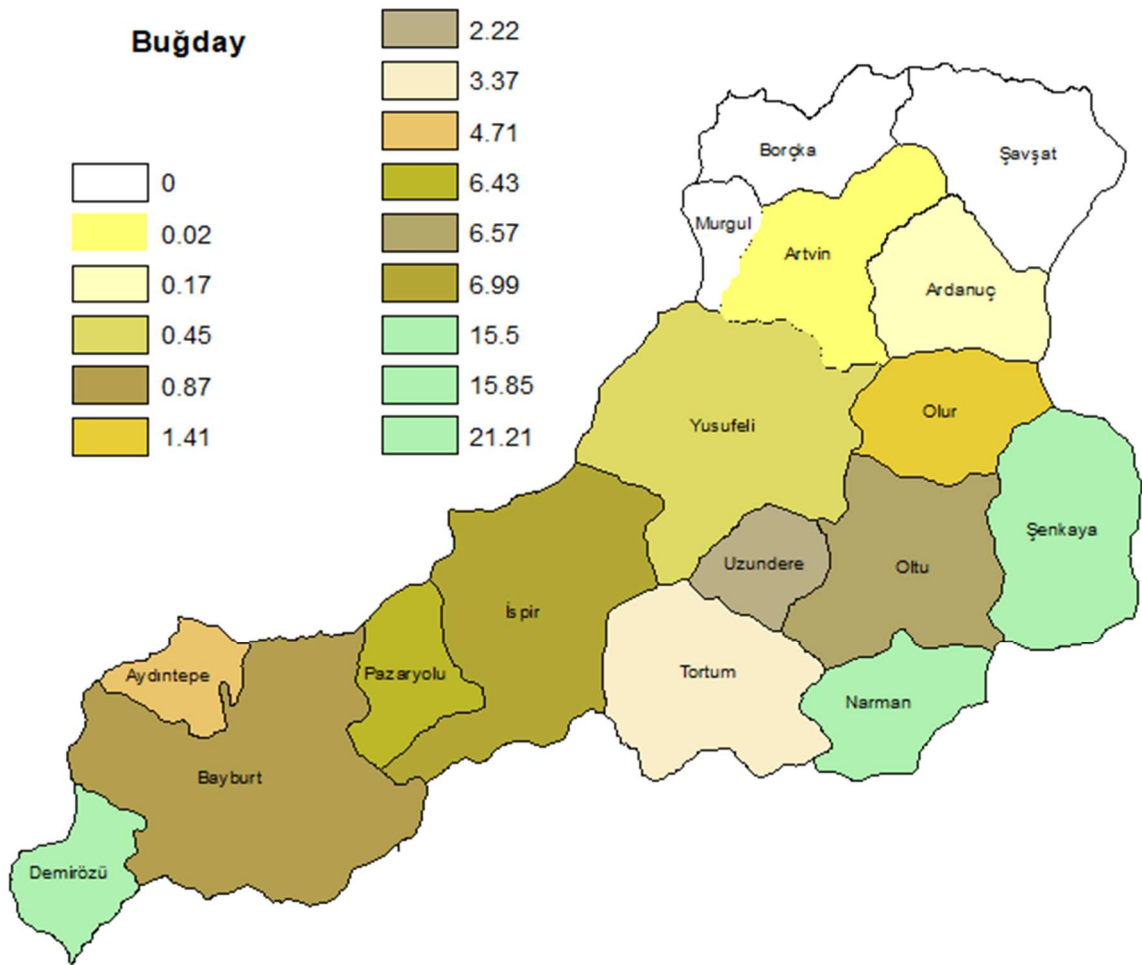
Ürünler	P (ton)	SA _{mavi} (milyon m ³)	SA _{yeşil} (milyon m ³)	SA _{agri} (milyon m ³)	SA _{top} (milyon m ³)	SSM _{mavi} (m ³ /ton)	SSM _{yeşil} (m ³ /ton)	SSM _{top} (m ³ /ton)
Biber dolma	658.40	0.09	0.07	0.00	0.16	137.31	112.27	249.59
Biber sivri	1,145.30	0.22	0.16	0.00	0.39	195.88	140.84	336.72
Buğday	41,414.37	46.49	39.06	0.21	85.76	1,122.53	943.25	2,065.77
Çavdar	4,258.00	4.09	6.05	0.02	10.16	961.55	1,420.41	2,381.96
Çayır	45,311.03	15.74	19.27	0.09	35.11	347.42	425.38	772.80
Çay	28,254.40	-	14.05	0.04	14.09	-	497.39	497.39
Çeltik	68.00	0.04	0.03	0.00	0.07	634.83	391.44	1,026.27
Ceviz	4,612.20	4.46	4.12	0.01	8.59	967.25	894.04	1,861.30
Çilek	7,311.20	8.14	5.45	0.02	13.61	1,113.05	745.88	1,858.93
Domates	13,586.00	1.52	0.81	0.00	2.33	112.08	59.45	171.53
Dut	6,058.80	0.54	0.36	0.00	0.91	89.61	60.14	149.75
Elma	82,859.30	24.52	15.56	0.04	40.12	295.96	187.78	483.74
Fasülye kuru	47,916.11	12.21	6.70	0.01	18.92	254.74	139.84	394.58
Fasülye taze	5,784.04	1.42	1.04	0.00	2.47	245.93	180.40	426.33
Fiğ	31,777.61	4.69	3.81	0.01	8.51	147.55	119.94	267.49
Fındık	3,885.70	4.41	28.89	0.10	33.40	1,134.58	7,436.08	8,570.66
Havuç	2,102.88	0.45	0.18	0.00	0.64	214.61	87.83	302.44
Hıyar	8,238.30	0.43	0.30	0.00	0.73	52.36	36.20	88.56
Hurma	403.40	0.03	0.05	0.00	0.07	70.79	114.27	185.06
İncir	160.91	0.00	0.04	0.00	0.04	24.63	226.92	251.54
İspanak	388.60	0.02	0.01	0.00	0.02	39.61	18.90	58.51
Kabak	245.50	0.02	0.02	0.00	0.03	65.75	68.88	134.63
Karpuz	973.61	0.17	0.12	0.00	0.29	176.18	120.79	296.97
Kavun	109,338.68	17.73	13.23	0.04	31.01	162.17	121.02	283.19

Tablo 3.3 Çalışma kapsamında incelenen tüm ürünlerin tarımsal su ayak izi kategorileri ve üretim miktarları (Devamı)

Ürünler	P (ton)	SA _{mavi} (milyon m ³)	SA _{yeşil} (milyon m ³)	SA _{agri} (milyon m ³)	SA _{top} (milyon m ³)	SSM _{mavi} (m ³ /ton)	SSM _{yeşil} (m ³ /ton)	SSM _{top} (m ³ /ton)
Kayısı	1,291.80	0.26	0.14	0.00	0.40	198.62	107.37	305.99
Kestane	148.50	0.00	0.09	0.00	0.09	16.64	584.35	600.99
Kiraz	5,669.90	1.39	1.30	0.00	2.69	245.19	229.13	474.32
Kiwi	9.10	-	0.01	0.00	0.01	-	807.14	807.14
Korunga	107,137.28	9.18	9.55	0.02	18.75	85.65	89.15	174.80
Lahana B	30,539.60	7.82	3.36	0.02	11.20	256.19	109.87	366.06
Lahana K	377.90	-	0.06	0.00	0.07	-	171.61	171.61
Marul	986.60	0.04	0.05	0.00	0.08	35.72	49.49	85.21
Maydanoz	219.46	0.01	0.25	0.00	0.27	46.83	1,158.12	1,204.94
Mercimek	27.81	0.08	0.04	0.00	0.12	2,905.12	1,425.21	4,330.33
Mısır	31,545.42	3.55	5.50	0.03	9.08	112.66	174.33	286.98
Nohut	31,959.20	2.34	1.81	0.00	4.15	73.27	56.51	129.78
Pancar	48,554.00	6.42	2.67	0.02	9.10	132.19	54.93	187.12
Patates	30,307.08	4.69	4.08	0.02	8.79	154.91	134.76	289.67
Patlıcan	310.35	0.03	0.04	0.00	0.07	106.55	133.07	239.62
Pırasa	19.60	0.00	0.00	0.00	0.00	79.74	92.35	172.09
Sarımsak	16.67	0.00	0.01	0.00	0.01	93.55	496.75	590.30
Şeftali	565.30	0.14	0.18	0.00	0.32	251.70	311.47	563.17
Soğan	6,908.90	2.86	2.62	0.02	5.51	414.12	379.69	793.81
Triticale	965.53	0.63	1.24	0.00	1.87	649.32	1,282.68	1,932.00
Turp	31.10	0.00	0.00	0.00	0.00	12.31	35.48	47.79
Üzüm	1,496.06	0.28	0.51	0.00	0.79	186.00	341.26	527.26
Vişne	1,414.17	0.49	0.24	0.00	0.73	345.28	169.75	515.03
Yonca	604,277.91	19.61	31.91	0.09	51.61	32.45	52.80	85.25
Yulaf	295,767.36	33.83	37.99	0.20	72.01	114.36	128.43	242.80
Zeytin	402.67	0.14	0.32	0.00	0.46	354.43	797.79	1,152.22

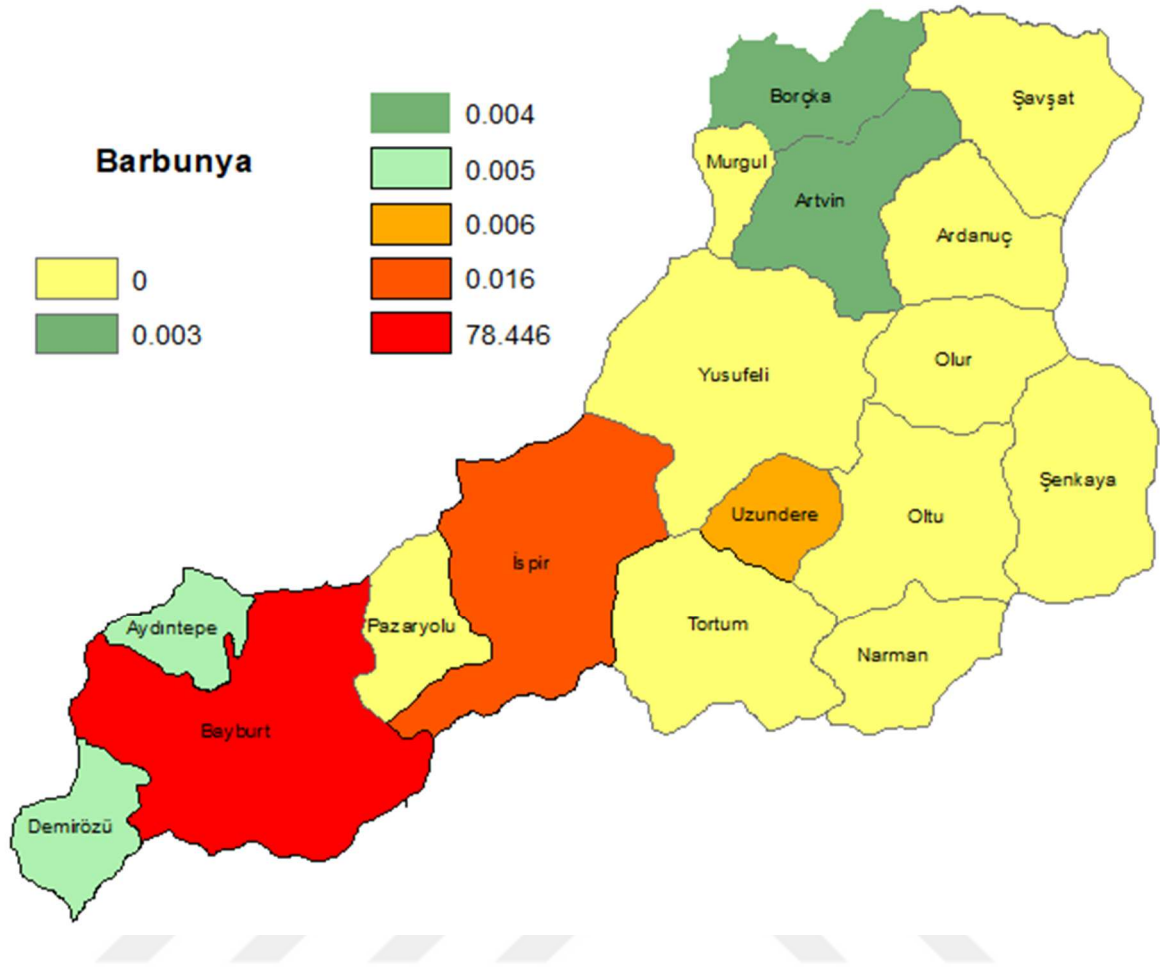
Yukarıdaki Tablo 3.3'te görüldüğü gibi çoruh havzasında üretim miktarı olarak en yüksek ürün yonca ve yulaf olarak öne çıkmaktadır. Mavi sanal su muhtevalarına bakılacak olursa en yüksek mavi sanal su ihtiyacı olan ürünler mercimek ve balkabağı olduğu, buna karşın mavi sanal su ihtiyacı sıfır olan ürünler ise çay, kivi ve kara lahana olduğu görülebilir.

Havzada tarımı yapılan ürünler arasında toplam su ayak izi miktarı en yüksek olan 5 ürünün ilçeler bazındaki miktarları ve harita üzerinde gösterimleri değerlendirilmiştir. Buna göre 85,76 milyon m³ su ayak izine sahip buğday ürününün hangi ilçelerde ne kadar su ayak izine sahip olduğu Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



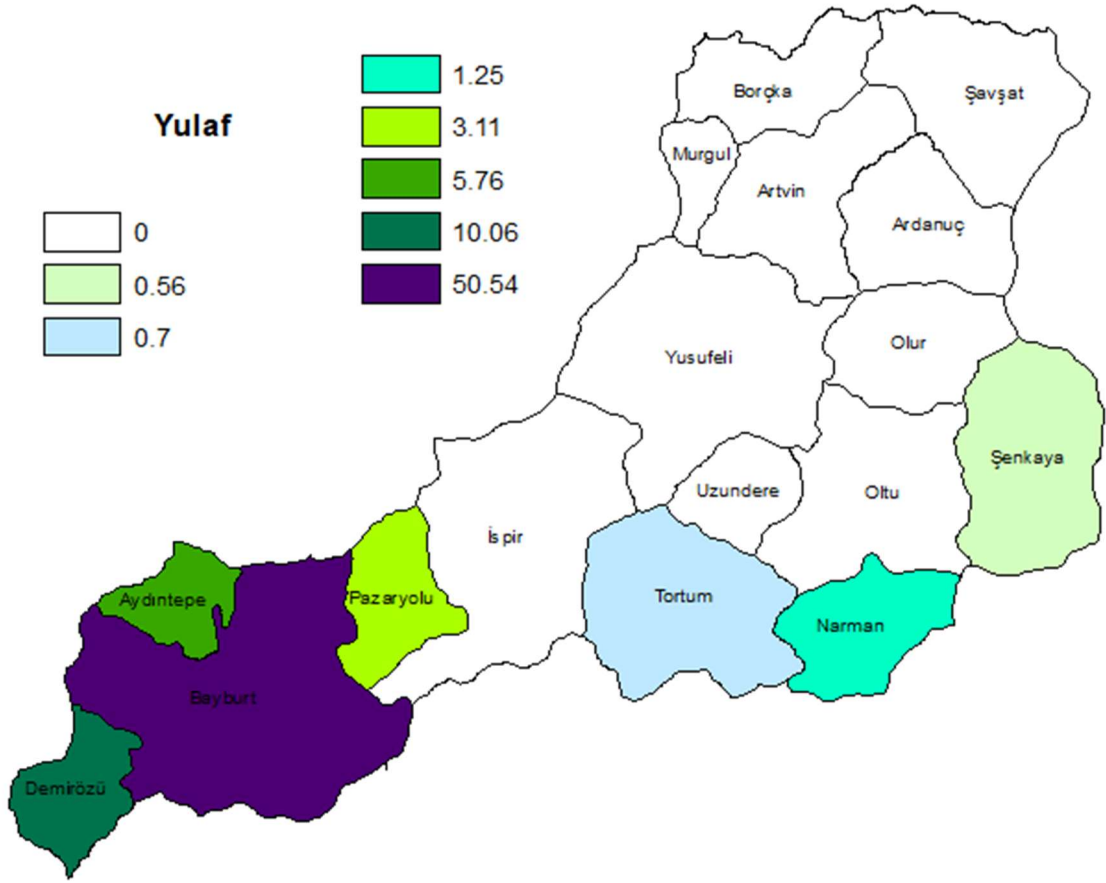
Şekil 3.10 Buğday ürünün ilçelere göre su ayak izi miktarları.

Havzada tarımsal su ayak miktarı bakımından ikinci sırada yer alan barbunya ürününün su ayak izi miktarı 78,49 milyon m³ olup aşağıdaki Şekil 3.11'de ilçelere göre dağılımı gösterilmiştir.



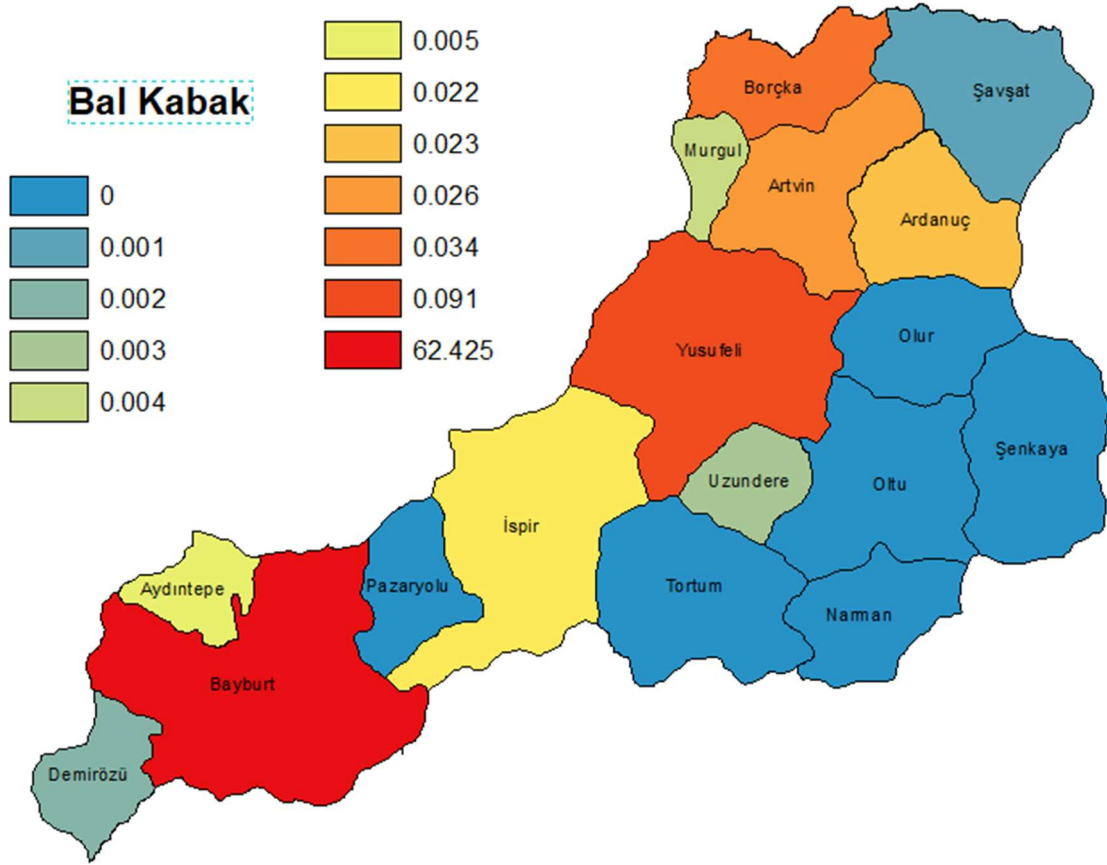
Şekil 3.11. Barbunya ürününün ilçelere göre su ayak izi miktarları.

Yulaf ürününün su ayak izi miktarı 72,01 milyon m³ olup tüm tarımsal ürünler içinde üçüncü sıradadır. Yulaf ürününün su ayak izi miktarının ilçelere göre dağılımı Şekil 3.12’de verilmiştir.



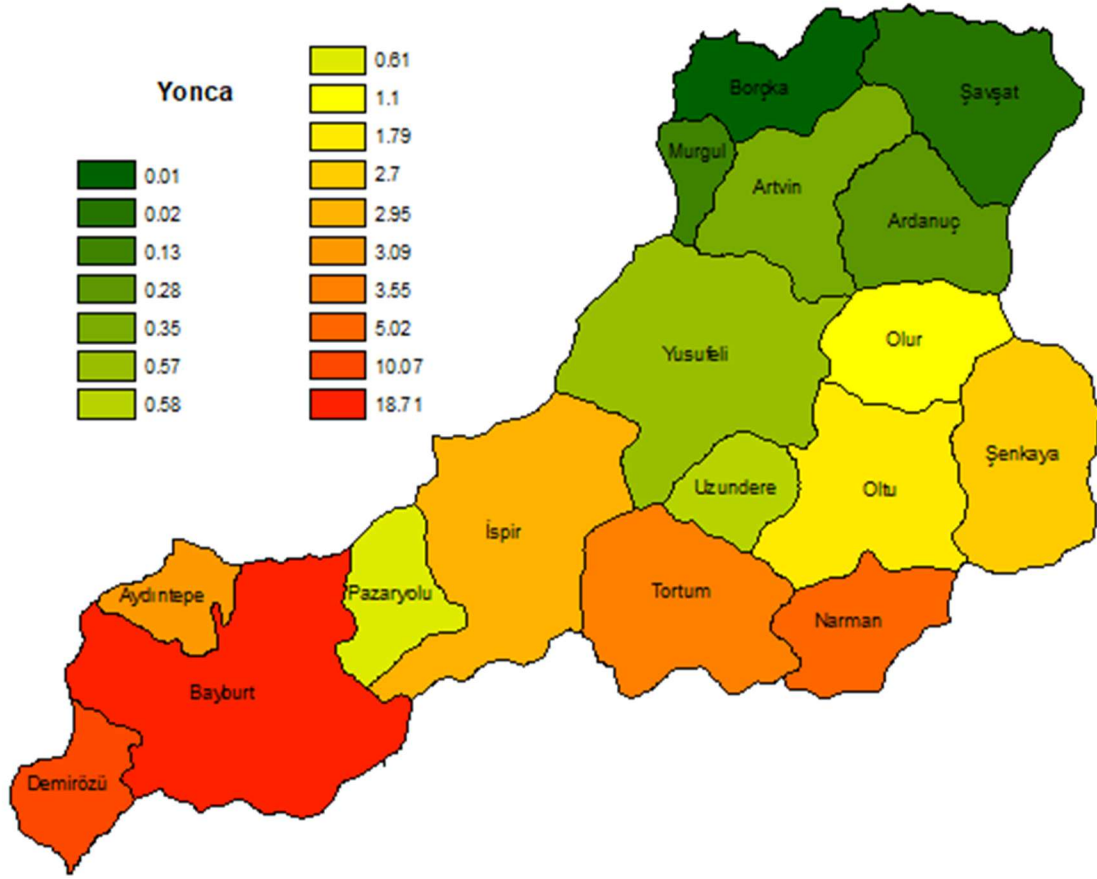
Şekil 3.12 Yulaf ürününün ilçelere göre su ayak izi miktarları.

Bal kabağının çoruh havza sınırları içerisindeki üretimi sonucu oluşan toplam su ayak izi miktarı 62,64 milyon m³ olup ilçelere göre dağılımı aşağıdaki Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Bal kabağının ilçelere göre su ayak izi miktarları

Yonca ürününün toplam su ayak izi miktarı 51,61 milyon m³ olarak hesaplanmıştır. Bu miktarın ilçelere göre dağılımı aşağıdaki Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Yonca ürününün ilçelere göre su ayak izi miktarları.

3.4. Hayvansal Üretimin Toplam Su Ayak İzi

Çoruh Havzası'nda çalışma kapsamı alanında 2015-2024 yılları arasındaki toplam canlı hayvan sayısı ortalaması 776231.8'dir. Çalışma kapsamındaki 17 ilçede 2015-2024 yılları arasındaki toplam ortalama koyun sayısı 285314.8, keçi sayısı 45760, sığır sayısı 326199.1 ve kümes hayvanı sayısı ise 118957.9 olduğu belirlenmiştir.

Havzadaki hayvansal üretimin su ayak izi hesaplanmasında yararlanılan literatür kaynaklardan elde edilen coğrafi bölgeler düzeyinde ve hayvan kategorilerine göre belirlenmiş hayvansal üretimin mavi, yeşil ve gri su ayak izi miktarları aşağıdaki Tablo 3.4'te gösterilmiştir. (Mekonnen ve Hokestra 2012, Mekonnen ve Hokestra 2010).

Tablo 3.4 Hayvansal su ayak izi birim değerleri m³/ton

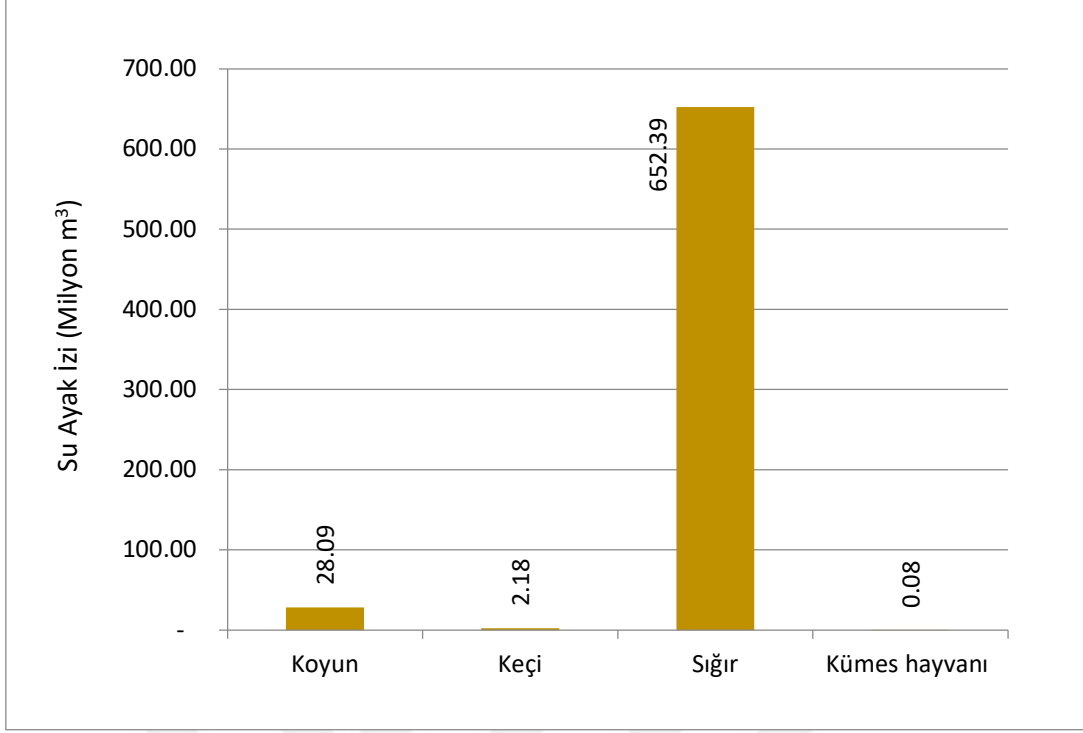
Hayvan kategorileri	Mavi su ayak izi	Yeşil su ayak izi	Gri su ayak izi	Ort. ağırlık (kg)
Koyun	191	2920	34	31.3
Keçi	111	1822	0	24.6
Sığır	330	7318	257	253
Kümes hayvanları	31	311	32	1.9

Bütün bu bilgiler ve veriler ışığında hayvansal üretimin su ayak izi hesaplamaları ile varılan hayvan kategorilerine göre sonuçlar aşağıdaki Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Çoruh Havzası'nın hayvan kategorilerine göre hayvansal üretiminin su ayak izi miktarları (Milyon m³)

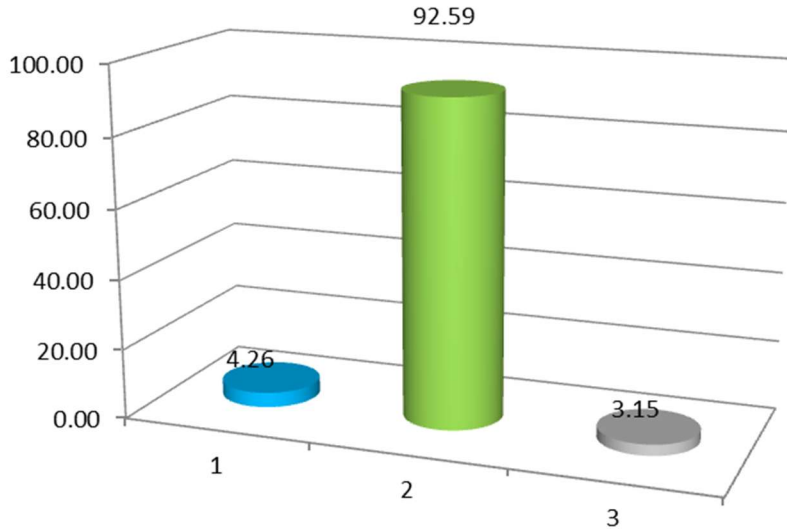
Hayvan kategorileri	SA _{mavi}	SA _{yeşil}	SA _{gri}	SA _{toplam}
Koyun	1.71	26.08	0.30	28.09
Keçi	0.12	2.05	0	2.18
Sığır	27.23	603.94	21.21	652.39
Kümes hayvanı	0.01	0.07	0.01	0.08
Toplam	29.07	632.14	21.52	682.73

Çoruh Havzası'nın 2015-2024 yılları arasındaki çalışma kapsamı içerisindeki hayvansal su ayak izinin ortalamasının 682.73 Milyon m³ olduğu görülmektedir. Aşağıdaki Şekil 3.15'te hayvansal üretimin kategorilerine göre su ayak izi miktarları verilmiştir.



Şekil 3.15 Hayvansal Üretimin Hayvan Kategorilerine Göre Su Ayak İzi Miktarları

Havzanın 2015-2024 yılları arasındaki toplam hayvansal su ayak izi içerisindeki en büyük payı yeşil su ayak izi oluşturmaktadır. Bu oran %92,59 şeklinde analiz edilmiştir. Yeşil su ayak izini %4,26'lık pay ile mavi su ayak izi takip etmektedir. Aşağıda Şekil 3.16'da mavi, yeşil ve gri su ayak izlerinin toplam hayvansal su ayak izindeki payları gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Mavi, yeşil ve gri su ayak izlerinin toplam hayvansal su ayak izindeki payları

Yapılan hesaplamalar sonucunda 2015-2024 yılları arasında hayvan kategorilerine göre en çok toplam su ayak izi miktarının 652,386,783.03 ile sığır türüne ait olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmada yer alan 17 ilçenin hayvansal üretiminin mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları aşağıdaki Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6 Çoruh Havzasının İlçelere Göre Hayvansal Üretimin Su Ayak İzi Miktarları (Milyon m³)

	İlçeler	SA_{mavi}	SA_{yeşil}	SA_{gri}	SA Toplam
ARTVİN	Ardanuç	1.31	26.37	0.79	28.47
	Artvin	0.59	12.45	0.40	13.45
	Borçka	0.57	12.46	0.42	13.45
	Murgul	0.16	3.54	0.12	3.82
	Şavşat	1.67	35.81	1.19	38.68
	Yusufeli	1.15	25.02	0.85	27.02
BAYBURT	Aydıntepe	0.79	17.21	0.59	18.58
	Bayburt	4.95	108.27	3.72	116.94
	Demirözü	1.54	33.87	1.17	36.58
ERZURUM	İspir	1.85	40.67	1.41	43.92
	Narman	3.01	66.52	2.32	71.86
	Oltu	1.83	39.68	1.35	42.86
	Olur	1.31	28.60	0.98	30.89
	Pazaryolu	0.51	10.95	0.36	11.82
	Şenkaya	4.97	108.42	3.71	117.10
	Tortum	2.56	56.14	1.94	60.64
	Uzundere	0.30	6.17	0.19	6.65
	Toplam	29.07	632.14	21.52	682.73

Çalışma kapsamındaki ilçelerin hayvansal üretiminin su ayak izi sonuçlarına bakıldığında en çok mavi ve yeşil su ayak izinin Erzurum Şenkaya ilçesine ait olduğu görülmektedir. Onu Bayburt Merkez ilçesi takip etmektedir. En az yeşil, mavi ve gri su ayak izine ise Artvin Murgul ilçesinin sahip olduğu belirlenmiştir. Havzanın hayvansal üretiminin su ayak izi miktarının büyük ölçüde yeşil su ayak izinden oluştuğu analiz edilmiştir.

3.5. Evsel Su Ayak İzi

Mevcut çalışmada 2015-2024 yılları arasındaki toplam su ayak izi miktarı yaklaşık olarak 1,4 milyar m³ saptanmış bunun da %1,85' ini evsel su ayak izi oluşturmuştur. Evsel su ayak izi hesaplamalarında çalışma kapsamındaki ilçelerin nüfus verileri ve ortalama su tüketim miktarları TÜİK veritabanından alınmıştır. Bu bağlamda en çok evsel su ayak izine sahip ilçe Bayburt Merkez ilçesidir. Onu Artvin Merkez ilçesi takip etmektedir. En düşük değere sahip olan ilçe ise Erzurum Pazaryolu ilçesidir. Aşağıdaki Tablo 3.7'de çalışma kapsamında yer alan 17 ilçenin evsel su ayak izi miktarları gösterilmiştir.

Tablo 3.7 Çalışma kapsamında yer alan 17 ilçenin evsel su ayak izi miktarları (m³)

	İlçeler	Nüfus	Tüketim (Lt/Kişi/Gün)	SA evsel (Milyon m ³)
ARTVİN	Ardanuç	11006	209.25	0,84
	Artvin	36071	209.25	2,75
	Borçka	22288	209.25	1,70
	Murgul	6331	209.25	0,48
	Şavşat	16534	209.25	1,26
	Yusufeli	18080	209.25	1,38
BAYBURT	Aydıntepe	6388	184.5	0,43
	Bayburt	69029	184.5	4,65
	Demirözü	8259	184.5	0,56
	İspir	14765	309	1,66
ERZURUM	Narman	11536	309	1,30
	Oltu	30374	309	3,43
	Olur	6220	309	0,70
	Pazaryolu	3786	309	0,43
	Şenkaya	15412	309	1,74
	Tortum	14787	309	1,67
	Uzundere	7664	309	0,86
	Toplam	298530		25,84

Mevcut çalışmada Çoruh Havzası'nın 2015–2024 yılları arasındaki su ayak izi 17 ilçe ve 55 ürün bazında analiz edilmiştir. Havza genelinde ortalama yıllık toplam su ayak izi yaklaşık 1,4 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Bu toplamın %49,31'ini tarımsal üretim, %48,84'ünü hayvansal üretim ve %1,85'ini evsel kullanım oluşturmaktadır. 55 tarımsal ürün bazında hesaplanan tarımsal su ayak izi yaklaşık 689 milyon m³ olup bunun %51,84'ü mavi, %47,98'i yeşil ve %0,18'i gri su ayak izinden oluşmuştur. Hayvansal üretimin toplam su ayak izi yaklaşık 683 milyon m³ olup en büyük payı sığır yetiştiriciliği almıştır (%95,6). Hayvansal su ayak izi içinde yeşil su ayak izi %92,59 ile en yüksek paya sahiptir. Evsel kullanım kaynaklı su ayak izi ise yaklaşık 25,9 milyon m³ olarak tespit edilmiştir. İlçeler düzeyinde en yüksek toplam su ayak izi Bayburt Merkez ilçesinde belirlenmiş olup, 323 milyon m³ olarak hesaplanmıştır. Bayburt Merkez ilçesi Çoruh havzası tarımsal su ayak izi toplamının %46,86'sını oluşturmaktadır. Havza genelinde güney kesimlerdeki su ayak izi miktarı kuzey kesimlere göre daha fazladır.

Çoruh Havzası'nda su kaynakları üzerinde en büyük baskıyı tarımsal ve hayvansal üretim faaliyetleri oluşturmaktadır. Özellikle hayvansal üretimde sığır yetiştiriciliğinin payı oldukça yüksektir. Bu durum, havzada su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde önemli bir belirleyici olacaktır.

Su ayak izi kavramı, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımında önemli bir araç olarak görülmektedir (Hoekstra ve Mekonnen, 2012). Çoruh Havzası'nda yapılan bu çalışmada elde edilen 1,4 milyar m³'lük yıllık ortalama su ayak izi değeri, Türkiye genelinde yapılan diğer havza bazlı çalışmalarda elde edilen sonuçlarla benzer düzeydedir (Aldaya ve Hoekstra, 2010). Özellikle tarımsal ve hayvansal üretimin toplam su ayak izi içerisindeki yüksek payı, literatürde de vurgulandığı gibi kırsal ve yarı kırsal bölgelerde yaygın olarak görülen bir durumdur (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

Çalışmada tarımsal su ayak izinin %51,84'ünün mavi su, %47,98'inin yeşil su ve yalnızca %0,18'inin gri su olması, havzada sulama suyu kullanımının belirgin bir ağırlığa sahip olduğunu göstermektedir. Mevcut çalışmada tarımsal mavi su ayak izi

miktarının en fazla olduğu ilçe Bayburt Merkez ilçesidir. Türkiye genelinde tarımsal su ayak izinde mavi su oranı genellikle %40-60 arasında değişmektedir (Avanoz, 2020). Bu açıdan bakıldığında Çoruh Havzası'nın mavi su oranı ülke ortalamalarıyla uyumludur. Bununla birlikte, gri su oranının oldukça düşük çıkması, bölgede tarımsal kirlilik yükünün düşük olduğuna işaret etmektedir. Ancak, yoğun gübreleme yapılan alanlarda gri su ayak izinin artış eğilimi gösterebileceği bilinmektedir (Hoekstra ve Mekonnen, 2012).

Hayvansal üretimdeki yüksek yeşil su payı (%92,59), hayvan yeminin büyük oranda yağışa bağlı doğal meralardan ve kuru tarımdan karşılandığını göstermektedir. Sığır yetiştiriciliğinin su ayak izi içerisindeki baskın payı, dünya genelinde yapılan çalışmalarda da benzer şekilde ortaya konmuştur (Mekonnen ve Hoekstra, 2012). Çalışmada sığır türünün yaklaşık %95'lik paya sahip olması, hayvan sayısının yüksekliği ve yem ihtiyacının büyüklüğüne bağlıdır. Mevcut çalışmada en fazla hayvansal su ayak izine sahip ilçe Erzurum Şenkaya ilçesi olarak analiz edilmiştir. Bununla birlikte Erzurum Şenkaya ilçesinde hayvansal üretimin mavi su miktarı da diğer ilçelerin üzerinde bir miktar olarak belirlenmiştir.

Evsel kullanımın toplam su ayak izi içerisindeki payının %1,85 gibi düşük bir düzeyde kalması, havzada su tüketim baskısının esasen tarım ve hayvancılık kaynaklı olduğunu göstermektedir. Türkiye genelinde evsel su ayak izi oranı genellikle %5'in üzerindedir (Aldaya ve Hoekstra, 2010). Bu açıdan bakıldığında Çoruh Havzası'ndaki düşük oran, bölgenin kırsal yapısını ve sanayinin sınırlı olduğunu göstermektedir.

Çalışmada Bayburt Merkez ve Erzurum Şenkaya ilçelerinin su ayak izi bakımından öne çıkması, hem nüfus hem de hayvancılık faaliyetlerinin yoğunluğuyla ilişkilidir. Havzanın güney kesimlerinde su ayak izi baskısının daha yüksek olması, topoğrafik ve iklimsel farklılıkların da etkili olabileceğini düşündürmektedir (Erdem, 2021).

Mevcut çalışma kapsamında ele alınan 55 tarımsal ürünün toplam tarımsal su ayak izleri sonuçları incelendiğinde en fazla tarımsal su ayak izine sahip ürün buğday olmuş, onu barbunya taze, yulaf, balkabak ve yonca takip etmektedir. Mavi su ayak izi sonuçları baz alındığında ise ilk sıraya barbunya taze geçmektedir.

Mavi sanal su muhtevaları (mavi SSM) analiz edildiğinde en fazla mavi SSM'ye sahip ürünün 2,905.12 m³/ton ile mercimek olduğu görülmektedir. Ancak çalışma alanı içerisindeki üretim miktarı az olduğundan (27,81 ton/yıl) toplam tarımsal su ayak

izindeki payı düşük olmuştur. Buna karşın 1,721.01 m³/ton 'luk mavi SSM miktarıyla balkabak ikinci sırada olmasına rağmen üretim miktarındaki fazlalık (23472 ton / yıl) bu ürünün toplam su ayak izinde etkili olmasına yol açmıştır. Nitekim bal kabak, 55 ürünün toplam tarımsal su ayak izi sonuçlarına bakıldığında 4. sırada bulunmaktadır. Sonuç olarak tarımsal su ayak izinin miktarında sanal su muhtevalarının niceliğinin yanı sıra üretim miktarları büyük önem arz etmektedir.

Bu bağlamda mevcut çalışmada en yüksek tarımsal su ayak izi miktarına sahip olan buğdayın mavi SSM 1122 m³/ ton iken Türkiye genelinde Avanoz (2020) tarafından yapılan çalışmada 790 m³/ ton ve Erdem (2021) tarafından Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında yapılan bir diğer çalışmada ise 660 m³/ ton olduğu bildirilmiştir. Buna göre buğday ürününün temiz su kaynaklarının verimli kullanımı ve sürdürülebilirliği açısından belirtilen diğer havzalarda üretiminin yapılmasının daha uygun olacağı söylenebilir.

Çoruh Havzası'nda yetiştirilen ve tarımsal su ayak izi hesaplaması yapılan bir diğer ürün olan yulaf ürününün mevcut çalışmadaki mavi SSM miktarı 114 m³/ ton olarak analiz edilmiştir. Bu miktar yukarıda bahsi geçen Avanoz (2020) ve Erdem (2021) çalışmalarında sırasıyla 774 m³/ ton ve 686 m³/ ton şeklinde belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında yulaf ürününün mevcut çalışma alanındaki mavi su içeriğinin diğer havzalardaki miktarlardan oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Benzer şekilde balkabak ürününün mevcut çalışmadaki mavi SSM miktarına bakıldığında 1720 m³/ ton olduğu görülmektedir. Bu ürünün Erdem'in (2021) yaptığı çalışmada mavi SSM miktarının 256 m³/ ton olduğu bildirilmiştir. balkabağının Çoruh Havzası'nda üretimi yerine Seyhan havzasında üretimi su kaynaklarının verimli kullanımı açısından önerilmektedir.

Mevcut çalışmada tarımsal su ayak izi diğer ürünlere göre yüksek olan yonca bitkisinin mavi SSM miktarına bakıldığında Çoruh Havzası içindeki mavi SSM miktarı 32.45 m³/ton olarak belirlenmiştir. Ancak Türkiye genelinde Avanoz (2020) nin yapmış olduğu çalışmada bu değer 69 m³/ ton, Erdem (2021) 'in Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarında yapmış olduğu çalışmada ise bu üç havza için ortalama 52 m³/ ton şeklinde rapor edilmiştir. Buna göre yonca bitkisinin temiz su kaynaklarının doğru kullanımı bakımından Çoruh Havzası'nda üretiminin yapılması diğer havzalara nazaran daha uygundur denilebilir.

Literatürde havza bazlı su ayak izi çalışmaları kısıtlıdır. Çoruh Havzası su ayak izinin hesaplanması adlı bu çalışmada havzanın tüm kategorilere (tarımsal, hayvansal, evsel) su ayak izleri detaylı bir biçimde analiz edilmiştir. Havzaya dahil olan ilçelerin, tarım ürünlerinin, hayvan gruplarının mavi, yeşil ve gri su ayak izleri kapsamlı olarak ele alınmıştır. Bu çalışmanın en önemli sınırlılığı, bazı ilçelerde meteorolojik istasyon verilerinin yetersizliği nedeniyle yağışın alansal dağılımında Kriging gibi mekânsal enterpolasyon yöntemlerinin tam olarak kullanılamamış olmasıdır. İlerleyen çalışmalarda uzaktan algılama verilerinin ve iklim modellerinin entegrasyonu ile mekânsal çözünürlüğü daha yüksek su ayak izi hesaplamalarının yapılması mümkündür.

Mevcut çalışma temiz su kaynaklarının kullanımında mavi su ayak izinin belirleyiciliği açısından Çoruh Havzası'nda olası su kıtlığının önüne geçilebilmesi, su yönetimi ve sürdürülebilirlik bağlamında önemli veriler sunmaktadır. Mavi su ayak izi yüksek ürünler için gerekli önlemlerin alınması hususunda karar vericilere yön verecek bir çalışma olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aldaya, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2010). The water footprint of the EU for imported agricultural products. *Ecological Economics*, 69(5), 1140–1150.
- Aldaya, M. M., Garrido, A., Llamas, M. R., Varelo-Ortega, C., Novo, P. ve Casado, R. (2010). Water footprint and virtual water trade in Spain, *Water policy in Spain*, CRC Press, Leiden, The Netherlands, 49–59,
- Allan, J. A. (2002). Hydro-peace in the Middle East: why no water wars?: a case study of the Jordan River Basin. *SAIS review*, 22(2), 255-272.
- Alper, F. (2015). *Sürdürülebilirlik kavramı içerisinde su ayak izi: Tekstil sektörü örneği*. [Yüksek Lisans Tezi], İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Avanoz, Z. (2020). *Türkiyede tarımsal üretimin su ayak izinin hesaplanması*, [Yüksek Lisans Tezi], Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Baran, M. A. (2017). Dünyanın mevcut su potansiyeli ve deniz suyu arıtımı. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, (45), 71-84.
- BÜGEM 2018, Gübreleme Tavsiyeleri, tarimorman.gov/belgeler/yayın/gübreleme tavsiyeleri.
- Bulut, S., ve Şahin, G. (2020). Pedagojik formasyon öğrencilerinin su tüketim davranışları ile su ayak izlerinin incelenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 3(2), 53-70.
- Çakmak, B., ve Torun, E. (2023). Konya kapalı havzası sulama şebekelerinde tarımsal su ayak izinin değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 27(2), 239-252.
- Çankaya, T. (2019). *Atık su arıtma tesislerinde su ayak İzi hesaplama yöntem önerisi ve haddeleme-galvanizleme tesisinde uygulama örneği*. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ceritoğlu, M., Erman, M. ve Uçar, Ö. (2024). Sürdürülebilir Tarımda Su Ayak İzi Kavramı. *Tarla Bitkilerinde Verimlilik Ve Sürdürülebilirlik*, Ed. Fatih Çığ, Sıpan Soysal, İksad Yayınevi, Ankara s.81.
- Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H., ve Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological economics*, 60(1), 186-203.
- Chapagain, A. K., ve Hoekstra, A. Y., 2004. Water footprints of nations. (Value of Water Research Report Series; No. 16). Unesco-IHE Institute for Water Education.
- Chukalla, A. D., Krol, M. S., ve Hoekstra, A. Y. (2015). Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching. *Hydrology and earth system sciences*, 19(12), 4877-4891.
- Dadaş, M., & Çiçek, İ. (2018). Çoruh Havzası'nın iklim özellikleri ve bölgesel farklılıkları. *Coğrafya Dergisi*, 36(2), 23–40. <https://doi.org/10.17211/tcd.419860>

- Demir, Y. (2023). Sığır eti üretiminde su ayak izi durumu. *Aydın Gastronomy*, 7(1), 161-171.
- Ding, X., Wang, S., ve Chen, B. (2019). The blue, green and grey water consumption for crop production in Heilongjiang. *Energy Procedia*, 158, 3908-3914.
- Engin, S. (2019). *Türkiye'de Pamuk Üretiminde su Ayak izi*, [Yüksek Lisans Tezi], Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 163 Sy.
- Ercin, A.E., 2012. *Governance of globalized water resources: the application of water footprint to inform corporate strategy and government policy*. [Doktora Tezi]. <https://doi.org/10.3990/1.9789036534154>. Univ. Twente
- Erdem, E. (2021). *Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında tarımsal su ayak izi analizi* [Yüksek Lisans Tezi], Fen Bilimleri Enstitüsü. Batman Üniversitesi
- Erdem, S. (2021). Enterpolasyon teknikleriyle alansal yağış analizleri. *Meteoroloji Dergisi*, 45(1), 27–38.
- Hoekstra, A. Y., ve Hung, P. Q. (2005). Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global environmental change*, 15(1), 45-56.
- Hoekstra, A. Y., ve Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *PNAS*, 109(9), 3232–3237.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. ve Mekonnen, M. M. (2009). Water Footprint Manual, *State of the Art 2009*. Waterfootprint Network, Enschede, The Netherlands
- Hoekstra, A.Y., Chapagain A. K., Aldaya, M. M. ve Mekonnen, M. M., (2011). The Water Footprint Assessment Manual, Water Footprint Network. 978-1-84971-279-8
- Hoekstra, A.Y., 2013. The Water Footprint of Modern Consumer Society. Routledge.
- Hogeboom, R. J. (2020). The water footprint concept and water's grand environmental challenges. *One Earth*, 2(3), 218-222.
- Hu, T., Huang, K., Yu, Y., Zhang, X., Xu, Y., ve Wang, X. (2016). Measuring water footprint on a lake basin scale: a case study of lake dianchi, China. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 44(10), 1296-1305.
- İlgar, R., 2020, Su Okuryazarlığı ve Su Ayak İzi Üzerine Yaklaşımlar, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(73).
- İraz, E. (2021). *Fırat havzasının su ayak izinin hesaplanması*, [Yüksek Lisans Tezi], Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman Üniversitesi.
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., ve Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS geostatistical analyst* (Vol. 380). Redlands: Esri.
- Karaca, C., Büyüktaş, D., ve Tekelioğlu, B. (2017). Kıyas Bitki Su Tüketiminin (ET_o) Hesaplanması Amacıyla Kullanılan Bilgisayar Yazılımlarının Karşılaştırması. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(Özel Sayı (BSM 2017)), 118-128.
- Karlı, R. G. Ö., ve Artar, M. (2021). Kentsel su yönetiminde araç olarak su ayak izi ve mavi-yeşil altyapı. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 58(1), 145-162.

- Kasap, A. G. (2018). *Ayvacık, Suat Uğurlu Baraj Gölünün su kirliliği açısından araştırılması*, [Yüksek Lisans Tezi], Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Kaya, H., ve Mazlum, H. (2025). Hayvansal Gıda Üretiminde Su Ayak İzinin Değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 970-984.
- Koday, S., ve Erhan, K. (2010). Çoruh vadisinde nüfusun dağılışı. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14(2), 221-230.
- Liu, J. (2009). A GIS-based tool for modelling large-scale crop-water relations. *Environmental Modelling & Software*, 24(3), 411-422.
- Mekonnen, M. (2011). *Spatially and temporally explicit water footprint accounting*. [Doktora Tezi]. University of Twente. <https://doi.org/10.3990/1.9789036532211>
- Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and earth system sciences*, 15(5), 1577-1600.
- Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3), 401-415.
- Mekonnen, M. M., Lutter, S., ve Martinez, A. (2016). Anthropogenic nitrogen and phosphorus emissions and related grey water footprints caused by EU-27' s crop production and consumption. *Water*, 8(1), 30.
- Muratoglu, A. (2019). Water footprint assessment within a catchment: A case study for Upper Tigris River Basin. *Ecological Indicators*, 106, 105467.
- Muratoğlu, A. (2020). Assessment of water footprint of production: A case study for Diyarbakır province. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), 845-858.
- Muratoglu, A., 2022, Applications and response formulations of water footprint methodology for conservation of water resources. Imperiled: *The Encyclopedia of Conservation*, Volume 2, 360-370.
- Muratoglu, A., Iraz, E., ve Ercin, E. (2022). Water resources management of large hydrological basins in semi-arid regions: Spatial and temporal variability of water footprint of the Upper Euphrates River basin. *Science of The Total Environment*, 846, 157396.
- Muratoğlu, A., Yaman, K., Çelik, Ö., ve Demir, M.S., (2022) Tarımsal Üretimin Gri Su Ayak İzinin Hesaplanması: Batman İli Örneği. 11. Ulusal Hidroloji Kongresi. Gaziantep, Ekim 2022.
- Nazeer, M. (2009). Simulation of maize crop under irrigated and rainfed conditions with CROPWAT model. *ARPJN Journal of Agricultural and Biological Science*, 4(2), 68-73.
- Pegram, G., Conyngham, S., Aksoy, A., Dıvrak, B. B., ve Öztok, D. (2014). Türkiye'nin su ayak izi raporu: Su, üretim ve uluslararası ticaret ilişkisi. *WWF Türkiye, Erişim adresi: http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/su_ayak_izi_raporweb.pdf*.
- Postel, S., 1993. Last oasis: facing water scarcity. *Am. J. Altern. Agric.* 8, 94–96. <https://doi.org/10.1017/S0889189300005063>.

- Romaguera, M., Hoekstra, A. Y., Su, Z., Krol, M. S., ve Salama, M. S. (2010). Potential of using remote sensing techniques for global assessment of water footprint of crops. *Remote Sensing*, 2(4), 1177-1196.
- Şahin, B. (2016). *Küresel bir sorun: Su kıtlığı ve sanal su ticareti* [Yüksek Lisans Tezi], Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çorum.
- Şahin, H. (2018). *Su ayak izi kavramının sürdürülebilir su yönetimi çalışmalarında kullanılması*. [Yüksek Lisans Tezi], Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Şahin, Ü. ve Kurnaz, L. (2014). İklim değişikliği ve kuraklık. İstanbul Politikalar Merkezi, Kuraklık Raporu, İstanbul.
- Sargıncı, M., Dönmez, A. H., ve Yıldız, O. (2022). Biyosferde Su Döngüsü ve Bitkiler Tarafından Suyun Alınma Mekanizmalar. *Düzce Üniversitesi Süs ve Tıbbi Bitkiler Botanik Bahçesi Dergisi*, 1(1), 8-20.
- Şarlak, N. ve Bağcı, S. (2020). Ampirik potansiyel evapotranspirasyon tahmin yöntemlerinin değerlendirilmesi: Uygulama Konya kapalı havzası. *Teknik Dergi*, 31(1), 9755-9772.
- Siebert, S. ve Döll, P. (2010). Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*, 384(3-4), 198-217.
- SU PEK, 2023, Aras ve Çoruh Havzaları Kuraklık Yönetim Planlarının Hazırlanması Projesi, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara.
- TAGEM ve DSİ, 2017, Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri,
- Tandon, S. A., Kolekar, N., ve Kumar, R. (2014). Water and energy footprint assessment of bottled water industries in India. *Natural Resources*, 5(2), 68-72.
- Tarım ve Orman Bakanlığı [TOB]. (2020). Havzalarımızı Tanıyalım: Çoruh Havzası Tanıtım Raporu.
- TÜİK., <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>
- TÜMAŞ, (2020). Çoruh havzası taşkın yönetim planı; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Tuncay, D., & Yüceer, S. (2022). Çoruh Havzası’nda iklim değişikliğinin etkileri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 79, 44–61. <https://doi.org/10.17211/tcd.987123>
- Turan, E. S. (2017). Türkiye'nin su ayak izi değerlendirmesi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 74(EK-1), 55-62.
- Ünsal, V. (2006). *Eskiçağda Çoruh Havzası*. [Doktora Tezi], Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 45-47.
- URL-1. <https://www.artemisaritim.com/dunya-genelinde-su-kaynaklarinin-durumu> [Adresinden 26 Nisan 2025 tarihinde erişildi].
- URL-2, <https://turkchem.net/endustride-surdurulebilirlik-yonetimi-ve-su-ayak-izi.html> [Adresinden 27 Nisan 2025 tarihinde erişildi].
- URL-3. <https://www.harita.gov.tr/il-ve-ilce-yuzolcumleri>, [Adresinden 16 Haziran 2025 tarihinde erişildi].

- Xinchun, C., Mengyang, W., Rui, S., La, Z., Dan, C., Guangcheng, S. ve Shuhai, T. (2018). Water footprint assessment for crop production based on field measurements: A case study of irrigated paddy rice in East China. *Science of the Total Environment*, 610, 84-93.
- Yeşil, E. Ş., Dal, A., Öztürk, E. ve Kitiş, M. (2023). Pamuklu tekstil üretiminde su ayak izinin değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(3), 1167-1173.
- Yıldırım, B. ve Aksu, İ. (2023). Çoruh Havzası iklim verilerinin mekânsal analizi. *Doğa Bilimleri Dergisi*, 12(3), 145–158.
- Zengin, M., Özer, S. ve Özgül, M. (2009). Çoruh havzası (İspir-Pazaryolu) erozyon durumunun CBS ile belirlenmesi ve çözüm önerileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40(1), 9-19.
- Zhuo, L., Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y. ve Wada, Y. (2016). Inter-and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River basin (1961–2009). *Advances in water resources*, 87, 29-41.

EKLER

Eklerin her biri için uygun bir başlık seçilmeli ve bunlar, sunuş sırasına göre “EK-1, EK-2, EK-3,...” şeklinde, her biri ayrı bir sayfadan başlayacak şekilde sunulmalıdır. Bir ek sayfasının devamı diğer sayfada da devam ediyorsa, aynı ek numarası ile ve aynı başlıkla verilmeli, ancak ek numarasından hemen sonra “(Devam)” ibaresi konulmalıdır.



İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Nagehan TAŞDEMİR Son Benzerlik Sonuç Raporu

ORJİNALLİK RAPORU

% **18**

BENZERLİK ENDEKSİ

% **16**

İNTERNET KAYNAKLARI

% **7**

YAYINLAR

% **6**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	earsiv.batman.edu.tr İnternet Kaynağı	%4
2	Submitted to Artvin Āoruh Āniversitesi Öğrenci Ödevi	%2
3	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%2
4	www.tarimorman.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
5	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%1
6	Submitted to Batman University Öğrenci Ödevi	%1
7	9dok.net İnternet Kaynağı	%1
8	www.researchgate.net İnternet Kaynağı	<%1
9	earsiv.anadolu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
10	dspace.akdeniz.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
11	Şahin, Betül. "Küresel bir Sorun: Su Kıtılığı ve Sanal su Ticareti", Hitit University (Turkey) Yayın	<%1

acikerisim.uludag.edu.tr

KURUM İZNİ YAZILARI

Evrak Tarih ve Sayısı: 07.04.2025-174059



T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Genel Sekreterlik
Yazı İşleri Müdürlüğü



Sayı : E-12475423-605-174059
Konu : Yüksek Lisans Tez Çalışması İçin
Meteorolojik Veri Talebi

METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜNE

Üniversitemiz Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Ayla BİLGİN'in danışmanı olduğu Nagehan TAŞDEMİR'in yüksek lisans tez çalışmasında kullanılmak üzere Genel Müdürlüğünüz MEVBİS sisteminden talep ettiği ekte yer alan meteorolojik verilerin Genel Müdürlüğünüzden temin edilebilmesi hususunda;
Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Prof. Dr. Atakan ÖZTÜRK
Rektör Yardımcısı

Ek:Yazı Örneği (2 sayfa)

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : *BSC424ZZY4* Pin Kodu : 83182

Belge Takip Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/artvin-coruh-universitesi-cbys>

Adres: Artvin Çoruh Üniversitesi Rektörlüğü Merkez Yerleşke 08100 ARTVİN

Telefon: 0 466 215 10 00 Faks: 0 466 215 10 55

E-Posta: yazisleri@artvin.edu.tr Web: www.artvin.edu.tr

Keş Adresi: artvincoruhuni@hs01.kep.tr

Bilgi için: Faruk ORAL

Unvanı: Şef

Tel No: 04662151000

