



Assessment of water footprint of production: A case study for Diyarbakır province

Abdullah Muratoğlu

Department of Civil Engineering, Batman University, Batman, 72100, Turkey

Highlights:

- Detailed analysis of agricultural, livestock and domestic/industrial water footprint for Diyarbakır province
- The effect of dry and wet seasons on the water footprint of the study area
- Virtual water contents of agricultural products growing in the region

Keywords:

- Water footprint
- Diyarbakır
- Blue water
- Evapotranspiration
- Crop production

Article Info:

Research Article

Received: 24.03.2019

Accepted: 02.07.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.543933

Correspondence:

Author: Abdullah Muratoğlu
e-mail: abdullah.muratoglu@batman.edu.tr
phone: +90 488 217 37 28

Graphical/Tabular Abstract

Rapid urbanization, increasing per capita water consumption and pollution together with the developing industry necessitated to process more effective measurement, management and decision mechanisms on regional water resources. The concept of water footprint (WF) is a new parameter that has been introduced to the scientific literature in recent years similar to the ecological and carbon footprints. The water footprint of any field or product refers to the total volume of water resources that is processed or contaminated directly or indirectly during the production process. The current work is one of the first studies assessing and discussing the water footprint indicators of Diyarbakır province.

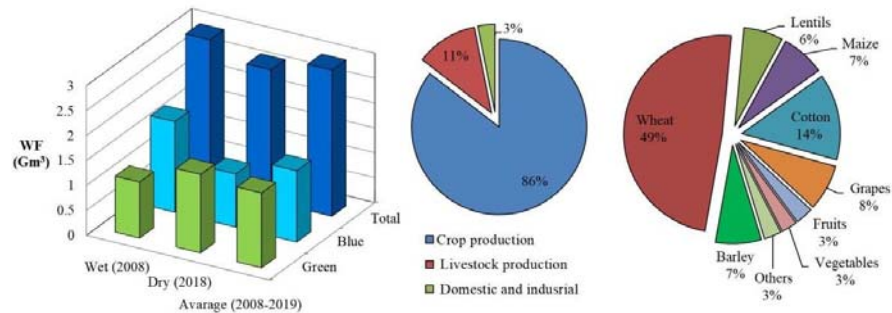


Figure A. Water footprint of production in Diyarbakır province for 2008-2019

Purpose: The main purposes of this study are; analyzing blue and green water footprints of agricultural, livestock, industrial production and domestic use in Diyarbakır province for 2008-2019, determining the virtual water contents of crops produced in the region, analyzing the effect of dry and wet seasons on the water footprint of the region.

Theory and Methods:

Recently developed water footprint methodology has been used. The blue and green evapotranspiration amounts were estimated by CWR option in CROPWAT 8.0 software. Wide range of statistical data including long term meteorological data, areal rainfall statistics, local crop coefficients, cultivation area, crop production amounts, animal statistics, industrial and domestic water consumption data have been utilized.

Results:

Average annual water footprint of the study area of 11 years between 2008-2019 was determined to be 3.4 Gm³. Agriculture is the most water intensive sector being responsible from 86 % of total water footprint. Wheat is identified to be the most important crop which consumes around 42 % of total (ground, surface and rainfall) water. The green water ratio of wheat was determined as 73 % which significantly reduces the blue water dependency of the region. On the other hand, cotton, grapes and maize production were found to be critical because of their high production amounts together with having extremely high blue (surface and ground) water shares, specifically at the study area. The water footprint indicators of wet and dry seasons were also analyzed and discussed. It is determined that, the blue water ratio could be significantly increased up to 60 % in the dry seasons, despite considerably lower crop production amounts.

Conclusion:

The study area owns very fertile lands for crop production. However, limited water resources and scarcity of the region restrict the agricultural and other water intensive sectors' activities. Sustainability of fresh water resources of the study area could be provided by reducing the water footprint and blue water contents. This study is expected to contribute the local and national authorities to develop more accurate water management policies at the study area.



Üretimin su ayak izinin incelenmesi: Diyarbakır ili için bir vaka çalışması

Abdullah Muratoğlu*

Batman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 72100, Batman, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Diyarbakır ilinin tarımsal, hayvancılık ve evsel/endüstriyel su ayak izinin detaylı analizi
- Kurak ve sulak sezonların çalışma alanındaki su ayak izine etkisi
- Bölgede yetiştirilen tarımsal ürünlerin sanal su muhtevaları

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 24.03.2019

Kabul: 02.07.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.543933

Anahtar Kelimeler:

Su ayak izi,
Diyarbakır,
mavi su,
evapotranspirasyon,
bitkisel üretim

ÖZET

Hızlı kentleşme, kişi başına düşen su tüketiminin artması ve gelişen endüstriye paralel olarak su kirliliğinin artması, bölgesel su kaynakları üzerinde daha etkili ölçüm, yönetim ve karar mekanizmalarının işleme alınmasını gerekli kılmıştır. Su ayak izi (SA) kavramı, özellikle su kaynakları yönetimine destek sağlamak için ekolojik ve karbon ayak izlerine benzer şekilde son yıllarda literatüre kazandırılan yeni bir parametredir. Herhangi bir alan veya ürünün su ayak izi, üretim süreci boyunca doğrudan veya dolaylı olarak işleme alınan veya kirletilen su kaynaklarının toplam hacmini ifade eder. Bu çalışmanın temel amacı, 2008-2019 yılları arasında Diyarbakır ilinde tarım, hayvancılık, endüstriyel üretim ve evsel kullanımından kaynaklanan mavi ve yeşil su ayak izlerinin detaylı olarak analiz edilmesidir. Buna göre, bölgenin ortalama SA değeri 3,43 milyar m³/yıl olarak hesaplanmıştır. İl genelindeki su kaynaklarının büyük çoğunluğunun %86'lık bir oranla tarımsal ürünlerin yetiştirilmesinde kullanıldığı, mevcut taze suyun %49'unun yüzey ve yeraltı suyundan tedarik edildiği ve kurak sezonda bu oranın %62'ye kadar yükseldiği tespit edilmiştir. İlde yetiştirilen tarımsal ürünlerin sanal su muhtevaları ve toplam su kullanımları ayrıca hesaplanmış ve tartışılmıştır. Mevcut çalışma, ülkemizde yapılan ilk bölgesel SA analizlerinden biri olup, tarımsal planlama, evsel ve endüstriyel su tahsisi, atık yönetimi ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği gibi konularda katkıda bulunması beklenmektedir.

Assessment of water footprint of production: A case study for Diyarbakır province

H I G H L I G H T S

- Detailed analysis of agricultural, livestock and domestic/industrial water footprint for Diyarbakir province
- The effect of dry and wet seasons on the water footprint of the study area
- Virtual water contents of agricultural products growing in the region

Article Info

Research Article

Received: 24.03.2019

Accepted: 02.07.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.543933

Keywords:

Water footprint,
Diyarbakır,
blue water,
evapotranspiration,
crop production

ABSTRACT

Rapid urbanization, increasing per capita water consumption and pollution together with the developing industry necessitated to process more effective measurement, management and decision mechanisms on regional water resources. The concept of water footprint (WF) is a new parameter that has been introduced to the literature in recent years similar to the ecological and carbon footprints to support water resource management works. The WF of any field or product refers to the total volume of water resources that is processed or contaminated directly or indirectly during the production process. The main purpose of this study is to analyze blue and green water footprints of agricultural, livestock, industrial production and domestic use in Diyarbakır province for 2008-2019. Accordingly, the average WF value of the study area was calculated to be 3.43 billion m³/year. The majority of the water resources in the province corresponding 86% of all water resources is used for the cultivation of agricultural products. Also, 49% of freshwater was supplied from surface and ground water which increases up to 62% in dry season. The virtual water contents and water utilization of agricultural products were also calculated and discussed. The current study is one of the first regional WF analyzes performed in Turkey and it is expected to contribute to agricultural planning, domestic and industrial water allocation, waste management and sustainability works of water resources.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: abduallah.muratoglu@batman.edu.tr / Tel: +90 488 217 37 28

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Su, birçok sektörde vazgeçilmez olarak kullanılan en önemli doğal kaynaktır. Büyük medeniyetler çoğunlukla Nil, Dicle ve Fırat gibi önemli nehirler etrafında kurulmuştur. Günümüzde su kaynakları, içme ve sulama suyu [1] temini ve enerji üretiminde sürdürülebilir kalkınma açısından son derece önemli bir konuma sahiptirler [2]. Ancak, kişi başı su tüketiminin artması, dünya nüfusundaki artış ve endüstrinin gelişmesine paralel olarak su kirliliğinin artması [3] mevcut su kaynaklarını tehdit etmeye başlamıştır. Bu bağlamda, suyun daha verimli kullanılması, kalite [4] ve miktar [5] yönünden daha etkili su yönetiminin sağlanması için uluslararası alanda yapılan çalışmaların sayısı son yıllarda hızla artmıştır. Özellikle küresel iklim değişikliği etkilerinin yoğun olarak hissedildiği bu dönemde, bölgesel su kapasitelerinin ve tüketimlerinin tahmin edilmesi, modellenmesi, kaynakların doğru planlanması ve yönetimi büyük bir önem taşımaktadır [6].

Dünya'daki tatlı su potansiyelinin, toplam su miktarının %2,5'ine denk gelmesi [7] ve küresel ölçekte, toplam su kaynaklarının sadece %0,3'ünün insan kullanımına uygun olduğu [8] gerçeği dikkate alındığında, mevcut suyun miktar ve kalitesine verilmesi gereken önem daha iyi anlaşılmaktadır. Su ihtiyacındaki ve kirliliğindeki artışa rağmen kaynakların sınırlı olması [9] veya azalması [10], ulusal ve bölgesel su yönetimi çalışmalarının önemini her geçen gün artırmıştır. Su yönetimi kavramı, su kaynaklarının daha etkin [11] ve planlı bir şekilde kullanılması [12], dağıtım ve işletmedeki verimin artırılması, aynı zamanda su kalitesi parametrelerine kontrol ve müdahale edilmesi konusundaki çalışmaların bütünü kapsamaktadır. Su yönetimi konusundaki uluslararası stratejilerden en önemlilerinden biri olan Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifinde (EU-WFD) [13] suyun bir ticari ürün olmadığı ve savunulması, korunması ve gereğince kullanılması gereken bir miras olduğu ifade edilmekte ve üye ülkelerin su kütlelerinin ekolojik durumlarını ortaya çıkarmaları hususunda resmi zorunluluklar getirilmektedir [14].

Su ayak izi (SA) kavramı, karbon ve ekolojik ayak izlerine benzer bir şekilde bilimsel literatüre son yıllarda kazandırılan konulardan biridir. Bölgesel SA hesapları, beşeri etmenlerin yerel su kaynakları üzerindeki etkisinin ortaya çıkarılması ve doğal ekosistemin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından su yönetimi çalışmalarına [15] katkıda bulunmaktadır. SA kavramının temelleri Hoekstra vd. [16] tarafından atılmış ve bu konudaki ilk çalışmalar Chapagain ve Hoekstra [17, 18], Hoekstra ve Hung [19], Mekonnen ve Hoekstra [20] tarafından yapılmıştır. SA metodu kullanılarak herhangi bir ürün, süreç veya alanın toplam su ayak izi hesaplanabilmektedir. Herhangi bir ürünün su ayak izi, o ürünün üretim süreci boyunca kullanılan, tüketilen, işleme alınan veya kirlenilen toplam su hacmi olarak tanımlanmaktadır. Herhangi bir alandaki su ayak izi ise, sınırları belli bir uzamsal ölçekte işleme alınan veya kirlenilen toplam suyu ifade etmektedir.

Geleneksel su kullanım hesapları sadece tüketilen yüzey ve yeraltı suyunu dikkate almaktadır [21]. Ancak, küreselleşen dünyada bu yaklaşım artık tavsiye edilmemekte ve konuya bütüncül bir bakış açısı ile yaklaşılması gerekmektedir [22]. SA metodu, toplam su hacminin yanı sıra kullanılan suyun türünü ve kapsamını da ifade etmesi bakımından geleneksel su kullanım hesaplarından farklıdır. SA teorisinde, kullanılan suyun türü mavi, yeşil ve gri olmak üzere üç temel kategoride incelenmektedir. Mavi su ayak izi, işleme alınan yüzey ve yeraltı sularının toplam hacmini; yeşil su ayak izi ise işlemde geçirilen toplam yağmur suyu hacmini ifade etmektedir [23]. Evapotranspirasyon (ET) ve başka bölge ve havzalara su transferi de mavi ve yeşil SA parametrelerinin içine gömülmüştür. Dolayısıyla, eğer yapay veya beşeri bir süreçten bahsediliyorsa, mavi su ayak izinin yüksek olması, daha çok yüzey ve yeraltı suyunun kullanıldığı anlamına gelmekte olup, bu durum su stresi problemlerinin artmasına [15] neden olacaktır. Herhangi bir ürünün yeşil su ayak izinin yüksek olması ise, üretiminin daha çok yağmur suyu katkısı ile sağlandığı [24] anlamına gelmektedir. Sürdürülebilirlik parametresi olarak, özellikle tarımsal ürünlerin yeşil su ayak izinin mavi su ayak izine nispeten daha yüksek olması [25] beklenmektedir. Son olarak, gri su ayak izi de herhangi bir ürünün, üretim süreci boyunca veya mevcut bölgedeki kirleticilerin çevresel standartlara uygun bir şekilde asimile edilebilmesi [26] için gereken temiz su hacmini ifade etmektedir. Toplam su ayak izi, mavi, yeşil ve gri bileşenlerin toplamıdır. Gri su ayak izi, özellikle sanayi kapasitesinin az olduğu bölgelerde düşüktür. Dolayısıyla, mavi ve yeşil su ayak izlerinin hesaplanması, herhangi bir bölgenin toplam su ayak izini yansıtmaya açısından yeterli olmaktadır [17, 27].

Su ayak izi çalışmalarında kullanılması gereken veri sayısının fazla olması, yapılması gereken analizlerin karmaşıklığı ve SA kavramının nispeten yeni bir parametre olmasından dolayı bu konudaki çalışmalar oldukça yetersizdir [28]. İlk ülke bazındaki SA çalışmalarından biri Mekonnen ve Hoekstra [29] tarafından yapılmıştır. Adı geçen çalışmada, birçok ülkenin üretim ve tüketimden kaynaklanan su ayak izleri nispeten düşük çözünürlükte hesaplanmıştır. Benzer bir şekilde Chapagain ve Hoekstra [17] tarafından yapılan çalışmada ülke bazında su ayak izleri daha geniş bir çözünürlükte hesaplanmış olup uluslararası sanal su transferi kavramı detaylı incelenmiştir. Yine, farklı alansal çözünürlüklerdeki tarımsal ürünlerin su ayak izi Mekonnen ve Hoekstra [30, 31] tarafından yapılan çalışmalarda analiz edilmiştir. Esasında, tarımsal ürünlerin, bölgesel su ayak izi hesaplarında ciddi bir oran arz etmesinden dolayı bu konuda yapılan çalışmaların çeşitliliği fazladır [32-34]. Ancak tarımsal su ayak izinin tamamen bölgenin meteorolojik ve klimatolojik etkilerine bağlı olmasından dolayı bölgesel hesaplar ön plana çıkmaktadır [35-38]. Dünya nüfusunun %50'si, %2'lik toplam yerleşim alanına sahip şehirlerde yaşamaktadır. Bu oranın 2050 yılında %70 seviyesine çıkması beklenmektedir [39]. Nüfus yoğunluğunun su kaynaklarının kullanımına doğrudan etki eden [40, 41] bir parametre olmasından dolayı şehir odaklı

SA analizleri, ilgili şehrin su kaynaklarının daha düzenli ve verimli kullanılması açısından önem taşımaktadır [42]. Bu bağlamda, Diyarbakır ilinin nüfus parametrelerine bakıldığında son 30 yılda ciddi bir artış gözlenmektedir. Bölgenin kurak iklimine ilaveten, nüfus ve tarımsal üretim kapasitesinin artması, su ihtiyacının büyük bir bölümünün mavi su olarak bilinen yüzey suyu ve yeraltı suyundan karşılanmasına sebep olmuştur. Bununla birlikte, il genelinde yeraltı suyu kapasitesindeki düşüş birçok çalışmada raporlanmıştır [43]. Dolayısıyla il genelinde su kullanan sektör ve süreçlerin karşılaştırılmalı olarak incelenmesi, şehrin su yönetim ve planlama çalışmalarına destek olacaktır.

Mevcut çalışmanın temel amacı, Diyarbakır ilinin üretime dayalı toplam su ayak izinin analiz edilmesidir. Bu bağlamda tarım ve hayvancılık sektörleri ile evsel ve endüstriyel su kullanımlarının mavi ve yeşil su ayak izleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bölgedeki sanayi hacminin nispeten az olması [44] ve il genelindeki su kirliliği verilerinin kısıtlı olmasından dolayı gri su ayak izi bu çalışma kapsamında incelenmemiştir.

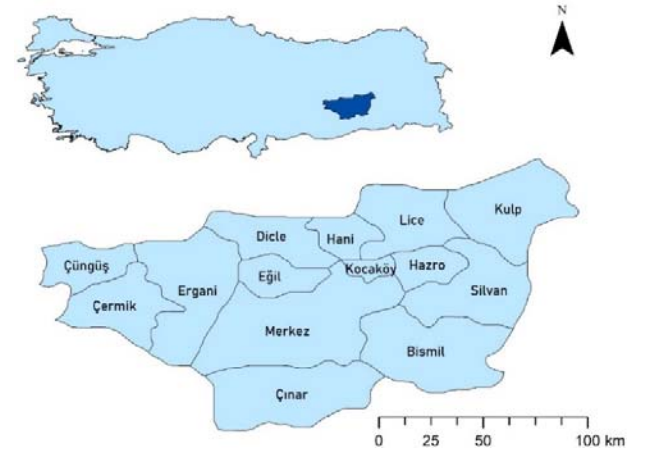
Mevcut çalışma, 2008-2019 arasındaki yıllar için yapılmış olup literatürdeki diğer SA analizlerine nispeten güncel veri kullanılmıştır. Öte yandan, su ayak izinin en önemli bileşeni olan tarımsal su ayak izi hesabı yapılırken, bölgede ekimi yapılan geniş aralıktaki bitki çeşitliliği kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında Diyarbakır ili tüm ilçeleri ile beraber değerlendirmeye alınmıştır. Yazarın bilgisine göre mevcut çalışma ülkemizdeki ilk il bazındaki SA analizlerinden biri olmakla birlikte literatürde Diyarbakır ili özelinde yapılmış herhangi bir detaylı su ayak izi çalışmasına rastlanılmamıştır. Ancak küresel olarak farklı ülke veya havzaların su ayak izlerinin modellendiği birkaç rapor veya yayın mevcut olup, bu raporlardan çalışma alanı veya ülkemizin su ayak izi ile ilgili birtakım çıkarımlar yapmak mümkündür. Chapagain ve Hoekstra [17] tarafından yapılan çalışma bu konudaki ilk analizlerden biridir. Ancak adı geçen çalışmada su ayak izi modellenirken kullanılan girdiler (bitki karakteristikleri, evapotranspirasyon miktarları, bitkisel üretim istatistikleri) yüksek çözünürlüklü olmayıp ülkelerin 1997-2001 yılları arasındaki ortalama verileri kullanılmıştır. Öte yandan, Mekonnen ve Hoekstra [31, 45] tarafından yapılan çalışmada uluslararası veri tabanlarından elde edilen tahmini bilgiler ışığında 1996-2005 yılları arasında 5x5 arcmin çözünürlüklü küresel su ayak izi haritaları üretilmiştir. Pegram vd. [21] tarafından yapılan çalışmada ise Mekonnen ve Hoekstra [29] tarafından geliştirilen veriler temel alınıp Türkiye’de üretim ve tüketimin su ayak izi analiz edilmiştir. Bu çalışmanın, yukarıdaki çalışmalara karşı temel avantajları ise; özgün bir alan üzerinde çalışılması, yerel otoriteler tarafından üretilen güncel verilerin kullanılması ve geniş bir zaman periyodunun (11 yıl) tercih edilmesidir. Buna göre, çalışma alanı için ölçülen veya hesaplanan alansal yağış ortalamaları, bitki katsayıları, bitkisel üretim, hayvancılık, su tüketim ve nüfus istatistikleri gibi yerel otoriteler tarafından geliştirilen verilerin kullanılmasına dikkat edilmiştir.

Literatürde, havza ve ülke bazında yapılan çalışmalara nispeten, şehir ölçekli su ayak izi çalışmalarının sayısı oldukça kısıtlıdır. Vanham ve Bidoglio [46] tarafından yapılan çalışmada Milan şehrinin su ayak izi analiz edilmiş, evsel, endüstriyel ve tarımsal üretim ve tüketimde işleme alınan toplam suyun miktar ve oranları bulunmuş ve önemli ölçüde dışarıya bağımlı olduğu rapor edilmiştir. Hoff vd. [42] tarafından yapılan çalışmada Berlin, Delhi ve Lagos şehirlerinin sanal su ticareti kapsamında ithal ettikleri suyun detayları tartışılmıştır. Bunlara ilaveten, farklı şehirler için; endüstriyel su ayak izi ve suyun optimum kullanımı [47], büyük şehirlerde enerji sektörünün su ayak izi [48], şehirleşmenin su ayak izine etkisi [49-51], az şehirleşme oranına ve zengin su kaynaklarına sahip bölgelerin su ayak izi [52, 53], şehir bazında tarımsal [54], evsel [55], yeraltı suyu ayak izi [56], gri ve yeşil su ayak izleri [57] ve direk su kullanımının [58] su ayak izleri literatürde tartışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHOD)

2.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Diyarbakır, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin orta kısımlarında ve Mezopotamya’nın kuzeybatı bölgesinde kalmaktadır. 37°30’–38°43’ kuzey enlemleri ile 40°37’–41°20’ doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlçeleri ile beraber, karasal sınırları 15355 km² civarındadır. Şehirde, sert subtropik karasal iklim hâkimdir. Çalışma alanında (Şekil 1), özellikle yaz aylarında yağışın az olduğu sıcak ve kurak günler yaşanmakta iken, kışlar nispeten yumuşak ve yağışlı geçmektedir. Uzun dönem meteorolojik raporlara göre ilin yıllık sıcaklık ortalaması 15,8°C, yağış yüksekliği ise 474,9 mm olarak ölçülmüştür [59]. Bölge, Güneydoğu Torosların etkisinden dolayı yılın dört ayında bunaltıcı sıcaklıkların etkisinde kalmakta, yaz aylarında günlük sıcaklık ortalaması 45-50°C’ye varmaktadır [60].



Şekil 1. Çalışma alanı (The study area)

Diyarbakır ili, Dicle havzası içinde yer alan önemli toprak ve su kaynaklarına sahiplik etmektedir. Dicle havzası özellikle tarımsal aktiviteler bağlamında dünyanın en önemli havzalarından biridir. Ülkemiz dışındaki kısımları da hesaba katılırsa, Batı Asya’nın en geniş 2. havzası olarak bilinmektedir. Dicle havzasının ülkemiz içerisindeki alanı

54000 km² civarında olup, bu rakam, havzanın toplam alanının çeyreğine denk gelmektedir [61]. Buna rağmen havzanın toplam debisinin yarısından fazlası Türkiye'den doğmaktadır. Dicle havzasının toplam yüzey suyu kapasitesi ortalama 594 m³/s olmakla birlikte, yüksek mevsimsel değişimler mevcuttur [62]. Ancak, son yıllarda özellikle Kralkızı ve Dicle barajlarının [63] yapılması ile debideki ani değişimler büyük ölçüde azalmıştır [43]. Önemli su kaynaklarına sahip olmasına rağmen, Dicle havzasının son yıllarda su kıtlığı problemleri yaşamaya başlamış olması gelecekte enerji üretimi, evsel ve endüstriyel su tahsisi konularında problemler oluşturacağı öngörülerini artırmaktadır [64].

2.2. Veri (Data)

Su ayak izi analizlerinde geniş aralıkta veri girdisine ihtiyaç duyulmaktadır. Herhangi bir bölgenin su ayak izi araştırılırken yapılan analizlerin doğruluğu, kullanılan veri kalitesi ile doğrudan ilgilidir. Bu çalışma kapsamında, ulusal ve uluslararası kurum ve veri tabanlarından Diyarbakır ili için elde edilen birçok veri kullanılmıştır. Ancak iklim özellikleri, bitki karakteristikleri gibi çalışma alanına özgü hususlarda tahmini veriler yerine yerinde ölçülen gerçek verilerin kullanılması tercih edilmiştir. Aylık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklıklar, nispi nem, rüzgâr hızı, güneşlenme saati, güneş radyasyonu ve aylık ortalama yağış değerlerini barındıran uzun yıllar meteorolojik veriler CLIMWAT 2.0 [65] yazılımından temin edilmiş olup bu veriler referans evapotranspirasyon (ET_0) tahmininde kullanılmıştır. Etkili yağış (P_{eff}), dolayısıyla mavi ve yeşil evapotranspirasyon değerlerinin modellenmesi için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınan 2008-2019 yılları için 11 yıllık aylık alansal yağış ortalaması verisi kullanılmıştır. İl sınırları dâhilinde ekimi yapılan bitkilere ait bitki katsayıları (K_c), ekim ve hasat tarihleri, başlangıç,

gelişme, orta ve son dönem uzunlukları ilgili ulusal raporlardan [66] temin edilmiştir. Son olarak, bölgede ekimi yapılan tarımsal ürünlerin toplam üretim miktarları (ton), ekili alan bilgileri (ha) ve verimlerinin yanı sıra il genelinde yetiştirilen büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanı sayıları, toplam nüfus ve belediyeler tarafından konut ve endüstriye tahsis edilen toplam su hacmi verileri Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) tedarik edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan verilerin detayları ve değerlendirmeye alınan bitki türleri Tablo 1'de detaylandırılmıştır.

2.3. Metot (Method)

Bu çalışma kapsamında, Hoekstra vd. [16] tarafından geliştirilen su ayak izi metodu kullanılmıştır. Bu modele göre, alan bazlı su ayak izi hesaplarının üç temel bileşeni vardır. Bunlar; tarımsal su ayak izi, hayvancılığın su ayak izi ve son olarak evsel ve endüstriyel su ayak izleri olarak sıralanabilir (Eş. 1). Tarımsal su ayak izi, herhangi bir uzamsal ölçekte, toplam su ayak izinin en büyük orana sahip bileşeni olup ekimi yapılan bitkilerin toplam mavi ve yeşil su ihtiyaçları gözetilerek tahmin edilmektedir [73]. Öte yandan, hayvancılığın su ayak izi hesaplanırken, bölgede yetiştirilen çiftlik hayvanları tarafından doğrudan ve dolaylı yollardan işleme alınan toplam su hacmi kullanılmaktadır [74]. Hayvancılığın içme ve kullanma suyundan ibaret olan doğrudan su tüketimi genellikle %2 civarında olup, toplam su tüketiminin %98'i hayvan yemlerinin üretim sürecinde kullanılmaktadır. Bu bağlamda, hayvancılık sektöründe işleme alınan suyun büyük bir çoğunluğu, tarımsal su ayak izine benzer bir şekilde, yine, arpa, mısır ve yonca gibi yem bitkilerinin üretimi için gerekli tarımsal aktivitelerde kullanılan veya kirletilen sudan ibarettir. Son olarak, evsel ve endüstriyel su ayak izi, toplam su ayak izinin en küçük bileşenidir [75]. Geleneksel su kullanım hesapları tarafından bilinenin aksine, sanayi ve kentsel su ihtiyaçlarının

Tablo 1. Mevcut çalışmada kullanılan veriler (Employed data within this study)

Verinin türü	Detaylar	Periyod	Kaynak
Meteorolojik veri	Aylık maksimum sıcaklık, aylık minimum sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı, güneşlenme saati, güneş radyasyonu, aylık ortalama yağış değerleri	1970-2000	[65, 67]
Yağış	Aylık yağış ortalaması	2008-2019	[68]
Bitki karakteristikleri	Ekim tarihi, hasat tarihi, başlangıç, gelişme, orta ve son dönem uzunlukları, bitki katsayıları (K_c)*	-	[66, 69]
Bitkisel üretim istatistikleri	Ekim alanı, hasat tonajları ve verim*	2008-2018	[70]
Hayvancılık istatistikleri	İl genelinde yetiştirilen toplam büyükbaş hayvan, keçi, koyun ve kümes hayvanı sayıları	2008-2018	[70]
Birim hayvan SA değerleri	Türkiye için canlı hayvan başına düşen mavi ve yeşil su ayak izi değerleri	1996-2005	[71, 72]
Su tüketim istatistikleri	Kişi başına düşen endüstriyel ve evsel su tüketim istatistikleri	2008-2018	[70]
Nüfus istatistikleri	İl merkezi ve ilçe sınırları dâhilindeki toplam nüfus ortalaması	2008-2018	[70]

*Değerlendirmeye alınan bitki türleri: Arpa, ayçiçeği, ayva, badem, bamya, biber, buğday, çeltik, çilek, domates, elma, erik, fasulye, hiyar, incir, karpuz, kavun, kiraz, mercimek, dane mısır, silajlık mısır, nar, nohut, pamuk, patlıcan, soğan, susam, üzüm, vişne, yonca ve zeytin

karşlanması için belediyeler tarafından tahsis edilen su, beşeri yollarla işletilen toplam suyun sadece %10'una denk gelmektedir [76].

$$SA = SA_T + SA_H + SA_E \quad (1)$$

Burada, SA , toplam su ayak izi; SA_T , tarımsal su ayak izi; SA_H , hayvancılığın su ayak izi, SA_E ise çalışma alanındaki evsel ve endüstriyel su ayak izidir.

Tarımsal su ayak izinin tahmin edilebilmesi için öncelikle yeşil ve mavi ET değerlerinin bulunması gerekmektedir. Mavi ET, yüzey ve yeraltı suyundan olan evapotranspirasyon, yeşil ET ise yağıştaki evapotranspirasyon olarak özetlenebilir. Bu çalışma kapsamında, her bir bitkinin evapotranspirasyon değerinin bulunması amacı ile uzun dönem meteorolojik veriler, son yıllar yağış ortalamaları ve ekimi yapılan bitkilerin karakteristik özellikleri CROPWAT 8.0 programına girdi olarak tanımlanmıştır. Söz konusu program, bitkilerin sulama suyu ihtiyacının modellenmesi amacıyla Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilen bir yazılımdır [77]. Referans evapotranspirasyon (ET_0) hesabının yapılabilmesi için, adı geçen program kullanılarak uzun dönem iklim verisine Penman-Monteith metodu (Eş. 2) uygulanmıştır. Bitkisel evapotranspirasyon (ET_c) değerleri ise çalışma kapsamında kullanılan her bir tarımsal ürün için bitki katsayıları (K_c), gelişme periyodu uzunlukları ve ET_0 değerleri kullanılarak (Eş. 3) CROPWAT 8.0 programı ile hesaplanmıştır. Mavi ve yeşil ET değerleri tahmin edilirken ilgili yazılımın CWR (bitki su ihtiyacı) seçeneği tercih edilmiştir. Bitki su tüketimlerinin (BST) hesaplanması için bu çalışma kapsamında kullanılan model Eş. 4 ve 5'te verilmiştir. Etkili yağışın modellenmesi için ise USDA-SCS metodu kullanılmıştır [78].

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2)$$

$$ET_c = K_c x ET_0 \quad (3)$$

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

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

Burada, ET_0 ; referans evapotranspirasyon (mm/gün), R_n ; bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ/m²gün), G ; zeminin ısı değişim yoğunluğu (MJ/m²gün), T ; hava sıcaklığı (°C), u_2 ; rüzgâr hızı (m/s), e_s ; doymuş buhar basıncı (kPa), e_a ; gerçek buhar basıncı (kPa), Δ ; buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/°C), γ ; psikometrik sabit (kPa/°C), K_c ; bitki katsayıları, ET_c ; bitkinin yıllık evapotranspirasyon değeri (mm/yıl), P_{eff} ; etkili yağış (mm) ve son olarak ET_{mavi} ve $ET_{yeşil}$ ise sırasıyla mavi ve yeşil evapotranspirasyon değerleri (mm/yıl) olarak tanımlanmaktadır.

Bitki su tüketimi (BST) değerleri (Eş. 6-7) hesaplandıktan sonra, her bir tarımsal ürünün il genelindeki verim değeri kullanılarak bitkilerin sanal su muhtevaları (SSM) tahmin edilmiştir (Eş. 8-9). Sanal su muhtevası, bir ürünün veya sürecin arka planında harcanan veya işletilen toplam su anlamına gelmekte olup genellikle birim ürün başına harcanan su hacmi olarak (m³/ton) tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, çalışma alanında her bir bitkinin mavi ve yeşil SSM değerleri ayrı ayrı hesaplandıktan sonra toplanarak (Eş. 10), bitkisel üretim tonajları da kullanılarak her bir ürünün su ayak izi tahmin edilmiş ve nihai olarak Diyarbakır ilinin toplam tarımsal su ayak izi (Eş. 11) hesaplanmıştır. Hayvancılığın su ayak izi hesaplarında ise bölgede yetiştirilen büyükbaş, keçi, koyun ve kümes hayvanlarının her birinin toplam sayısı ve literatürde Türkiye için geliştirilen canlı hayvanların su ayak izi değerleri kullanılmıştır [71]. Nihai olarak, bu çalışma kapsamında yapılan analizlere ait akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.

$$BST_{mavi} \left[\frac{m^3}{ha} \right] = 10 \sum ET_{mavi} \quad (6)$$

$$BST_{yeşil} \left[\frac{m^3}{ha} \right] = 10 \sum ET_{yeşil} \quad (7)$$

$$SSM_{mavi} \left[\frac{m^3}{ton} \right] = \frac{BST_{mavi}}{V} \quad (8)$$

$$SSM_{yeşil} \left[\frac{m^3}{ton} \right] = \frac{BST_{yeşil}}{V} \quad (9)$$

$$SSM = SSM_{mavi} + SSM_{yeşil} + SSM_{gri} \quad (10)$$

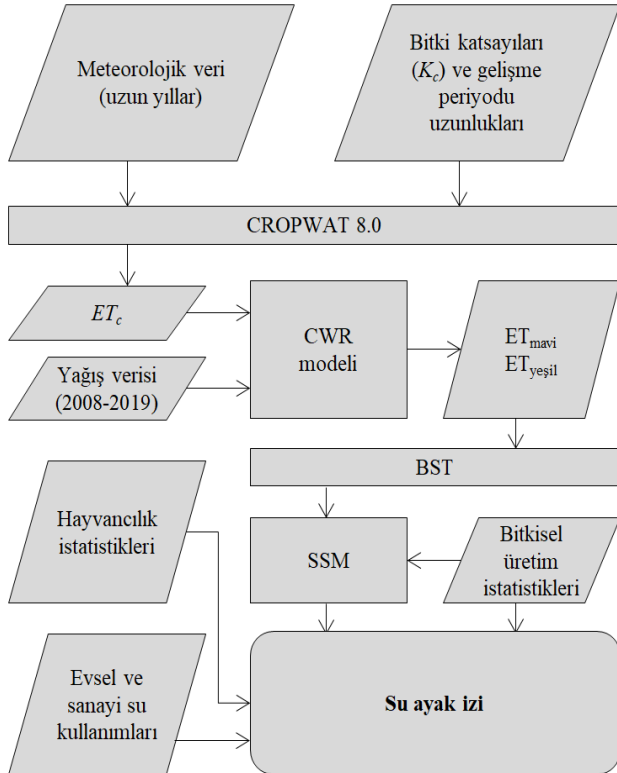
$$SA \left[m^3 \right] = \sum SSM_i \left[\frac{m^3}{ton} \right] x c_i [ton] \quad (11)$$

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Farklı Sektörlerin Su Ayak İzlerinin Karşılaştırılması (Comparison of Water Footprints of Different Sectors)

Çalışma alanında tarımsal üretim, hayvancılık ve evsel/endüstriyel olmak üzere üç ayrı sektörün yıllık toplam su ayak izi 2008-2019 zaman periyodundaki 11 yıl için ortalama 3,4 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Her bir sektörde işleme alınan mavi ve yeşil su miktarları Şekil 3'te görselleştirilmiştir. Buna göre, Diyarbakır ilinde tarımsal aktiviteler kapsamında kullanılan su 2,9 milyar m³ olup bu miktar, toplam su ayak izinin %86'sına karşılık gelmektedir. Beklendiği üzere, tarımsal su ayak izi, bir bölgede kullanılan en geniş su hacmini oluşturmaktadır. Bunun nedeni ise belli bir alandaki bitki örtüsünün ihtiyaç duyduğu

evapotranspirasyon (ET_c) miktarının diğer sektörler nazaran yüksek olmasıdır. Küresel ölçekte, beşeri süreçler sonucunda çıkartılan suyun %70'inden fazlasının [79]; Türkiye genelinde ise %74'ünün [80] tarımsal aktivitelerde kullanıldığı bilinmektedir. Bunun yanında, tarım sektörü, dünya çapındaki toplam temiz su kullanımının %90'ından sorumludur [81]. Özellikle karasal iklime sahip kurak bölgelerde tarımsal aktivitelerin su ayak izinin nispeten yüksek olduğu, benzer çalışmalar tarafından da doğrulanmıştır [17, 36]. Çalışma bölgesinin tarımsal su ayak izi, Bölüm 3.2 ve 3.3'te detaylı tartışılmıştır.



Şekil 2. Bu çalışma kapsamında yapılan SA analizinin akış diyagramı

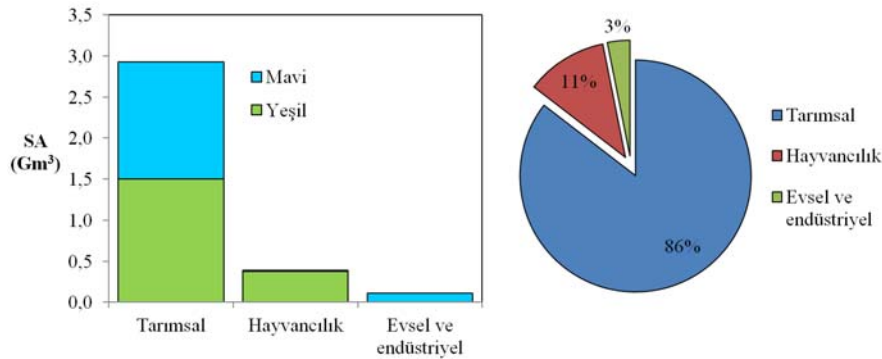
(Flow chart of water footprint analysis within this study)

Hayvancılığın su ayak izi ise, bu sektörde yetiştirilen büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarından et, süt veya diğer ürünlerin [82, 83] üretimi amacı ile doğrudan ve

dolaylı yollardan işleme alınan toplam su hacmi olarak tanımlanmıştır [84]. Yem bitkilerinin üretimi için kullanılan toplam su, küresel ölçekte tüm tarımsal aktivitelerin yaklaşık üçte birine karşılık gelmektedir [72]. Hayvan yemleri çoğunlukla başka havza ve bölgelerde üretildiği için mevcut çalışmada toplam hayvansal üretimin su ayak izi; Diyarbakır il sınırları içerisinde beslenen canlı hayvan sayısının, Mekonnen ve Hoekstra [72] tarafından yapılan çalışmadan elde edilen Türkiye şartlarındaki hayvansal üretimin birim su ayak izi değerleri ile çarpılması sonucu elde edilmiştir. Mevcut çalışma kapsamında hayvancılığın toplam su ayak izi 0,39 milyar m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 3). Bu rakam, bölgedeki toplam su ayak izinin %11'ine denk gelmekte olup büyük bir çoğunluğu, %74'lük bir oranla bölgedeki büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır. Çalışma alanındaki çiftlik hayvanlarının su ayak izlerinin miktar ve oranları Şekil 4'te detaylandırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, evsel ve endüstriyel su ayak izleri birlikte incelenmiş olup hesaplama sürecinde her iki sektöre aktarılan toplam su tahsis istatistikleri kullanılmıştır. Bu bağlamda Diyarbakır ili genelinde, belirtilen zaman periyodunda toplam evsel ve endüstriyel su kullanımı 0,11 milyar m³ civarında olup, toplam su ayak izinin sadece %3'ünü oluşturmaktadır (Şekil 3). Evsel kullanım ve endüstriye tahsis edilen toplam suyun (mavi su), çalışma alanındaki tarımsal su ayak izine oranla önemsiz olduğu göze çarpmaktadır. Esasında, Diyarbakır ilinin, sanayi kapasitesinin [85] ülkemizdeki diğer şehirlere göre az olması [44], bu sektördeki su ayak izinin nispeten düşük çıkmasına sebep olmuştur.

Su ayak izi metodu, bütün süreçler dâhilinde işleme alınan toplam su hacmini dikkate almasına karşın, geleneksel su kullanım hesapları sadece yüzey ve yeraltı biriktirme sistemlerinden direkt çekilen suyu analiz ederler. Su ayak izi çalışmalarının, geleneksel su kullanım hesaplarına karşı avantajlarından bir tanesi de kullanılan veya işletilen suyun yeşil, mavi ve gri olarak tabir edilen bileşenlere ayrılmasıdır. Yeşil su, temelde yağmur suyundan gerçekleşen evapotranspirasyon; mavi su ise yüzey ve yeraltı suyundan olan buharlaşma miktarıdır. Mevcut çalışmada, tarımsal aktiviteler kapsamında gerçekleştirilmesi gereken sulama miktarı, bitkilerin sulama suyu ihtiyacı (BSI) gözetilerek



Şekil 3. Diyarbakır il sınırları genelinde 2008-2019 yılları arasında yıllık su ayak izi bileşenleri
(Different components of water footprint of Diyarbakır for 2008-2019)

CROPWAT 8.0 programında daha önceden bahsedilen *CWR* modeli ile mavi su içerisinde dâhil edilmiştir. Bu çalışmada 2008-2019 zaman periyodu için elde edilen ortalama sonuçlara göre, yeşil su ayak izinin %55, mavi su ayak izinin ise %45'lik bir orana sahip olduğu hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki 1,8 milyar m³'lük yeşil suyun hesaba katılmış olması, daha hassas bir analiz yapılması açısından su bütçesi ve su yönetimi çalışmalarına destek sağlayacaktır. Kurak ve sulak yağış sezonlarının bölgesel su ayak izinin mavi ve yeşil bileşenlerine etkisi Bölüm 3.3'te detaylı tartışılmıştır.

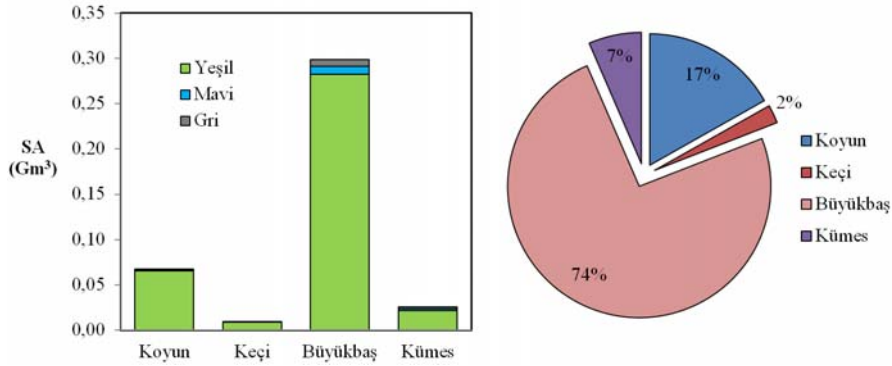
3.2. Tarımsal Üretimin Su Ayak İzinin Detaylı Analizi (Detailed Analysis of Water Footprint of Crop Production)

3.2.1. Su tüketimi yüksek olan başlıca tarım ürünleri (Main agricultural products of high water consumption)

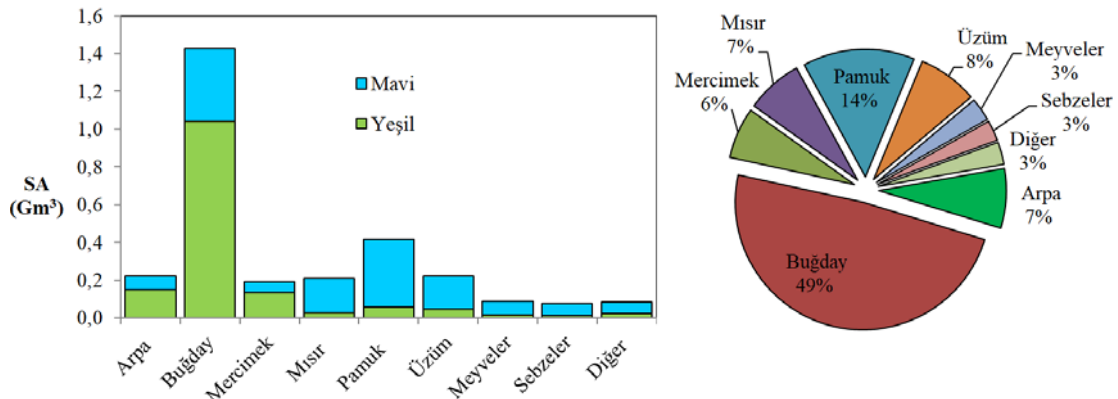
Diğer sektörlere nazaran en çok su kullanan faaliyet olmasına istinaden, çalışma alanındaki tarımsal üretimin su kullanım hususları bu bölümde ayrıca tartışılmıştır. Diyarbakır ilinde ortalama yağış sezonu için tarımsal su ayak izinin mavi ve yeşil bileşenleri sırasıyla 1,43 ve 1,50 milyon m³ olarak bulunmuş olup bu rakamlara göre tarımda kullanılan mavi su oranı %49'a denk gelmektedir. Küresel ölçekte tarımsal aktivitelerde yeşil su oranının %78 olduğu bilinmektedir [31]. Ülkemizde %75'e [29] denk gelen yeşil su oranı, Diyarbakır ilinin büyük bir kısmının da içinde bulunduğu Dicle havzası için %54 olarak hesaplanmıştır [28]. Her ne kadar karasal iklimde mavi su ayak izinin

yüksek olması beklense de bu durum yüzey ve yeraltı suyunun aşırı kullanılması sonucunu doğurmakta, özellikle su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde tarımsal aktiviteleri sınırlandırmaktadır. Dolayısıyla mavi ET miktarını düşürecek daha etkin sulama metotları devreye alınmalıdır.

Bölgede yetiştirilen 32 farklı tarımsal ürün (Tablo 1) dikkate alınarak 2008-2019 zaman dilimi için her bir ürünün yıllık ortalama su ayak izi ve oranı Şekil 5'te verilmiştir. Buna göre, il genelinde taze su kullanımının büyük çoğunluğu arpa, buğday ve mısır gibi tahılların üretimine dayanmaktadır. Çalışma alanında, buğday üretiminin ayrı bir önemi vardır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda buğdayın anavatanının Diyarbakır ve çevresi olduğu ve bu bölgede evcilleştirildiği raporlanmıştır [86]. Çalışma alanında 1,4 milyar m³ toplam su işleme kapasitesi olan buğday bitkisinin su ayak izinin, bölgedeki tarımsal ürünlerin %49'una, toplam su ayak izinin ise %42'sine karşılık geldiği hesaplanmıştır. Pegram vd. [21] tarafından yapılan çalışmada Diyarbakır ilinde mavi su takviyesi ile özellikle buğdaydaki verimin iki kat artırılabilirliği rapor edilmiştir. Dolayısıyla, bölgedeki tarımsal politikaların buğday üretimindeki sulama ve mahsul veriminin artırılması yönünde yoğunlaştırılması, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliği açısından ciddi önem arz etmektedir. Çalışma alanında buğday üretimi için kullanılan yeşil su oranı %73 olarak hesaplanmıştır. Dünya ortalamasına bakıldığında zaman bu oranın %70



Şekil 4. Çalışma alanında 2008-2019 için yıllık hayvancılığın su ayak izi
(Average annual livestock water footprint of study area for 2008-2019)



Şekil 5. Başlıca tarım ürünleri ve ürün gruplarının 2008-2019 arasında yıllık ortalama su tüketim miktar ve oranları
(Total annual water consumption amounts and rates of major agricultural products and product groups for 2008-2019)

civarında olduğu raporlanmıştır [30]. İl sınırları dâhilinde yetiştirilen buğdayın yeşil su ayak izinin, toplam su ayak izinin yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'üne denk gelmesi, bu ürünün büyük ölçüde yağmur suyuna bağlı olduğu anlamına gelmekte ve bölgenin mavi su ayak izini; dolayısıyla tarımsal sulama miktarını düşürmesi yönünden büyük önem taşımaktadır. Bölgede hasadı çok yapılan, ancak mavi su ayak izi nispeten yüksek olan ürünler mısır, pamuk ve üzüm olarak tespit edilmiştir. Özellikle bu üç ürün, 0,72 milyar m^3 taze su ile bölgede tüketilen yüzey ve yeraltı suyunun yaklaşık yarısından sorumludurlar. Dolayısıyla bu ürünlerdeki sulama veriminin artırılması, ilgili otoriteler tarafından bilhassa dikkate alınmalıdır. Meyve, sebze ve burada detayları verilmeyen diğer tarımsal ürünlerin toplam su ayak izi miktarları yukarıda verilen bitkilere nazaran önemsiz bulunmuştur. Ancak ileriye yönelik planlamalar hususunda bu ürünlerin sanal su muhtevalarının da tartışılması gerekmektedir.

3.2.2. Tarımsal ürünlerin sanal su muhtevaları (Virtual water contents of crop production)

Gölge su olarak da bilinen sanal su muhtevaları (SSM), ürünlerin arka planında kullanılan toplam suyu ifade etmekte ve birim ürün (ton) başına düşen temiz su hacmi (m^3) olarak tanımlanmaktadır [87]. Bu çalışma kapsamında incelenen ürün yelpazesinin sanal su muhtevaları Şekil 6'da karşılaştırılmıştır. Buna göre, sanal su muhtevaları en yüksek olan ürünler ayçiçeği, erik, kiraz, susam ve zeytin olarak tespit edilmiştir. Herhangi bir ürünün sanal su muhtevalarının yüksek olması, o ürünün yetiştirildiği bölgedeki verim ile direkt ilişkilidir [88]. Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için geleceğe yönelik planlamalarda geliştirilecek ürün bazı stratejiler hususunda, bu ürünlerin ülkemizde farklı bölgelerdeki sanal su muhtevaları, verimleri, ekonomik getirileri, dışa bağımlılık vb. durumların tümü birlikte incelenerek karar verilmelidir. Öte yandan, çalışma alanındaki sebze üretiminin, meyve üretimine nispeten daha

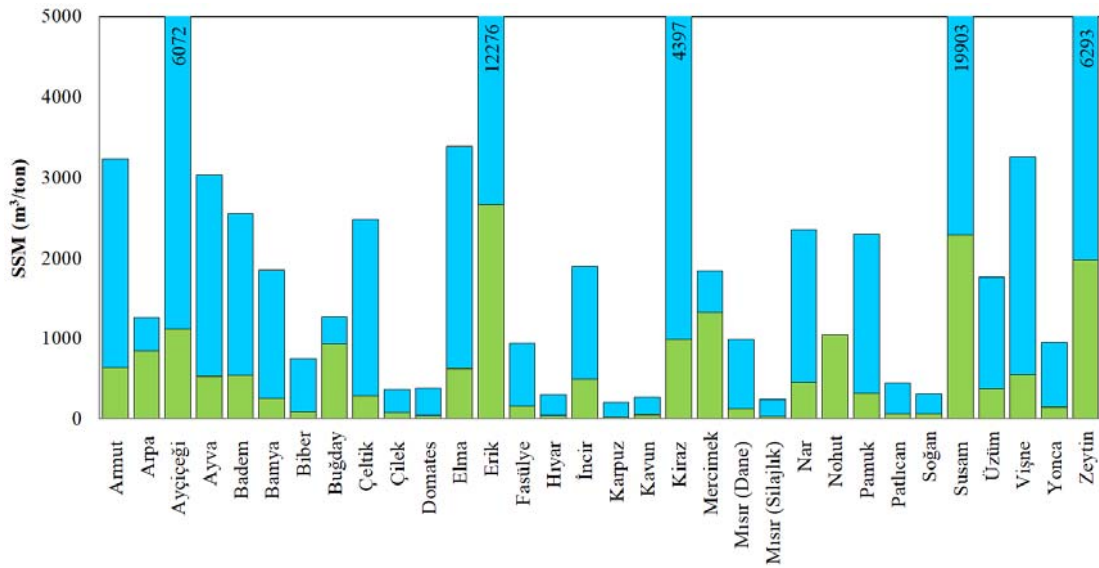
düşük sanal su barındırdığı tespit edilmiş olup, Pegram [21] tarafından yapılan çalışmada da bu durum Türkiye için doğrulanmıştır. Çalışma alanı için üretim kapasitesi açısından önem arz eden bitkilerin 2008-2019 yılları arasındaki sanal su muhtevaları Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 6 ve Tablo 2 birlikte incelendiğinde, arpa, buğday ve mercimeğin toplam sanal su muhtevalarının diğer bölgelere nazaran düşük; yeşil sanal su muhtevalarının yüksek olması, çalışma alanında bu ürünlerin üretiminin teşvik edilebileceği sonucunu doğurmaktadır. Mısırın (dane), pamuk ve üzümün sanal su muhtevalarının diğer bölgelere nazaran makul olmasına rağmen mavi su tüketimleri nispeten yüksek bulunmuştur. Bu ürünlerin ülkemizde farklı bölgelere sahip oldukları mavi su içerikleri detaylı analiz edilmelidir.

3.2.3. Kurak ve sulak sezonların su ayak izine etkisinin incelenmesi

(Investigating the effect of dry and wet seasons on water footprint)

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından ülkemizin uzun dönem (1981-2010) alansal yağış ortalama yüksekliği 574 mm olarak raporlanmıştır [90]. Son 11 yıllık yağış ortalamalarına bakıldığında 2008-2019 zaman dilimi içerisinde ülkemizde en kurak sezon, ortalama 452 mm yağış yüksekliği [91] ile 2008 yılı olmuştur. Öte yandan, ülkemiz 2018 yılında son 9 yılın en yüksek; son 30 yılın ise en yüksek ikinci yağış miktarını almıştır [92]. Yıllık alansal yağış ortalamalarına bakıldığında, Diyarbakır ili 2008-2019 zaman periyodunda 611 mm ortalama yağışa sahip olmasına karşın 2018 yılında 937 mm yağış yüksekliği ile son yılların en sulak sezonunu yaşamıştır (Şekil 7).

İklim parametrelerindeki zamansal değişimin çalışma alanındaki su kaynakları üzerindeki etkisinin görülebilmesi açısından, kurak sezon (2008 yılı), sulak sezon (2018 yılı) ve ortalama periyod için (2008-2019 yılları) tarımsal ürünlerin toplam su ayak izleri Şekil 8'de, farklı tarımsal ürünlerin



Şekil 6. Çalışma alanında üretimi yapılan farklı tarımsal ürünlerin uzun dönem sanal su muhtevaları*
(Long term virtual water contents of different agricultural products produced in the study area)

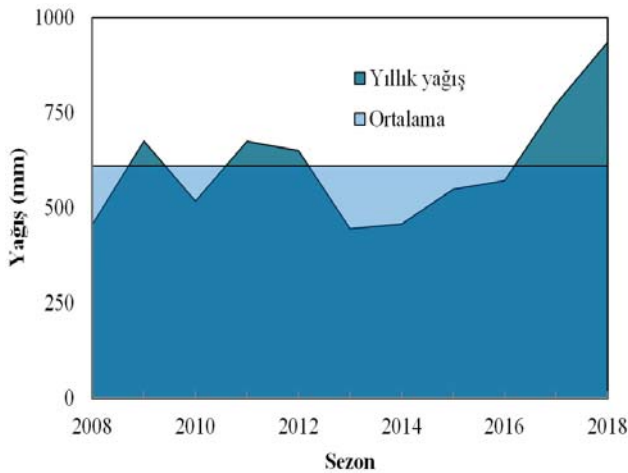
*Dikey eksen, daha iyi görünürlük açısından eksen sınırlanmıştır. Sınırlar dışında kalan değerler ile ilgili cıta üzerine not edilmiştir.

Tablo 2. Çalışma alanında önemli ürünlerin sanal su muhtevalarının (m^3/ton) diğer bölgelerle karşılaştırılması* (Comparing the virtual water content of the important products (m^3/ton) with the other regions)

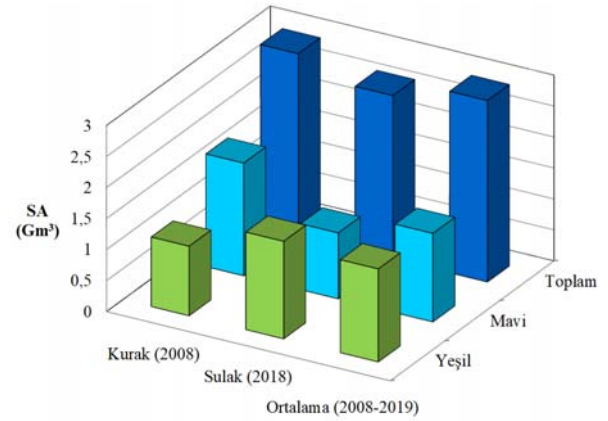
Ürün/Bölge	Dünya ort.	Türkiye	Suriye	Irak	ÜDH	Diyarbakır
Arpa	1388	1360	6728	9581	1401	1261
Buğday	1334	1531	2214	8326	1621	1269
Mercimek	6166	7234	14448	18245	2027	1854
Mısır	909	1531	2902	7321	1028	990
Pamuk	3644	2320	4766	6900	2263	2303
Üzüm	655	944	1804	2201	1892	1773

*Dünya ortalaması, Türkiye, Irak ve Suriye için [89]; ÜDH (Üst Dicle havzası) için [28]; Diyarbakır için ise bu çalışmanın sonuçları kullanılmıdır

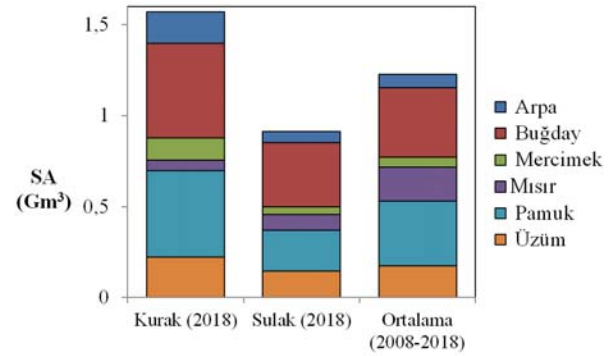
mavi su ayak izi parametreleri ise Şekil 9'da verilmiştir. Diyarbakır ili için bölgede üretimi en çok yapılan ve toplam su ayak izinin yaklaşık yarısına sahip olan buğdayın hasat miktarı ve ekili alan değerleri ise Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 7-10 birlikte incelendiğinde, kuraklığın bölgesel su ayak izine etkisi detaylı bir şekilde anlaşılabilir. Buna göre, 2008 yılı, tarımsal üretim miktarının diğer yıllara nazaran oldukça düşük olmasına rağmen mavi su ayak izi en yüksek olan sezondur. Sulak yılda (2018), yeşil su ayak izi, bölgenin toplam su ayak izinin %60'ına denk gelirken, kurak yılda ise (2008) sadece %32'sine denk gelmiştir. Bu durum özellikle yağışın az olduğu dönemlerde yüzey ve yeraltı suyunun çok yoğun bir şekilde kullanıldığı sonucunu ortaya çıkarmakta ve karasal iklim kuşağında yer alan bölgeler için yeşil suyun önemini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, Diyarbakır ili ve çevresinde yapılan birçok çalışmada, tarımsal aktiviteler sebebi ile yeraltı suyu önemli derecede düşüşler tespit edilmiştir [43, 59]. Ulaşılan sonuçlara göre, yeraltı ve yerüstü rezervuarlardan çekilen taze su miktarı yağış ve iklimin etkisi ile sulak yılda yarı yarıya düşebilmektedir. Bu durum, Aldaya ve Llamas [36] tarafından da doğrulanmıştır. Bu sonuç iklim değişikliğinin önümüzdeki yıllarda bölgenin yağış ve evapotranspirasyon karakteristikleri üzerindeki muhtemel etkileri göz önüne alınarak incelenirse, çalışma alanının gelecekteki su ayak izinin tahmin edilmesi ve bölgenin tarımsal ürün yönetimi ve sürdürülebilirliği açısından birtakım çıkarımlar ortaya koyacaktır.



Şekil 7. Diyarbakır ilinin 2008-2019 yılları arasındaki alansal yağış ortalamaları
(The average areal rainfall in Diyarbakır province for 2008-2019)



Şekil 8. Çalışma alanının toplam su ayak izlerinin farklı yağış sezonları için karşılaştırılması
(Comparison of the total water footprints of the study area for different rainfall seasons)

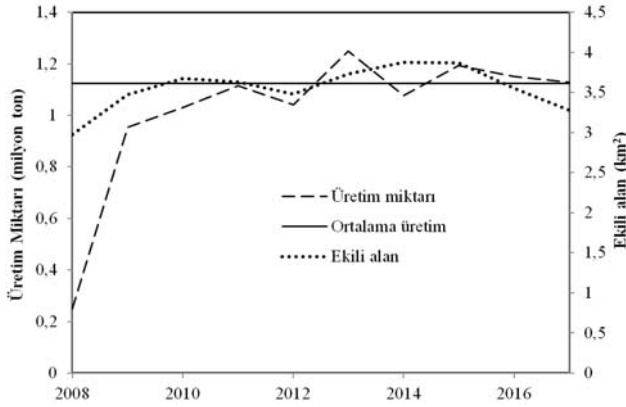


Şekil 9. Diyarbakır ilinde en çok yetiştirilen tarımsal ürünlerin mavi su ayak izi değerleri
(Blue water footprint values of most cultivated agricultural products in Diyarbakır province)

3.3. Kısıtlamalar (Limitations)

Mevcut çalışmanın temel kısıtlamalarından biri çalışma alanına özgü veri eksikliğinden dolayı gri su ayak izinin analiz süreçlerine dâhil edilmemiş olmasıdır. Ancak gri su ayak izi karakteristik olarak mavi ve yeşil bileşenlere nazaran düşüktür. Pegram vd. [21] tarafından yapılan çalışmada, ülkemizin gri su ayak izi %17 olarak tahmin edilmiştir. Endüstriyel aktivitelerin sınırlı olmasından dolayı Diyarbakır ili genelinde gri su ayak izinin daha düşük olması beklenmektedir. Bununla birlikte, mavi ve yeşil su ayak izlerinin her ikisinin, herhangi bir bölgedeki toplam su ayak

izi bilançosunu göstermesi açısından yeterli olduğu rapor edilmiştir [16]. İkinci olarak, bu çalışma kapsamında sanal su transferleri incelenmemiş ve ildeki tüketimin su ayak izi hesaplanmamıştır. Dolayısıyla ithal ve ihraç edilen ürünlerin su muhtevaları hesaplama süreçlerine dâhil edilmemiştir. Ancak, Türkiye ölçeğinde, ithal ve ihraç edilen sanal su miktarlarının birbirine çok yakın olduğu [21] göz önünde bulundurulduğunda, bunun çalışma alanındaki su ayak izinde kayda değer bir fark oluşturmayacağı düşünülmektedir. Üçüncü olarak, çalışma alanındaki tarımsal üretim istatistiklerinin 2018 yılı için henüz ilgili ve veri tabanlarına kaydedilmemiş olmasına istinaden, bu sezondaki bitkisel üretim ve ekili alan değerleri için en yakın sulak sezon olan 2009 yılı temel alınmıştır. Son olarak, bitki katsayısı ve gelişme periyodu verilerinin kısıtlı olmasından dolayı her bir bitki için hesaplanan ET miktarının il genelinde değişmediği kabul edilmiştir.



Şekil 10. Diyarbakır ili buğday üretim istatistikleri (Wheat production statistics for Diyarbakır province)

4. SİMGELER (SYMBOLS)

BSI	: Bitki su ihtiyacı
BST	: Bitki su tüketimi
e_a	: Gerçek buhar basıncı
e_s	: Doygun buhar basıncı
ET	: Evapotranspirasyon
ET_0	: Referans evapotranspirasyon
ET_c	: Bitkisel evapotranspirasyon
ET_{mavi}	: Yüzey ve yeraltı suyundan buharlaşma
$ET_{yeşil}$: Yağmur suyundan buharlaşma
G	: Zeminin ısı değişim yoğunluğu
K_c	: Bitki katsayıları
P_{eff}	: Etkili yağış
R_n	: Net radyasyon
SA	: Su ayak izi
SA_E	: Evsel ve endüstriyel su ayak izi
SA_H	: Hayvancılığın su ayak izi
SA_T	: Tarımsal su ayak izi
SS_M	: Sanal su muhtevası
T	: Hava sıcaklığı
u_2	: Rüzgâr hızı
V	: Verim
γ	: Psikometrik sabit

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma kapsamında Diyarbakır yöresine ait, üretimin ayak izi; kurak, sulak ve ortalama sezonlar gözetilerek Hoekstra vd. [16] tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Mavi ve yeşil evapotranspirasyon olarak tabir edilen ve sırasıyla yağmur suyundan ve yeraltı/yerüstü rezervuarlarından çekilen sudaki buharlaşma miktarı olarak bilinen iki parametrenin doğru ve hassas bir şekilde hesaplanması su ayak izi modellerinde hayati önem taşımaktadır. Bu parametrelerin modellenmesi için CROPWAT 8.0 yazılımı dâhilinde Penman-Monteith ve CWR metotları kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, bölgenin ortalama su ayak izi yıllık 3,4 milyar m³ olarak tahmin edilmiştir. Bölgede kullanılan suyun büyük çoğunluğunun %86'lık bir oranla tarımsal aktiviteler tarafından işleme alındığı tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki hayvancılık; endüstriyel ve evsel su ayak izleri ayrıca hesaplanmıştır. Bölgede ekimi çok yapılan 32 farklı bitki türünün toplam su kullanımları ve sanal su muhtevaları modellenmiştir. Su kullanımı yönünden en önemli tarımsal ürünler; arpa, buğday, mercimek, mısır, pamuk ve üzüm olarak belirlenmiş, bu ürünlerin toplam tarımsal su ayak izinin %91'inden sorumlu oldukları ortaya çıkarılmıştır. Çalışma alanında yetiştirilen en önemli ürün ise bölgenin toplam su ayak izinin %42'sine sahip olan buğday olarak belirlenmiştir. Bunlara ilaveten, kurak sezonda, tarımsal hasat miktarlarının düşmesine rağmen bitki su ayak izlerinin arttığı bulunmuştur. Mavi su kullanımının sulak sezonda düştüğü, kurak sezonda ise yaklaşık iki katına çıktığı hesaplanmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalara bakıldığında bölgenin mavi su kullanımının genel itibarıyla yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum, özellikle çalışma alanının karasal iklim kuşağında yer alması dolayısıyla evapotranspirasyon miktarlarındaki yükseklik ile açıklanmıştır.

Herhangi bir bölgedeki su ayak izinin yüksek olması, temelde iklim özellikleri, üretilen/kullanılan ürünlerin sanal su muhtevaları ve bölge halkının yaşam tarzı, beslenme alışkanlıkları vb. durumlar ile açıklanmaktadır [18]. Ancak, üretimin su ayak izinin düşürülmesi ve tarımsal aktivitelerde kullanılan mavi su miktarının azaltılması yönünde strateji ve eylemler geliştirilmesi, özellikle kurak veya yarı kurak bölgelerdeki su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından ciddi önem taşımaktadır. Suyun daha verimli ve akılcı yönetimi için, belli başlı ürünlerin ülkemizdeki farklı bölge ve havzalardaki sanal su muhtevaları ve mavi su kullanımlarının gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda ülkemizdeki su ayak izi çalışmalarının artırılması, detaylı su ve tarımsal ürün politikalarının geliştirilmesi hususunda katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Şenol R., Agricultural irrigation and solar energy, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27 (3), 519-526, 2013.
- Albostan A., Önöz B., Wavelet application approach on the chaotic analysis of dialy river discharge, Journal of

- the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30 (1), 39-48, 2015.
3. Ünlü A., Çoban F., Tunç M.S., Investigation of Lake Hazar water quality according to physical and inorganic chemical parameters, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23 (1), 119-127, 2013.
 4. Dişli M., Akkurt F., Alicılar A., Evaluation on water quality of Şanlıurfa Balıklıgöl concerning with physical parameters, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 19 (3), 287-294, 2013.
 5. Seçkin N., Topçu E., Regional frequency analysis of annual peak rainfall of adana and the vicinity, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (4), 1049-1062, 2016.
 6. Mahmut F., Yurdusev M.A., Mermer M., Monthly water demand forecasting by adaptive neuro-fuzzy inference system approach, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23 (2), 449-457, 2008.
 7. Distefano T., Kelly S., Are we in deep water? Water scarcity and its limits to economic growth, *Ecological Economics*, 142, 130-147, 2017.
 8. Tunç Dede Ö., Sezer M., The application of Canadian water quality index (CWQI) model for the assessment of water quality of Aksu creek, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (3), 909-917, 2017.
 9. Gürer İ., Uçar İ., Simulation of the runoff hydrograph by SRM supported by GIS and remote sensing (Kayseri-Sariz creek watershed case study), *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (1), 91-101, 2014.
 10. Dönmez S., Assessing Akşehir Lake's recession using meteorological and Earth observation data, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (1), 177-188, 2018.
 11. Şarlık N., Tiğrek Ş., Flood frequency analysis: Case study of Göksu River and Kayraktepe Dam, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (4), 1095-1103, 2016.
 12. Aküzüm T., Çakmak B., Gökalp Z., Türkiye'de Su Kaynakları Yönetiminin Değerlendirilmesi, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3 (1), 67-74, 2010.
 13. EU-Groundwater directive, Directive 2006/118/EC of the European parliament and of the council, *Official Journal of the European Union*, 2006.
 14. Lirika K., Alma I., Magdalena C., Dashnor K., Use of diatom and macrophyte index to evaluate the water quality in Ohrid Lake, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (2), 393-400, 2013.
 15. Veettil A.V., Mishra A.K., Potential influence of climate and anthropogenic variables on water security using blue and green water scarcity, Falkenmark index, and freshwater provision indicator, *Journal of Environmental Management*, 228, 346-362, 2018.
 16. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M., *The Water Footprint Assessment Manual*, Water Footprint Network. 2011.
 17. Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., *Water footprint of nations. Volume 1: Main report, Value of Water Research Report Series*, 1 (16), 1-80, 2004.
 18. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., *Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern*, *Water Resources Management*, 21 (1), 35-48, 2006.
 19. Hoekstra A.Y., Hung P.Q., *A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*, *Water Research*, 49 (11), 203-209, 2002.
 20. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., *A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat*, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (7), 1259-1276, 2010.
 21. Pegram G., Conyngham S., Aksoy A., Dıvrak B.B., Öztok D., *Türkiye'nin su ayak izi raporu: Su, üretim ve uluslararası ticaret ilişkisi*, WWF 2014.
 22. Vanham D., *A holistic water balance of Austria - How does the quantitative proportion of urban water requirements relate to other users?*, *Water Science and Technology*, 66 (3), 549-555, 2012.
 23. Ercin A.E., Hoekstra A.Y., *Water footprint scenarios for 2050: A global analysis*, *Environment International*, 64, 71-82, 2014.
 24. Quinteiro P., Rafael S., Villanueva-Rey P., Ridoutt B., Lopes M., Arroja L., et al., *A characterisation model to address the environmental impact of green water flows for water scarcity footprints*, *Science of The Total Environment*, 626, 1210-1218, 2018.
 25. Novoa V., Ahumada-Rudolph R., Rojas O., Munizaga J., Sáez K., Arumí J.L., *Sustainability assessment of the agricultural water footprint in the Cachapoal River basin, Chile*, *Ecological Indicators*, 98, 19-28, 2019.
 26. Johnson M.B., Mehrvar M., *An assessment of the grey water footprint of winery wastewater in the Niagara Region of Ontario, Canada*, *Journal of Cleaner Production*, 214, 623-632, 2019.
 27. Muratoglu A., *Water footprint assessment within a catchment: A case study for Upper Tigris River Basin*, *Ecological Indicators*, 106, 105467, 2019.
 28. Muratoglu A., *Dicle havzasının su ayak izinin hesaplanması*, 1 *Uluslararası İçme Suyu ve Atık Su Sempozyumu*, 2018.
 29. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., *National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption, Volume 2: Appendices*, Unesco-IHE Institute for Water Education, Delft, Netherlands, 2011.
 30. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Volume 1: Main Report*. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Value of Water Research Report Series No: 47, Delft, Netherlands, 2010.
 31. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products*, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15 (5), 1577-1600, 2011.
 32. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., *Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment*, *Ecological Indicators*, 46, 214-223, 2014.

33. Zhang Y., Huang K., Yu Y., Hu T., Wei J., Impact of climate change and drought regime on water footprint of crop production: the case of Lake Dianchi Basin, China, *Natural Hazards*, 79 (1), 549–566, 2015.
34. Zhuo L., Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., Sensitivity and uncertainty in crop water footprint accounting: A case study for the Yellow River basin, *Hydrology and Earth System Sciences*, 18 (6), 2219–2234, 2014.
35. Dumont A., Salmoral G., Llamas M.R., The water footprint of a river basin with a special focus on groundwater: The case of Guadalquivir basin (Spain), *Water Resources and Industry*, 1–2, 60–76, 2013.
36. Aldaya M.M., Llamas M.R., Water footprint analysis of the Guadiana river basin, *Unesco-IHE 2008*.
37. Hu T., Huang K., Yu Y., Zhang X., Xu Y., Wang X., Measuring Water Footprint on a Lake Basin Scale: A Case Study of Lake Dianchi, China, *Clean - Soil, Air, Water*, 44 (10), 1296–1305, 2016.
38. Degefu D.M., Weijun H., Zaiyi L., Liang Y., Zhengwei H., Min A., Mapping Monthly Water Scarcity in Global Transboundary Basins at Country-Basin Mesh Based Spatial Resolution, *Scientific reports*, 8 (1), 2144, 2018.
39. Önen F., Aslan B., Hamidi N., Diyarbakır Kenti içmesuyu ihtiyacının genetik ifadeli programlama ile modellenmesi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9 (2), 859–870, 2018.
40. Chen J., Shi H., Sivakumar B., Peart M.R., Population, water, food, energy and dams, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 18–28, 2016.
41. Kinouchi T., Nakajima T., Mendoza J., Fuchs P., Asaoka Y., Water security in high mountain cities of the Andes under a growing population and climate change: A case study of La Paz and El Alto, Bolivia, *Water Security*, 6, 100025, 2019.
42. Hoff H., Döll P., Fader M., Gerten D., Hauser S., Siebert S., Water footprints of cities indicators for sustainable consumption and production, *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 213–226, 2014.
43. Çelik R., Temporal changes in the groundwater level in the Upper Tigris Basin, Turkey, determined by a GIS technique, *Journal of African Earth Sciences*, 107, 134–143, 2015.
44. Demir E., The contribution of the Southeastern Anatolian Project to the domestic economy and its effect on the settlement areas, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23 (3), 189–205, 2003.
45. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption, Volume 1: Main report, Education, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands, 2011.
46. Vanham D., Bidoglio G., The water footprint of Milan, *Water Science and Technology*, 69 (4), 789–795, 2014.
47. Xu M., Li C., Wang X., Cai Y., Yue W., Optimal water utilization and allocation in industrial sectors based on water footprint accounting in Dalian City, China, *Journal of Cleaner Production*, 176, 1283–1291, 2018.
48. Liao X., Zhao X., Jiang Y., Liu Y., Yi Y., Tillotson M.R., Water footprint of the energy sector in China's two megalopolises, *Ecological Modelling*, 391, 9–15, 2019.
49. Feng L., Hayat T., Alsaedi A., Ahmad B., The driving force of water footprint under the rapid urbanization process: a structural decomposition analysis for Zhangye city in China, *Journal of Cleaner Production*, 163, S322–S328, 2017.
50. Zhang F., Zhan J., Li Z., Jia S., Chen S., Impacts of urban transformation on water footprint and sustainable energy in Shanghai, China, *Journal of Cleaner Production*, 190, 847–853, 2018.
51. Fang K., Zhang Q., Yu H., Wang Y., Dong L., Shi L., Sustainability of the use of natural capital in a city: Measuring the size and depth of urban ecological and water footprints, *Science of The Total Environment*, 631–632, 476–484, 2018.
52. Qian Y., Dong H., Geng Y., Zhong S., Tian X., Yu Y., et al., Water footprint characteristic of less developed water-rich regions: Case of Yunnan, China, *Water Research*, 141, 208–216, 2018.
53. Luo P., Yang Y., Wang H., Gu Y., Xu J., Li Y., Water footprint and scenario analysis in the transformation of Chongming into an international eco-island, *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 376–385, 2018.
54. Zhao X., Tillotson M.R., Liu Y.W., Guo W., Yang A.H., Li Y.F., Index decomposition analysis of urban crop water footprint, *Ecological Modelling*, 348, 25–32, 2017.
55. Cai B., Liu B., Zhang B., Evolution of Chinese urban household's water footprint, *Journal of Cleaner Production*, 208, 1–10, 2019.
56. Pérez A.J., Hurtado-Patiño J., Herrera H.M., Carvajal A.F., Pérez M.L., Gonzalez-Rojas E., et al., Assessing sub-regional water scarcity using the groundwater footprint, *Ecological Indicators*, 96, 32–39, 2019.
57. Ding X., Wang S., Chen B., The Blue, Green and Grey Water Consumption for Crop Production in Heilongjiang, *Energy Procedia*, 158, 3908–3914, 2019.
58. Manzardo A., Loss A., Fialkiewicz W., Rauch W., Scipioni A., Methodological proposal to assess the water footprint accounting of direct water use at an urban level: A case study of the Municipality of Vicenza, *Ecological Indicators*, 69, 165–175, 2016.
59. Çelik R., Mapping of groundwater potential zones in the Diyarbakır city center using GIS, *Arabian Journal of Geosciences*, 8 (6), 4279–4286, 2015.
60. Baran M., Eski Diyarbakır Evleri İklim İlişkisi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 8 (2), 423–430, 2017.
61. UN-ESCWA and BGR, Chapter 3 Tigris River Basin, Inventory of Shared Water Resources in Western Asia, (United Nations Economic and Social Commission for Western Asia; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2013.
62. Muratoglu A., Assessment of Tigris River Hydropower Potential, Yüksek lisans tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 2011.
63. Yalcin E., Tigrek S., The Tigris hydropower system operations: the need for an integrated approach,

- International Journal of Water Resources Development, 35 (1), 110–125, 2019.
64. Kibaroglu A., Maden T.E., An analysis of the causes of water crisis in the Euphrates-Tigris river basin, *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4 (4), 347–353, 2014.
 65. FAO, CLIMWAT 2.0, Food and Agricultural Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>. Erişim tarihi Haziran 26, 2019.
 66. TAGEM, DSI, Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi, Turkish General Directorate of Agricultural Research and Policies, Turkish General Directorate of State Hydraulic Works, Ankara, 2017.
 67. FAO, Food and Agricultural Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/home/en/>. Erişim tarihi Haziran 26, 2019.
 68. MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/>. Erişim tarihi Haziran 26, 2019.
 69. FAO, Crop Water Information, <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/>. Erişim tarihi Haziran 26, 2019.
 70. TSI, Turkish Statistical Institute, <http://www.tuik.gov.tr/Start.do>, . Erişim tarihi Haziran 26, 2019.
 71. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., A global assessment of the water footprint of farm animal products, *Ecosystems*, 15 (3), 401–415, 2012.
 72. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 1: Main Report, UNESCO-IHE Institute for Water Education, The Netherlands, 2011.
 73. Lovarelli D., Bacenetti J., Fiala M., Water Footprint of crop productions: A review, *Science of The Total Environment*, 548–549, 236–251, 2016.
 74. Ran Y., Lannerstad M., Herrero M., Van Middelaar C.E., De Boer I.J.M., Assessing water resource use in livestock production: A review of methods, *Livestock Science*, 187, 68–79, 2016.
 75. Hoekstra A.Y., The water footprint of industry, *Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability*. Butterworth-Heinemann, 2015.
 76. Postel S.L., Daily G.C., Ehrlich P.R., Human Appropriation of Renewable Fresh Water, *Science*, 271 (5250), 785–788, 1996.
 77. FAO, CropWat 8.0 Model, Food and Agricultural Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>. Erişim tarihi Haziran 26, 2019.
 78. USDA-SCS, Chapter:2 Irrigation Water Requirements, Part 623 National Engineering Handbook, 1993.
 79. Postel S., Last Oasis: Facing Water Scarcity, *American Journal of Alternative Agriculture*, 8, 94–96, 1993.
 80. Tigrek S., Kibaroglu A., Strategic Role of Water Resources for Turkey, *Turkey’s Water Policy*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, p. 27–42, 2011.
 81. Ercin A.E., Governance of globalized water resources: The application of water footprint to inform corporate strategy and government policy, PhD Dissertation in University of Twente, 2012.
 82. Bosire C.K., Lannerstad M., de Leeuw J., Krol M.S., Ogutu J.O., Ochungo P.A., et al., Urban consumption of meat and milk and its green and blue water footprints—Patterns in the 1980s and 2000s for Nairobi, Kenya, *Science of The Total Environment*, 579, 786–796, 2017.
 83. Ibdih R., Hoekstra A.Y., Gerbens-Leenes P.W., Chouchane H., Water, land and carbon footprints of sheep and chicken meat produced in Tunisia under different farming systems, *Ecological Indicators*, 77, 304–313, 2017.
 84. Hoekstra A.Y., The hidden water resource use behind meat and dairy, *Animal Frontiers*, 2 (2), 3–8, 2012.
 85. Gönül H., Demirel F., A case study on prefabricated industrial buildings: Diyarbakır first organized industrial area, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 18(1), 169-184, 2013.
 86. Dubcovsky J., Dvorak J., Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid Wheat Under Domestication, *Science*, 316 (5833), 1862–1866, 2007.
 87. Ye Q., Li Y., Zhuo L., Zhang W., Xiong W., Wang C., et al., Optimal allocation of physical water resources integrated with virtual water trade in water scarce regions: A case study for Beijing, China, *Water Research*, 129, 264–276, 2018.
 88. Fu Y., Zhao J., Wang C., Peng W., Wang Q., Zhang C., The virtual Water flow of crops between intraregional and interregional in mainland China, *Agricultural Water Management*, 208, 204–213, 2018.
 89. Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., Water footprint of nations Volume 2: Appendices, UNESCO-IHE Institute for Water Education 2004.
 90. MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Hidrometeoroloji Şube Müdürlüğü, 2019.
 91. Kayhan M., Alan İ., Türkiye alansal yağış analizi 1971-2010, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2012.
 92. Aydın B., Uğurlu A., Kervankıran S., Öz Ö., Aksoy M., 2018 yılı yağış değerlendirmesi, Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019.