



**T.C.**

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE'DE TARIMSAL ÜRETİMİN SU  
AYAK İZİNİN HESAPLANMASI**

**Zehra AVANOZ**

**YÜKSEK LİSANS**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Haziran-2020  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Zehra AVANOZ tarafından hazırlanan ‘‘Türkiye’de Tarımsal Üretimin Su Ayak İzinin Hesaplanması’’ adlı tez çalışması 15/06/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Gökmen ÖZTÜRKMEN

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah MURATOĞLU

#### Üye

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Zehra AVANOZ

15.06.2020

**ÖZET****YÜKSEK LİSANS****TÜRKİYE'DE TARIMSAL ÜRETİMİN SU AYAK İZİNİN  
HESAPLANMASI****Zehra AVANOZ****Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı****Dr. Öğr. Üyesi Abdullah MURATOĞLU****2020, 92 Sayfa****Jüri****Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK****Dr. Öğr. Üyesi Gökmen ÖZTÜRKMEN****Dr. Öğr. Üyesi Abdullah MURATOĞLU**

Su, yeryüzünde yaşayan tüm canlılar için hayati öneme sahiptir. Nüfustaki hızlı artış, kişi başı su tüketiminin artması ve gelişen endüstriye paralel olarak kirletilen yüzey ve yeraltı suyu hacminin artması, sınırlı olan temiz su kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılması gerekliliğini doğurmuştur. Su ayak izi (SA), yakın zamanda ortaya atılan yeni bir kavram olup, sürdürülebilir su yönetimi konusunda daha etkin bir yaklaşım sunmaktadır. SA, tüketilen mal ve hizmetlerin üretimi için tedarik zinciri boyunca ihtiyaç duyulan toplam su miktarını ölçen temel bir göstergedir. Geleneksel su muhtevası hesapları doğrudan kullanılan su hacmini dikkate alınırken, SA kavramı doğrudan ve dolaylı yollardan işleme alınan ve kirletilen toplam su hacmini ifade etmekte olup kullanılan suyun türünü (mavi, yeşil, gri), ne zaman ve nerede kullanıldığını da göstermektedir. Ülke bazında üretimin su ayak izi, bir ülke içerisinde üretilen tüm ürünler için gereken toplam su miktarıdır. Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'de 2008-2018 yılları arasında tarımsal üretimin su ayak izinin detaylı olarak hesaplanmasıdır. Mevcut çalışmada, uzun yıllar iklim verisi, son 11 yıllık ortalama yağış verisi, alansal evapotranspirasyon tahmini ve bitkisel üretim istatistikleri kullanılmıştır. Bu bağlamda, Türkiye'de üretilen 97 adet bitkisel ürününün il bazında su ayak izi değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda Türkiye'nin tarımsal toplam su ayak izi 106,85 milyar m<sup>3</sup>, yeşil su ayak izi 47,01 milyar m<sup>3</sup> ve mavi su ayak izi ise 59,84 milyar m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır. Yeşil ve toplam su ayak izi en yüksek Konya ilindeyken en düşük Yalova ilinde tespit edilmiştir. Mevcut çalışmanın ülkemizde temiz su kaynaklarının sürdürülebilirliği, yönetimi ve planlaması hususlarında destek olması ve özellikle tarımsal su tahsisinde verimliliğin artırılması konusunda katkıda bulunması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** mavi su, sanal su, su ayak izi, su yönetimi, ulusal tarım üretimi, yeşil su.

**ABSTRACT****M.Sc. THESIS****CALCULATION OF WATER FOOTPRINT OF CROP PRODUCTION IN  
TURKEY****Zehra AVANOZ****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY  
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
ENGINEERING****Assist. Prof. Dr. Abdullah MURATOĞLU****2020, 92 Pages****Jury****Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK****Assist. Prof. Dr. Gökmen ÖZTÜRKMEN****Assist. Prof. Dr. Abdullah MURATOĞLU**

Water is vital for all living things on the earth. The rapid increase in population, high per capita water consumption and increase in pollution of both surface and groundwater volume in parallel with the developing industry required to use limited clean water resources more effectively and efficiently. Water footprint (WF) is a new concept that has been introduced recently offering a more effective approach for sustainable water management studies. WF is a key indicator that measures the total amount of water needed throughout the supply chain for the production of consumed goods and services. Although traditional water content calculations consider the amount of water directly, WF of any product reveals additionally the type of employed water (blue, green, and grey), the time and location of the utilization for both direct and indirect ways. Water footprint of production on a country level is the total amount of water required for all products produced within a country. The objective of this study is to assess the water footprint of agricultural production in Turkey between 2008 and 2018. In the current study, long-term climate data, precipitation data of last 11 years average, aerial evapotranspiration estimation data and crop production statistics have been used. In this context, the WF of 97 agricultural products have been calculated at the provincial level. Consequently, according to the calculation results, Turkey's total agricultural water footprint has been found as 106.85 billion m<sup>3</sup>, total green water footprint is obtain as 47.01 billion m<sup>3</sup> and finally blue water is estimated to be 59.84 billion m<sup>3</sup>. Highest and lowest green and total water footprints have been found to be in Konya and Yalova, respectively. The current study is expected to contribute the sustainability, management and planning of clean water resources in Turkey and to increasing efficiency especially in agricultural water allocation.

**Keywords:** blue water, green water, natioanal crop production, virtual water, water footprint, water management.

## ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesinde, araştırılmasında ve yürütülmesinde yardımlarını, değerli bilgilerini, desteğini ve zamanını esirgemeyen sayın danışmanım Dr. Öğr. Abdullah MURATOĞLU'na teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans tezimi değerlendiren jüri üyelerim Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK'e ve Dr. Öğr. Üyesi Gökmen ÖZTÜRKMEN'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca çalışma sürecim boyunca yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Muhammed Sungur DEMİR'e, Arş. Gör. İbrahim Özgür DEDEOĞLU'na, Arş. Gör. Gülen ŞAHİN'e ve Arş. Gör. Kübra ÇEVİRİM'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitim sürecinde tanıdığım, desteğini hissettiğim ve fikir alışverişinde bulunduğum değerli arkadaşlarım Rojda DURMUŞ'a, Erkan ERDEM'e ve Emre İRAZ'a teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili babam Erdal AVANOZ'a, annem Nezahat AVANOZ'a, ablam Sümeyye AVANOZ'a ve kardeşlerim Şeyhmus-Yunus Emre-Şeyma AVANOZ'a sabır ve desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Zehra AVANOZ  
BATMAN-2020

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ.....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL ÇİZELGESİ.....</b>	<b>xi</b>
<b>TABLO ÇİZELGESİ .....</b>	<b>ixii</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Konu ve Kapsam .....	1
1.2. Çalışmanın Amacı .....	4
1.3. Çalışmanın Önemi .....	4
1.4. Çalışmanın Yapısı.....	5
<b>2. TEMEL KAVRAMLAR.....</b>	<b>6</b>
2.1. Sanal Su ve Su Ayak İzi.....	6
2.2. Su Ayak İzi Bileşenleri .....	8
2.3. Ulusal Üretimin Su Ayak İzi.....	9
2.4. Tarımsal Üretimin Su Ayak İzi .....	10
2.5. Bitki Su Tüketimi .....	10
2.5.1. Bitki su tüketimine etki eden parametreler.....	11
2.6. Bitki Katsayıları.....	12
2.7. Etkili Yağış.....	13
2.8. Sulama Suyu İhtiyacı .....	14
<b>3. LİTERATÜR İNCELEMESİ .....</b>	<b>16</b>
3.1. Uluslararası Çalışmalar .....	16
3.1.1. Küresel ölçekli çalışmalar .....	16
3.1.2. Ulusal ölçekli çalışmalar .....	17
3.1.3. Havza ölçekli çalışmalar .....	19
3.1.4. Ürün bazlı çalışmalar .....	19
3.1.5. Süreç bazında yapılan su ayak izi çalışmaları .....	20
3.1.6. Şirket ölçeğinde yapılan su ayak izi çalışmaları.....	21
3.1.7. Enerji ölçeğinde yapılan su ayak izi çalışmaları.....	21
3.1.8. Diyet alanında yapılan su ayak izi çalışmaları .....	21
3.2. Ülkemizdeki Çalışmalar .....	22
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>24</b>

4.1. Çalışma Alanı .....	24
4.1.1. İklim özellikleri.....	24
4.1.2. Toprak yapısı .....	25
4.1.3. Bitki deseni .....	25
4.1.4. Su kaynakları .....	26
4.2. Veri .....	27
4.3. Metot .....	29
4.3.1. ArcGIS yazılımı ve alansal enterpolasyon .....	29
4.3.2. CROPWAT yazılımı .....	30
4.3.3. Penman-Monteith yöntemi .....	30
4.3.4. Su ayak izi yöntemi.....	31
<b>5. BULGULAR.....</b>	<b>34</b>
5.1. Alansal Evapotranspirasyon Tahmini.....	34
5.2. Örnek Bir Çalışma: Adana İlinde Buğdayın Bitkisel Su Ayak İzinin Hesaplanması .....	39
5.2.1. Efektif yağış ve evapotranspirasyon .....	39
5.2.2. Mavi, yeşil ve toplam su muhtevaları ve su ayak izleri .....	42
5.3. Tarımsal Ürünlerin Ulusal Su Ayak İzi .....	43
5.3.1. Tahıl grubu .....	45
5.3.2. Sebze grubu .....	47
5.3.3. Yağ bitkileri grubu .....	50
5.3.4. Sanayi bitkileri grubu .....	51
5.3.5. Meyve grubu.....	53
5.3.6. Baklagil grubu .....	55
5.3.7. Yem bitkileri grubu .....	56
5.3.8. Diğer bitkiler grubu.....	57
5.3.9. Baharat grubu .....	59
5.4. Türkiye’de İl Bazında Su Ayak İzi ve Sanal Su Muhtevası .....	60
<b>6. TARTIŞMA ve SONUÇ .....</b>	<b>68</b>
6.1. Tartışma .....	68
6.2. Sonuç.....	69
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>80</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>A</b>	: Bitkinin ekim alanı miktarı
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>ABD</b>	: Amerikan Birleşik Devleti
<b>BST</b>	: Bitki su tüketimi
<b>BST<sub>mavi</sub></b>	: Bitkisel mavi su tüketimi
<b>BST<sub>toplam</sub></b>	: Bitkinin toplam su tüketimi
<b>BST<sub>yeşil</sub></b>	: Bitkisel yeşil su tüketimi
<b>CBS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>C<sub>d</sub></b>	: Referans bitki türü ve hesaplandığı süre için sabit payda katsayısı
<b>C<sub>n</sub></b>	: Referans bitki türü ve hesaplandığı süre için sabit pay katsayısı
<b>e<sub>a</sub></b>	: Gerçek buhar basıncı
<b>e<sub>s</sub></b>	: Doygun buhar basıncı
<b>ET<sub>0</sub></b>	: Referans evapotranspirasyon
<b>ET<sub>C</sub></b>	: Bitkisel evapotranspirasyon
<b>ET<sub>mavi</sub></b>	: Mavi evapotranspirasyon
<b>ET<sub>yeşil</sub></b>	: Yeşil evapotranspirasyon
<b>FAO</b>	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
<b>G</b>	: Zemin ısı değişim yoğunluğu
<b>GTİP</b>	: Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu
<b>i</b>	: Gözlem nokta sayısındaki değerler
<b>K<sub>C</sub></b>	: Bitki katsayısı
<b>MGM</b>	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
<b>N</b>	: Nokta sayısı
<b>N<sub>i</sub></b>	: Kriging'de kullanılan noktaların değeri
<b>N<sub>P</sub></b>	: Kriging değeri
<b>P</b>	: Bitki üretim miktarı
<b>P<sub>eff</sub></b>	: Etkili yağış
<b>P<sub>i</sub></b>	: Kriging'de kullanılan noktaların ağırlık değeri
<b>R<sub>n</sub></b>	: Bitki yüzeyindeki net radyasyon
<b>SA</b>	: Su ayak izi
<b>SA<sub>endüstriyel</sub></b>	: Endüstriyel su ayak izi
<b>SA<sub>evsel</sub></b>	: Evsel su ayak izi
<b>SA<sub>gri</sub></b>	: Gri su ayak izi
<b>SA<sub>hayvansal</sub></b>	: Hayvansal su ayak izi
<b>SA<sub>mavi</sub></b>	: Mavi su ayak izi
<b>SA<sub>tarımsal</sub></b>	: Tarımsal su ayak izi
<b>SA<sub>yeşil</sub></b>	: Yeşil su ayak izi
<b>SSM</b>	: Sanal su muhtevası
<b>SSM<sub>mavi</sub></b>	: Mavi sanal su muhtevası
<b>SSM<sub>toplam</sub></b>	: Toplam sanal su muhtevası
<b>SSM<sub>yeşil</sub></b>	: Yeşil sanal su muhtevası
<b>T</b>	: Hava sıcaklığı
<b>TAGEM</b>	: Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi

<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistikleri Kurumu
<b>V</b>	: Verim
$\lambda$	: Lagrange çarpanı
<b>W<sub>i</sub></b>	: $\gamma(X_0-X_i)$ 'ye karşılık gelen ağırlık değerleri
<b>u<sub>2</sub></b>	: Rüzgâr hızı

## ŞEKİL ÇİZELGESİ

Şekil 2.1. Ulusal su ayak izinin şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.2. Bitki su tüketimine etki eden parametreler.....	12
Şekil 2.3. Bitki katsayısının gelişim dönemi değişimi .....	13
Şekil 2.4. Bitki katsayısı gelişim dönemleri .....	14
Şekil 4.1. Çalışma alanı .....	24
Şekil 4.2. Türkiye'nin 259 meteoroloji istasyonu .....	28
Şekil 4.3. Su ayak izi hesaplama aşamasını gösteren akış diyagramı .....	32
Şekil 5.1. Meteoroloji istasyon verileri (a), Geostatistical (b) ve Zonal Statistical (c) Analyst .....	34
Şekil 5.2. Ocak, şubat, mart ve nisan ayı alansal $ET_0$ haritaları.....	36
Şekil 5.3. Mayıs, haziran, temmuz ve ağustos ayı alansal $ET_0$ haritaları .....	37
Şekil 5.4. Eylül, ekim, kasım ve aralık ayı alansal $ET_0$ haritaları .....	38
Şekil 5.5. Adana ili için CROPWAT programında $ET_0$ tanımlanması .....	39
Şekil 5.6. Adana ili için CROPWAT programında alansal yağışların tanımlanması .....	40
Şekil 5.7. Adana ili için buğday ürününün $K_C$ , gelişim dönemleri ve ekim tarihi .....	40
Şekil 5.8. Adana ili için buğday ürününün $ET_C$ ve $P_{eff}$ değerleri .....	41
Şekil 5.9. Ürünlerin yeşil, mavi ve toplam su ayak izi miktarları ve oranları .....	42
Şekil 5.10. Bitkisel ürün gruplarının toplam su ayak izi yüzdeleri .....	43
Şekil 5.11. Bitkisel ürün gruplarının mavi ve yeşil su ayak izi yüzdeleri .....	44
Şekil 5.12. Bitkisel ürün gruplarının mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri .....	44
Şekil 5.13. Tahıl ürünlerinin yeşil, mavi ve toplam su ayak izleri .....	45
Şekil 5.14. Tahıl ürünlerinin mavi, yeşil ve toplam su ayak izi oranları .....	46
Şekil 5.15. Sebze ürünlerinin yeşil, mavi ve toplam su ayak izleri .....	47
Şekil 5.16. Sebze ürünlerinin yeşil, mavi ve toplam sanal su muhtevası .....	47
Şekil 5.17. Yağ bitkileri grubundaki ürünlerin su ayak izleri .....	50
Şekil 5.18. Yağ bitkileri grubundaki ürünlerinin sanal su muhtevaları .....	50
Şekil 5.19. Sanayi bitkileri grubundaki ürünlerin su ayak izleri .....	51
Şekil 5.20. Sanayi bitkileri grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları .....	52
Şekil 5.21. Meyve grubundaki ürünlerin su ayak izleri .....	54
Şekil 5.22. Meyve grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları .....	54
Şekil 5.23. Baklagil grubundaki ürünlerin su ayak izleri .....	55
Şekil 5.24. Baklagil grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları .....	55
Şekil 5.25. Yem bitkileri grubundaki ürünlerin su ayak izleri .....	56
Şekil 5.26. Yem bitkileri grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları .....	57
Şekil 5.27. Diğer bitkiler grubundaki ürünlerin su ayak izleri .....	58
Şekil 5.28. Diğer bitkiler grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları .....	58
Şekil 5.29. Baharat grubundaki ürünlerin su ayak izleri .....	59
Şekil 5.30. Baharat grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları .....	59
Şekil 5.31. Türkiye'nin il bazında toplam, mavi ve yeşil su ayak izi.....	61
Şekil 5.32. Toplam sanal su muhtevası en yüksek olan ürünlerin il bazında haritası .....	63
Şekil 5.33. Üretim miktarı yüksek olan ürünlerin il bazında toplam sanal su muhtevası haritası .....	64
Şekil 5.34. Ekim alanı geniş olan bazı ürünlerin il bazında toplam sanal su muhtevaları .....	65

## TABLO ÇİZELGESİ

Tablo 2.1. Bazı ürünlerin sanal su içerikleri .....	6
Tablo 2.2. Su ayak izinin bileşenleri .....	9
Tablo 3.1. Ulusal ölçekli çalışmalar .....	17
Tablo 4.1. Türkiye'deki bitki deseni .....	26
Tablo 4.2. İklim Bölgeleri ve İstasyon Sayısı .....	27
Tablo 4.3. Çalışmada kullanılan veriler .....	28
Tablo 5.1. $ET_0$ hata oranları .....	35
Tablo 5.2. Adana ili buğday bitki katsayısı ve dönem uzunlukları .....	40
Tablo 5.3. Adana ili için buğday ürününün $ET_0$ , $ET_C$ ve yağış ortalamaları .....	41
Tablo 5.4. Adana ili için buğday ürünün su ayak izi sonuçları .....	42
Tablo 5.5. Tahıl grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları .....	45
Tablo 5.6. Sebze grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları .....	49
Tablo 5.7. Yağ bitkileri grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları .....	50
Tablo 5.8. Sanayi bitkileri grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları .....	51
Tablo 5.9. Meyve grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları .....	53
Tablo 5.10. Baklagil grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları .....	55
Tablo 5.11. Yem bitkileri grubu ürünlerindeki su ayak izi miktarları .....	57
Tablo 5.12. Diğer bitkiler grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları .....	58
Tablo 5.13. Baharat grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları .....	59
Tablo 5.14. Türkiye'de üretilen ürünlerin üretim miktarı, ekilen alanı ve sanal su muhtevaları .....	66

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1. Konu ve Kapsam

Su, yeryüzünde yaşayan bütün canlıların vazgeçilmez en önemli doğal kaynağıdır. Toplumların ve ekosistemin var olabilmelerini sağlayan su, yaşamsal bir gerekliliktir. Suyun insanoğlunun ve yeryüzünün devamını sürdürebilmesinin yanı sıra ekonomik kalkınmanın, siyasal ve sosyal istikrarın sağlanmasında da etkin bir yeri vardır. Tarım, sanayi, hayvancılık gibi çeşitli sektörlerde kullanılan su hem ekonomik geçim ve refah kaynağı, hem de tahrip etme gücü (sel, erozyon, tufan, çölleşme yoluyla) olarak insan yaşamında daima merkezi bir rol almıştır (Dışkaya, 2018).

İnsanların yaşam kaynağı olan su yeryüzünün yaklaşık %71'ini oluşturmaktadır. Bu oranın %97'si okyanus ve denizlerde tuzlu su olarak, %3'ü ise tatlı su formunda bulunmaktadır. Tatlı suların yaklaşık %69'u buzullarda, %30'u yeraltı sularında, %0,8'i buzulların altındaki donmuş toprakta ve %0,2'si yüzey sularında ve atmosferde bulunmaktadır (DSİ, 2014). Yani dünyadaki tatlı su kaynaklarının çok az bir kısmı su döngüsü sayesinde ekosistem ve insan kullanımı için elverişli olmaktadır. İnsanların kullanabileceği verimli ve sağlıklı tatlı su miktarı küresel ısınma, yağış azlığı, aşırı buharlaşma, kirlilik, sanayi atıkları gibi nedenlerden ötürü gün geçtikçe azalmaktadır. Bu açıdan sınırlı olan su kaynaklarının sürdürülebilirliği, güvenliği, yönetimi ve korunması çok önemlidir.

Yeryüzünde bulunan sınırlı miktarda tatlı su kaynağının sürdürülebilirliği mümkündür (Soytürk, 2019). Ancak günümüzde küresel ölçekte yaşanan nüfus parametrelerindeki hızlı artış, kişi başına düşen su tüketiminin artması ve gelişen sanayiye paralel olarak kirletilen yüzey ve yeraltı suyu hacminin artmasından dolayı sürdürülebilirlikten uzaklaşmaktadır (Bakhshaliyev, 2010). Sürdürülebilirliğin sağlanması yerel, ulusal ve küresel ölçekte bireylerin ve karar vericilerin iş birliği içinde sistematik bir şekilde hareket etmesiyle gerçekleştirilmelidir.

Su ile ilgili risklerin kontrol edilebilir düzeyde tutulması su güvenliği kavramı ile ilişkilidir. Su güvenliği sosyal ve ekonomik kalkınma için çok önemli bir faktördür. Dünya'nın bazı kısımları su güvenliğine sahipken, bazı kısımları su güvenliğinden yoksundur. Su güvenliğinden yoksun olan bölgeler su kıtlığı ve kuraklık gibi

problemlere karşı savunmasızdır ve buraların genellikle ekonomileri tarıma dayanmaktadır. Ekonomisi tarıma dayalı olan bölgelerde suyun değeri kuraklığın, küresel ısınmanın ve nüfusun artmasıyla gıda, sağlık ve enerji güvenliği ölçeğinde, ulusal güvenlik boyutu değerlendirildiğinde daha net olarak görülmektedir (Dışkaya, 2018).

Su yönetimi, bütün gereksinimleri karşılayacak suyun insanlara uygun maliyetle yüksek kalitede, ihtiyacın olduğu durumlarda ve zamanlarda sağlanmasıdır. Yani suyun hem etkili bir niteliksel hem de etkili bir niceliksel uygulanması ve geliştirilmesi olarak da tanımlanabilir (Çakmak, 2014). Uygulamalarda göz önüne alınan etkenler nüfus tahmini, tarımsal üretim ve kişi başına düşen yıllık su talebi olmuştur (Kalkınma Bakanlığı, 2014).

Yeryüzünde mevcut tatlı su kaynaklarının kişi başına düşen yıllık miktarı yaklaşık olarak 22700 m<sup>3</sup> olmasına rağmen suyun ülkelere ve zamana göre değişiklik göstermesi sorunlarına neden olmaktadır. Bu bağlamda suyun dağılımının ülkelere göre farklılık göstermesi su sorunları terimi yerine su kıtlığı terimini kullanılabilir hale getirmiştir (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Su kıtlığı, yeryüzünde bulunan su kaynaklarının ihtiyaçları karşılayamamasıdır. Yani bir ülkedeki kişi başına düşen su miktarı su kıtlığının bir göstergesidir. Su kıtlığının fiziksel, ekonomik, çevresel, sosyal ve siyasal birçok nedeni vardır. Günümüzde su kaynakları üzerinde yapılan çalışmaların birçoğu, su kıtlığının bu nedenlerden daha çok, suyun kötü yönetiminden kaynaklandığını ortaya koymaktadır (Aldaya ve Llamas, 2008a). Yeryüzünde homojen olmayan bir dağılım gösteren tatlı su kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılması ile su kıtlığı problemlerini azalması beklenebilir.

Su sorunlarının çözümünde alternatif olarak ortaya atılan *sanal su transferi* ülkeler için uygun politikalar geliştirmeyi ve su tasarrufunu sağlamayı amaçlamaktadır (El-Sadek, 2011). Akılcı bir yönetimle, su muhtevası yüksek ürünlerin su varlığı zengin olan ülkelerde üretilip su fakiri bölgelere gönderilmesi mümkündür. Böylece su fakiri olan ülkeler su miktarı fazla olan ürünleri ithal ederek dolaylı yoldan su tasarrufu sağlamakta ve su miktarı az olan ürünlerden daha fazla üretme olanağı kazanmış olacaktır (Şahin, 2016).

Bu bağlamda, sanal su ticaretinin su sorunlarını tamamen ortadan kaldırıp kaldıramayacağı belirsizliğinden dolayı yeni bir politika aracı olarak ortaya çıkan *su ayak izi* kavramının ülkelerdeki su kıtlığının azaltılmasında ve suyun verimli kullanılmasında etkili bir rol oynayacağı düşünülmektedir (Chapagain ve Hoekstra,

2004). Su ayak izi, bireylerin veya toplumun harcadığı malların ve hizmetlerin üretimi için tüketilen veya üreticinin mal ve hizmet üretimi için tükettiği toplam temiz su miktarıdır. Çok boyutlu bir gösterge olan su ayak izi sadece su hacmini değil suyun türünü, nerede ve ne zaman harcandığını da gösterir (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Sadece harcanan su miktarını ifade eden *sanal su* veya gömülü su ise su ayak izinin yalnızca bir boyutunu, yani miktarını temsil eder. Sanal su bir ürünü veya hizmeti üretmek için gerekli olan su hacmidir. Pek çok sektörü ve problemleri birbiri ile ilişkili değerlendiren sanal su ve su ayak izi analizleri etkin çözümler bulmayı ve özellikle su kıtlığı yaşayan ülkelerde suyun daha iyi yönetilmesini amaçlamaktadır.

Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili olmasına rağmen yarı kurak bir iklime sahip olduğundan, önceden bilinenin aksine su kaynakları açısından zengin değildir. Türkiye, yıllık kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı  $1519 \text{ m}^3$  olup su azlığı yaşayan bir ülkedir (Kalkınma Bakanlığı, 2014). Yapılan çalışmalarda, ülkemizin nüfusunun on yıl sonra 100 milyon olacağı ve yıllık kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının  $1120 \text{ m}^3$  olacağı öngörülmektedir (DSİ, 2014). Nüfusun artması, sanayinin gelişmesi ve yaşam standartlarının yükselmesi nedeniyle bütün sektörlerin suya olan talebi artacağından, ülkemizin su problemlerinin de artması beklenebilir. Yakın gelecekte ülkemizin su fakiri ülkeler listesine dâhil olacağı tahmin edilmektedir (DSİ, 2014). Bu bağlamda ülkemizdeki su kaynaklarının sürdürülebilirliği için su ayak izi değerlendirmeleri dikkate alınarak etkin ve verimli tedbirler alınmalıdır.

Mevcut su ayak izi çalışmaları dünyadaki su kullanımının yaklaşık %90'ının tarım sektörüne dayandığını ortaya koymaktadır (Aldaya ve Llamas, 2008a). Ekonominin ana sektörlerinden biri olan tarım sektörü ekonomik kalkınmanın sağlanması ve sağlıklı bir yaşam sürdürmek için stratejik bir sektördür. Ülkelerin dışa bağımlı olmaksızın kendine yetecek tarımsal potansiyele sahip olmaları çok önemlidir. İklim ve toprak yapısı, bitki örtüsü çeşitliliği, tarımsal alan büyüklüğü ve zengin ürün çeşitliliği ülkemizde büyük bir tarımsal potansiyelin hâkim olduğunu göstermektedir. Bu açıdan ülkemizin tarımsal su ayak izinin değerlendirilmesi sürdürülebilir kalkınmanın, gıda güvenliğinin artırılması ve korunması için önem teşkil etmektedir.

Günümüzün en önemli problemi olan sınırlı su kaynaklarının, mevcut boyutunun sürdürülebilirliğini incelemek büyük önem teşkil etmektedir. Ülkemizde su ayak izi çalışmaları değerlendirildiğinde üretimin ve tüketimin yüzde 80'nin iç su kaynaklarına bağlı olduğu ve bu kaynakların sektörlere göre su ayak izi analiz edildiğinde en büyük payı tarımın oluşturduğu, tarımsal su ayak izinin %92'sinin ise bitkisel üretime ve

%8'inin otlatmaya dayandığı kaydedilmiştir (WWF, 2014). Bu bağlamda mevcut çalışmanın konusu, ülke ekonomisinin en önemli ögesi olan tarımsal (bitkisel) ürünlerin (tahıllar, baklagiller, sanayi bitkileri, yağ bitkileri, yem bitkileri, baharatlar, meyveler, sebzeler ve diğer bitkiler) su ayak izi analizleridir.

## 1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı ülkemizin 2008-2018 yılları arasında tarımsal üretimin tüm illere göre su ayak izinin detaylı hesaplanarak ülkemizde üretilen tarımsal ürün çeşitliliğinin mavi, yeşil ve toplam su ayak izlerinin belirlenmesidir. Su ayak izi parametrelerinin zamansal değişkenlik gösterdiğinde ve eski yıllardaki mevcut verilerin yetersiz olduğundan günümüze en yakın yıllar ve nispeten geniş bir zaman dilimi tercih edilmiştir. Mavi su ayak izi yüksek ürünler belirlenerek su ayak izinin küçültülmesi için gerekli önerilerde bulunmaktır. Bu amaç için tez kapsamında yanıt aranan başlıca sorular aşağıdaki gibidir:

- Tarımsal su ayak izi nasıl hesaplanır?
- Tarımsal ürünlerin detaylı su ayak izi nasıl değerlendirilir?
- Bitkisel evapotranspirasyonun su ayak izi ile bağlantısı nedir?
- Mavi ve yeşil su ayak izi büyük olan tarımsal ürünler hangileridir?
- Hangi ürünler hangi illerde daha az su tüketir ve daha fazla verim sağlar?
- Su ayak izi yüksek olan ürünlerin su ayak izinin küçültülmesi için öneriler nelerdir?

## 1.3. Çalışmanın Önemi

İnsanoğlunun en eski üretim faaliyetlerinden bir olan tarım, insanların hayatta kalmasını sağlayan birincil faktör olan gıda ihtiyacının ana kaynağı olduğu için çok önemlidir. Ülkedeki nüfusun ihtiyaçlarını karşılaması, milli gelire ve ekonomiye katkı sağlaması, sanayiye hammadde temin etmesi, ihracata doğrudan ve dolaylı olarak etkisi onu vazgeçilmez evrensel bir sektör yapmaktadır (Özel, 2019). Tarımsal üretim hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkeler için ekonomik kalkınmanın ayrılmaz bir parçası olmuştur. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de tarım, su kaynaklarının en çok kullanıldığı sektör olmuştur. Tarım sektöründe kullanılan yerel su kaynakları sınırlı olup kaynakların tükenmesi nedeniyle azalmaktadır. Bu bağlamda ülkelerin ekonomik, sosyal ve çevresel yapısına özgü ve kaynaklar dâhilinde tarım politikaları geliştirmek ve

desteklemek son derece önemlidir. Kaynakların verimli ve etkin kullanılması, tarımsal üretimin sürekliliğinin ve gıda güvenliğinin sağlanması tarım politikalarının temel amacıdır (Keskin, 2019).

Ülkemizin coğrafi yapısı, iklim tipi ve toprak yapısındaki çeşitlilikler, her bölgenin kendine ait tarımsal ürünleri üretmesini sağlamaktadır. Tarımsal üretimin doğal koşullara bağımlı olması, mevsimlere göre değişmesi, maliyetinin doğal şartlar tarafından belirlenmesi, risk ve belirsizliklerin çok olmasından dolayı tarımsal üretimde sürekli dalgalanmalar yaşanmaktadır (Akdeniz, 2019). Bu dalgalanmaların olumsuz etkilerini azaltmak ve önlemek için tarım politikaları uygulanmalıdır.

Ülkemizde tarımsal üretimin önemli bir yeri vardır. Tarımsal üretim tahılların, sanayi bitkilerinin, yem bitkilerinin, yağ bitkilerinin, diğer bitkilerin, baklagillerin, baharatların, meyvelerin ve sebzelerin üretimini kapsadığı için bu ürünlerin üretiminde kaybettiği su miktarı çok önemlidir. Bu bağlamda bu ürünlerin su ayak izi analizleri ve tahminleri büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde benzer ölçekli çalışmalar vardır. Ama bu çalışma ülkemizdeki tarımsal üretimin son yıllarda çeşitli tarımsal ürünlerin (97 tarımsal ürünün) 81 il bazında detaylı su ayak izi değerlendirilmesi hususunda ilk çalışmadır.

#### **1.4. Çalışmanın Yapısı**

Bu bölüm, tezin yapısı hakkında tüm bölümlerin özetini içeren bilgiler vermektedir. Birinci bölüm tezin giriş bölümü olup tezin konusu, kapsamı, amacı ve öneminin yanı sıra suyun önemi, korunması, yönetimi, ülkemizdeki mevcut su durumu, sanal su ticareti ve su kıtlığı konularına kısaca değinilmiştir. İkinci bölümde tezin temel kavramları olan sanal su, su ayak izi, bitki su tüketimi, sulama suyu ve etkili yağış özetlenmiştir. Üçüncü bölümde yapılan geniş kapsamlı literatür araştırmasına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde tezde kullanılacak olan giriş verileri ve su ayak izi hesaplama metodu sunulmuştur. Beşinci bölümde elde edilen bulgular tablolar eşliğinde verilmiştir. Son bölümde ise edinilen bulgulara bağlı özet sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

## BÖLÜM 2

### TEMEL KAVRAMLAR

#### 2.1. Sanal Su ve Su Ayak İzi

Suyun etkin kullanımı açısından doksanlı yıllarda en çok tartışılan çalışma olan sanal su kavramı Allan önderliğinde ortaya atılmıştır (Allan, 2002). 2008’de Stockholm Su Ödülü verilen Profesör Allan ilk kez sanal su kavramını kullanarak suyun sadece içilen ve kullanılan doğrudan tüketiminin yanı sıra dolaylı olarak ürün ticaretinde de gömülü bir şekilde bulunduğunu ifade etmiştir (Wang ve Hu, 2015). Dolayısıyla sanal su kavramı bir ürünün veya hizmetin üretimi boyunca gerekli olan temiz su miktarı olarak tanımlanmaktadır (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

Her ürünün üretim şekli ve üretim yerinin fiziksel şartları farklı olduğundan dolayı sanal su içerikleri de farklılık göstermektedir (Şahin, 2016). Tablo 2.1’de gösterildiği gibi ürünlerin içerisinde yüksek miktarlarda sanal su bulunmaktadır.

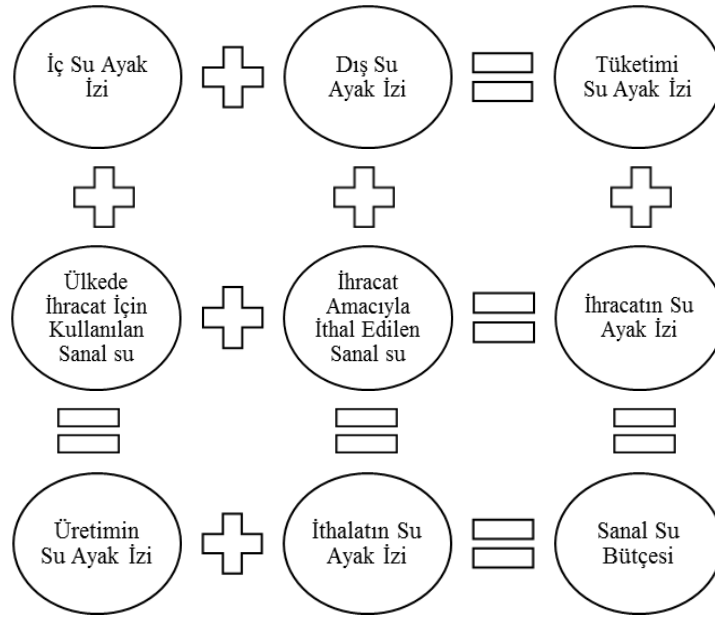
**Tablo 2.1.** Bazı ürünlerin sanal su içerikleri (Chapagain ve Hoekstra, 2004; WWF, 2014)

Ürünler	Sanal Su İçeriği (Litre)
1 Tane A4 Kağıdı (80 g/m <sup>2</sup> )	10
1 Mikroçip (2 g)	32
1 Fincan Çay (250 ml)	35
1 Dilim Ekmek (30 g)	40
1 Yumurta (40 g)	135
1 Fincan Kahve (125 ml)	140
1 Bardak Portakal Suyu (200 ml)	170
1 Patates Cipsi (200 g)	185
1 Bardak Elma Suyu (200 ml)	190
1 Bardak Süt (200 ml)	200
1 Kg Patates	250
1 Kg Portakal	500
1 Kg Elma	700
1 Porsiyon Beyaz Et (200g)	780
1 Tane Pamuklu T-shirt (250 g)	2000
1 Hamburger (150 g)	2400
1 Porsiyon Kırmızı Et (200g)	3100
1 Çift Deri Ayakkabı	8000
1 Kg Kahve Çekirdeği	21000

Su ayak izi ve sanal su benzer özelliklere sahip olan ve aynı amaçlar için oluşturulan kavramlardır. Sanal su, ürünlerin içindeki dolaylı suyun miktarını ifade ederken su ayak izi buna ek olarak dolaylı ve doğrudan suyun türünü, kullanıldığı zamanı ve yerini de belirtmektedir (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Bu bağlamda su ayak izi, sanal su gibi tek boyutlu olmayıp çok boyutlu bir parametredir.

Genel bir ifade ile su ayak izi, sistemden alınan suyun yerine kullanılan su miktarını değerlendirmektedir (Hoekstra, 2013). Yani bir ürünün veya hizmetin su ayak izini değerlendirmek o ürünün ya da hizmetin üretimi için, üretimin tüm aşamalarında kullanılan tatlı su iken, bir bireyin veya ulusun su ayak izi o bireyin ya da ulusun birçok ürünü veya hizmetleri kullanması için ihtiyaç duyulan toplam tatlı su miktarını belirtmektedir. Yani hammaddelerin temin edilmesinden ve işlenmesinden kullanılmasına kadar geçen süreç su ayak izi kavramının kapsamını göstermektedir.

Bir hesaplama yöntemi olan su ayak izi metodu ürün ve hizmetlerin, bireylerin, ulusların, şirketlerin veya ülkelerin dolaylı ya da doğrudan su kullanımını hesaplamasında kullanılmaktadır. Bir ülkenin ulusal su ayak izi hesabında, ulusal üretimin su ayak izi ve ulusal tüketimin su ayak izi olmak üzere iki bileşen kullanılmaktadır (WWF, 2014). Ulusal üretimin su ayak izi ülke içindeki tarımsal, hayvansal, evsel ve endüstriyel sektörlerdeki mal ve hizmetleri üretmek için hesaplanan su ayak izlerinin toplamıdır (Muratoglu, 2019). Ulusal tüketimin su ayak izi, iç ve dış tüketimin su ayak izi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ulusal tüketimin iç su ayak izi, ülke içindeki bireyler tarafından kullanılan mal ve hizmetlerin üretimi için gerekli olan toplam su ve sanal su ihracatı ile diğer ülkelerde üretilen mal ve hizmetlerin ihracatı için gerekli olan toplam su hacmini belirtmektedir. Ulusal tüketimin dış su ayak izi ise mal ve hizmetlerin ithal edildiği ülkelerdeki mal ve hizmetlerin üretimi için kullanılan toplam suyu ifade etmektedir. Su ayak izinin dışsallaştırılması ülkedeki su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltacağından dolayı su tasarrufu sağlanabilmekte ve su zengini ülkelere su yoğunluğu fazla olan mal ve hizmetleri ihraç ederek kar elde edilebilmektedir (Allafi Omar, 2019).



**Şekil 2.1.** Ulusal su ayak izinin şematik gösterimi (Mekonnen ve Hoekstra, 2010)

Şekil 2.1’de denklem halinde gösterilen şemada ihracatın su ayak izi sanal su ihracatı olarak, ithalatın su ayak izi sanal su ithalatı olarak tanımlanmaktadır. Burada etkili faktör suyun ulusal su veya dışsal su olarak belirlenmesidir (Şahin, 2016). Tüketimin dış su ayak izi kullanılarak sanal su ithalatı, ülkede ihracat için işleme alınan su kullanılarak sanal su ihracatı hesaplanabilmektedir. Üretimin ve ithalatın su ayak izi toplamı, tüketimin ve ihracatın su ayak izi toplamına eşittir ve bu toplama sanal su bütçesi denilmektedir (WWF, 2014).

Bir ülkede tüketim hacmi, tüketim şekli, iklim ve tarımsal uygulamalar su ayak izini doğrudan etkileyen en önemli etkenlerdir. Gelişmiş ülkelerde daha fazla mal ve hizmet tüketildiği için tüketim hacmi artarak daha fazla su ayak izine dönüşür. Ancak su gereksinimini etkileyen tek faktör tüketim hacmi olmayıp tüketim şekli yani yüksek ürüne karşı düşük ürün tüketimi de önemlidir. Gelişmemiş yoksul ülkelerde iklimin olumsuz etkileri, akılcı bir su yönetiminin olmaması ve suyun tarım uygulamalarında yanlış kullanımı su ayak izini daha fazla etkilediği ifade edilmiştir (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

## 2.2. Su Ayak İzi Bileşenleri

Su ayak izi, üretimde ve tüketimde kullanılan su miktarını belirtmenin yanı sıra kullanılan suyun bileşenlerini de ifade etmektedir. Su ayak izi hesaplamalarında kullanılan suyun tipi veya kapsamı mavi, yeşil ve gri su ayak izi bileşenleri ile temsil

edilmektedir. Geleneksel su kullanımında sadece yüzey ve yeraltı suyu miktarını ifade eden mavi su ayak izi hesaba katılmaktadır. Ancak, geleneksel su kullanımlarından farklı olarak su ayak izi metodunda, mavi su ayak izine ek olarak yeşil ve gri su miktarlar da tanımlanmaktadır (Zeng, Liu, Koeneman, Zarate ve Hoekstra, 2012).

**Tablo 2.2.** Su ayak izinin bileşenleri (Aldaya ve Llamas, 2008a; Allafi Omar, 2019)

Yeşil Su	Mavi Su	Gri Su
Herhangi bir ürünü üretmek için gereken yağmur suyu miktarıdır.	Herhangi bir ürünü üretmek için gereken yüzey ve yer altı suyu miktarıdır.	Mevcut su kalitesi standartlarına dayalı olarak, kirlilik yükünün bertaraf edilmesi ya da azaltılması için kullanılan tatlı su miktarıdır.

Tablo 2.2’de gösterildiği gibi su ayak izi metodunda kullanılan farklı su türleri analiz edilmektedir. Bu su türleri farklı ekolojik işlevlerle kendilerini gösterirler. Birincil üretim neticesinde kullanılan mavi su, yüzey ve yeraltında bulunan su kaynaklarıdır. Bu bağlamda mavi suya erişmek (sulama şebeke altyapısı, işletme-bakım giderleri) genellikle yüksek maliyetle mümkündür. Yeşil su, toprakta toprak nemi olarak depolanan yağmur suyu kaynaklarıdır. Yeşil su bitkisel üretimle ilgili olup sadece üretim aşamasında buharlaşan veya terlemeyle kaybedilen su olduğundan dolayı mavi suya erişimden daha kolaydır ve düşük maliyetlidir (Engin, 2019). Bu nedenle su tasarrufu açısından mavi ve yeşil su ayrımı önemlidir. Yeşil suyu yalnızca bitkiler kullanırken mavi suyu bitkilere ek olarak insanların yönettiği çeşitli sistemler de kullanmaktadır (Kaumudini, 2013).

Her bir sektörün veya ülkenin toplam su ayak izi mavi, yeşil ve gri bileşenlerinin toplamına eşittir (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

$$SA_{toplam} = SA_{mavi} + SA_{yeşil} + SA_{gri} \quad (2.1)$$

Burada  $SA_{toplam}$ , toplam su ayak izi;  $SA_{mavi}$ , toplam mavi su ayak izi;  $SA_{yeşil}$ , toplam yeşil su ayak izi;  $SA_{gri}$ , toplam gri su ayak izidir.

### 2.3. Ulusal Üretimin Su Ayak İzi

Son yıllarda daha çok ön plana çıkan su ayak izi, ekolojik ve karbon ayak izine benzer şekilde ortaya atılan yeni bir kavramdır (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Su ayak

izi kavramı ilk kez 2002 yılında Arjen Hoekstra tarafından bilimsel literatüre kazandırılmıştır. 2008 yılında Arjen Hoekstra'nın önderliğinde Su Ayak İzi Ağı kurularak su ayak izi metodu daha da geliştirilmiştir. İlk çalışmalar tarımsal ürünler için değerlendirilse de daha sonradan ülke, bölge, havza, sektör, birey ve ürün bazında birçok detaylı su ayak izi çalışması yapılmıştır.

Bir ulusun ihraç ettiği veya ülke içinde tükettiği mal ve hizmetlerin üretiminde kullanılan su hacminin belirlenmesi için su ayak izi metodu önemlidir. Ulusal üretimin su ayak izi, ulusların su kaynaklarının nasıl kullanıldığını göstermek ve bu kullanımın sürdürülebilirliği tespit etmek için gerekli bir hesaplamadır. Üretimin su ayak izi hesabında ulusların tüm sektörlerde (tarımsal, hayvansal, evsel, endüstriyel) kullandığı su miktarı hesaba alınmaktadır. Her sektör ürün açısından farklı su içeriklerine sahiptir. Bu bağlamda bir ulusun toplam su ayak izi bütün sektörlerin toplamına eşittir (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

$$SA_{ulusal} = SA_{tarımsal} + SA_{hayvansal} + SA_{evsel} + SA_{endüstriyel} \quad (2.2)$$

Burada,  $SA_{ulusal}$ , toplam su ayak izi;  $SA_{tarımsal}$ , tarımsal su ayak izi;  $SA_{hayvansal}$ , hayvansal su ayak izi,  $SA_{evsel}$  evsel su ayak izi ve  $SA_{endüstriyel}$  endüstriyel su ayak izidir.

Ülkemizde yapılan çalışmalarda üretimin sektörler göre su ayak izi incelendiğinde tarımsal üretim %89 ile en fazla oranı, evsel üretim %7 ve endüstriyel üretim %4 oranını kapsamaktadır (WWF, 2014).

#### 2.4. Tarımsal Üretimin Su Ayak İzi

Tarım, genellikle coğrafi yapıya ve iklim şartlarına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Stratejik öneme sahip olan tarım sektörü gıda gereksinimini temin etme açısından son derece önemlidir. Bu bağlamda küresel ölçekte en fazla su tüketimine bağlı olan sektördür (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Bu sektörde tarımsal üretimin ve verimliliğin artırılması amacıyla sulamada su tasarrufu sağlayan sulama metotlarının uygulanmasını, sulanan alanları ve birim alandan alınan verimi artıran politikalara önem verilmelidir (Çakmak ve ark., 2014).

Tarımsal üretim, üretimi yapılan bütün bitkisel faaliyetlerin toplamıdır. Bu açıdan tarımsal su ayak izi büyük ölçüde evapotranspirasyon miktarına bağlı olarak CROPWAT yazılımıyla ve Hoekstra tarafından geliştirilen Su Ayak İzi Ağı yöntemiyle

hesaplanmaktadır. Bu bağlamda bu çalışma tahıllar, baklagiller, yem bitkileri, yağ bitkileri, sanayi bitkileri, diğer bitkiler, sebzeler, meyveler ve baharatlar gibi tarımsal ürünleri içermektedir.

## 2.5. Bitki Su Tüketimi

Birçok kaynakta *evapotranspirasyon* olarak geçen, *ET* olarak kısaltılan ve hidrolojik döngünün bir elemanı olan *bitki su tüketimi*, doğrudan toprak ve bitki yüzeylerinden buharlaşma olarak tanımlanmaktadır (Şimşek, 2019). *Evaporasyon*, suyun buharlaşarak bulunduğu yerden atmosfere karışmasıdır. Doğal enerji kaynağı olan güneş radyasyonu ve hava sıcaklığı suya nüfuz edip rüzgâr sayesinde atmosferle buhar basıncı farkı oluşturarak evaporasyonu meydana getirmektedir (TAGEM, 2017). *Transpirasyon* ise terleme ile bitkilerdeki suyun buharlaşarak atmosfere karışmasıdır. Bitkiler topraktan aldığı suyun çok az bir kısmını kullanmakta ve büyük bir kısmını terlemeyle kaybetmektedir (TAGEM, 2017). Evaporasyon ve transpirasyon aynı anda gerçekleştiği için atmosfere taşınan su bir arada evapotranspirasyon olarak ifade edilmektedir. *ET* genellikle ‘mm’ cinsinden ifade edilmektedir (Tahmiscioğlu, 2015).

Evapotranspirasyon doğrudan ölçülerek ya da bitki ve iklim verilerini kullanılarak hesaplanmaktadır. Doğrudan hesaplamada *ET*, ölçüm teknikleriyle belirlenmektedir. Bitkisel evapotranspirasyonun hesaplanması için,

$$ET_C = K_C \times ET_0 \quad (2.3)$$

formülü geliştirilmiştir. Bu formülde *ET<sub>C</sub>*, bitki su tüketimini(mm/gün); *K<sub>C</sub>*, bitki katsayısını (boyutsuz); *ET<sub>0</sub>*, referans bitki su tüketimini (mm/gün) temsil etmektedir.

*Referans evapotranspirasyon (ET<sub>0</sub>)*, atmosferin bitkideki buharlaşma gücünü gösteren temel parametre olup kullanılabilir suyun maksimum düzeyde topraktan ve bitkiden atılmasını temsil etmektedir (Chapagain ve Hoekstra, 2004). *ET<sub>0</sub>* iklim ve meteoroloji verileri ile hesaplanmakta ve genel olarak çim bitkisi (*ET<sub>C</sub>=ET<sub>0</sub>*) referans alınmaktadır (TAGEM, 2017). *ET<sub>0</sub>* belirli özel bir yerin ve yılın belli bir zamanındaki buharlaştırmayı gösterdiği için sadece iklimden etkilenmekte olup bitki katsayılarından ve toprak faktörlerinden etkilenmemektedir (Aldaya ve Llamas, 2008a). *K<sub>C</sub>* ise bitki katsayılarını göstermektedir (Bitki katsayıları ile ilgili detaylı bilgiler sonraki bölümde verilmiştir.).

### 2.5.1. Bitki su tüketimine etki eden parametreler

Evaporasyonu etkileyen faktörler; güneş radyasyonu, havanın nem durumu, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, gölgelenme miktarı ve topraktaki su miktarı olarak verilebilir. Transpirasyonu etkileyen faktörler ise; güneş enerjisi, buhar basıncı, rüzgâr, su kapsamı, tuzluluk, toprağın su tutma kapasitesi, köklerin suya ulaşması, tarımsal uygulamalar, bitki özellikleri ve gelişim dönemleri gibi parametrelerdir. Bitki su tüketimine etki eden bu faktörler Şekil 2.2’de özetlenmiştir.

1.İklim Faktörleri	2.Toprak Faktörleri	3.Bitki Faktörleri
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Güneş enerjisi</li> <li>•Sıcaklık</li> <li>•Bağıl Nem</li> <li>•Rüzgar</li> <li>•Güneşlenme süresi</li> <li>•Gündüz saatleri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Toprak nemi</li> <li>•Toprağın işlenme durumu</li> <li>•Bitki örtüsü</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Bitki cinsleri</li> <li>•Gelişme devresi</li> <li>•Büyüme mevsimi</li> </ul>

Şekil 2.2. Bitki su tüketimine etki eden parametreler (Yelkara, 2015)

İklim faktörlerinden güneş ışınlarının şiddeti, sıcaklık, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi ve gündüz saatleri bitki su tüketimiyle doğru orantılıdır. Yani bu faktörler artarsa bitki su tüketimi de artar. Ama havanın bağıl nemi arttığında buharlaşma ve terleme azalacağından dolayı bitki su tüketimi de azalır.

Toprak faktörlerinden; toprağın üst katmanında nem arttıkça toprak doyma noktasına yaklaştığından yüzeyde buharlaşma artmaktadır, kök kısmında ise buharlaşma yok denecek kadar az olmaktadır. Toprağın işlenme durumunda yüzey ıslak olacağından buharlaşma başta artar sonra zamanla azalır. Toprağın yüzeyinde buharlaşma arttıkça bitki su tüketimi de artar. Köklerde nem miktarının fazla olması bitkiyi geliştirmektedir. Bitki geliştikçe de terleme miktarı artar ama gölgelenme artacağı için buharlaşma azalır. Bu nedenle, bitki büyüme dönemi boyunca gelişmenin başlarında buharlaşma terlemeden daha fazla gerçekleşmektedir. Zamanla bitki gelişimini tamamlayınca terleme artmakta ve maksimum değere ulaşmaktadır (Yelkara, 2015).

Bitki faktörlerinden; bitki cinsinin farklılıklarına ve aynı bitkinin gelişim dönemlerine göre bitki su tüketimi de değişmektedir (TAGEM, 2017). Başlangıç döneminde bitki su tüketimi en az düzeyde olup vejetatif gelişimde artar ve vejetatif gelişimin tamamlandığı dönemde en yüksek değere ulaşır. Ürünün toplanmasına kadar geçen dönemde ise bitki su tüketiminde tekrar azalma olur.

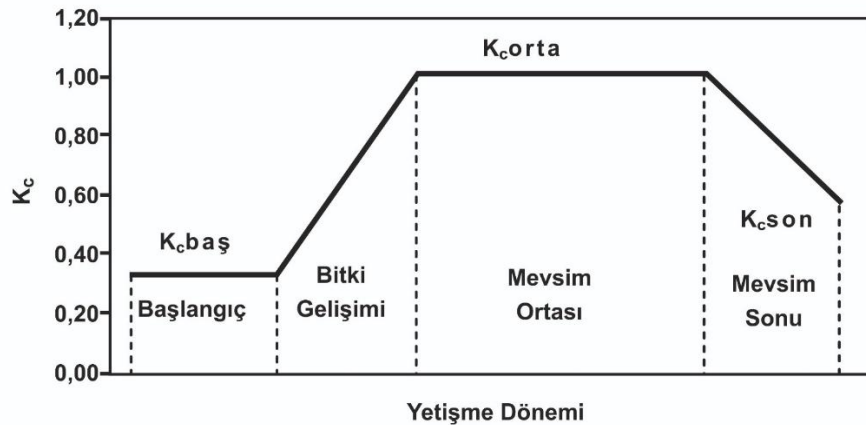
## 2.6. Bitki Katsayıları

İlk olarak Jensen (1968) tarafından ortaya atılan *bitki katsayısı* ( $K_C$ ), belirli şartlar altındaki bitki su tüketiminin ( $ET_C$ ) referans bitki su tüketimine ( $ET_0$ ) oranı olarak tanımlanmaktadır (TAGEM, 2017). Boyutsuz olan  $K_C$  değerleri ideal şartlar altındaki sağlıklı bitkiler için geçerlidir.

$$K_C = \frac{ET_C}{ET_0} \quad (2.4)$$

Bitki katsayısını ( $K_C$ ) etkileyen temel parametreler bitki türü, iklim ve bitkilerin gelişim dönemleridir (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Kurak iklimlerde rüzgâr hızı yüksek olduğundan dolayı  $K_C$  değerleri daha yüksekken, nemli iklimlerde rüzgâr hızı daha düşük olduğundan dolayı  $K_C$  değerleri düşüktür (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Bitki gelişimi boyunca bitki yüksekliği ve yaprak alanları evapotranspirasyonu değiştirdiğinden dolayı  $K_C$  değerleri de gelişim dönemi boyunca farklılaşacaktır.

Tipik bir bitkinin gelişim dönemlerine göre değişen bitki katsayısı grafiği Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Bu grafik bitkilerin başlangıç, orta ve son dönem olarak düzenlenmiştir.  $K_C$  değerleri başlangıç dönemindeyken yani ilk ekim-dikim tarihinde en düşük değerdeyken bitki geliştikçe en yüksek değere ulaşır ve gelişiminin sonuna doğru azalma gösterir.



Şekil 2.3. Bitki katsayısının gelişim dönemi değişimi (TAGEM (2017)'den modifiye edilmiştir.)

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi bitki su tüketimi hesaplamalarında kullanılan  $K_C$  değerlerinin dört farklı gelişim dönemleri vardır. Bu dönemlerin detaylı açıklaması Şekil 2.4'te verilmektedir.

Başlangıç Dönemi (I.Dönem Uzunluğu)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Bitkinin yaprak tomurcuklarını açmasıyla başlayıp yaprakların oluşumuyla sonlandığı dönemdir.</li> <li>•Bu dönemde <math>K_C</math> katsayısı sabit kabul edilir.</li> </ul>
Gelişme Dönemi (II.Dönem Uzunluğu)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Başlangıç döneminin sonuyla bitkinin yeşil kısımlarının hızla geliştiği dönemdir.</li> <li>•Bu dönemde <math>K_C</math> katsayısının her gün arttığı kabul edilir.</li> </ul>
Orta Dönem (III.Dönem Uzunluğu)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Gelişme döneminin bitmesiyle çiçeklenme, olgunlaşma ve meyve verme gibi gelişme özelliklerinin olduğu dönemdir.</li> <li>•Bu dönemde <math>K_C</math> katsayısı sabit kabul edilir.</li> </ul>
Son Dönem (IV.Dönem Uzunluğu)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Orta dönemin sonuyla hasat arasındaki dönemdir.</li> <li>•Bu dönemde <math>K_C</math> katsayısının her gün azaldığı kabul edilir.</li> </ul>

Şekil 2.4. Bitki katsayısı gelişim dönemleri (TAGEM, 2017)

## 2.7. Etkili Yağış

Hidrolojide mavi su haline gelen ve bitkinin toprakta (kök kısmında) bulunan kısmının yararlandığı yağış miktarına etkili yağış veya efektif yağış denilmektedir (Aldaya ve Llamas, 2008b). Bu bağlamda efektif yağış bitkinin yeşil su ihtiyacına karşılık gelmektedir. Bitki su tüketiminin sulamayı karşılayacak kısmının hesaplanması açısından efektif yağış miktarının bilinmesi önemlidir.  $ET_C$  (bitki su tüketiminin) miktarının  $P_{eff}$  (etkili yağış) miktarından büyük veya eşit olması halinde yeşil su ayak izi ( $ET_{yeşil}$ , mm) efektif yağışın tümüne karşılık gelmektedir (Muratoğlu, 2020).

## 2.8. Sulama Suyu İhtiyacı

Sulama suyu ihtiyacı her bitkide ve gelişim dönemlerinde farklılık göstermektedir. Bitkinin yetiştirme süresince yağışlarla temin edilmeyen su gereksinimi sulama suyu olarak adlandırılmaktadır (Engin, 2019). Sulama suyu ihtiyacını toprak yüzeyindeki buharlaşmadan, bitkide terlemeyle atılan su buharından, toprağın su tutma kapasitesinden, yağışlardan, toprak ve bitki kök derinliğinden etkilenmektedir (Çakmak ve ark., 2014). Bitki su tüketimi ( $BST$ ) kapsamında değerlendirilen sulama suyu genellikle  $BST$  değerinden düşüktür. Mavi su ihtiyacına ( $ET_{mavi}$ ) karşılık gelen net sulama suyu bitkide depolanması istenen su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bu

miktarı bitki su tüketimi (*BST*) ile efektif yağış arasındaki fark belirlemektedir (TAGEM, 2017). Bitki su tüketimi efektif yağıştan büyük veya eşitse net sulama suyu farka eşit olmaktadır. Küçükse sulamaya gerek olmadığı için net sulama suyu ihtiyacı da sıfır kabul edilmektedir (Muratoğlu, 2018).

## BÖLÜM 3

### LİTERATÜR İNCELEMESİ

#### 3.1. Uluslararası Çalışmalar

##### 3.1.1. Küresel ölçekli çalışmalar

Zhang ve ark. (2017), bibliyometrik analiz tekniklerini kullanarak su ayak izi alanında en fazla çalışması olan ülkeleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Chapagain ve Hoekstra (2003), kahve ve çay ürününün su ayak izini Hollanda ve ihrac eden ülkeler için değerlendirmişlerdir. Chapagain ve Hoekstra (2004) tarafından geliştirilen metot kullanılarak dünyada kahve ve çay elde edebilmek için kullanılan toplam su miktarı 140 milyar m<sup>3</sup> ve Hollanda'da kahve ve çayın su ayak izi miktarı toplam 2,7 milyar m<sup>3</sup> olduğu saptamışlar. Ayrıca Hollanda'da bir fincan kahve için 140 litre ve bir fincan çay için 34 litre su tüketildiği de tespit etmişlerdir. Chapagain ve Hoekstra (2010b) yaptıkları çalışmada 2000-2004 yılları arasında pirinç ürününün küresel su ayak izini CROPWAT yazılımı yardımıyla elde etmişler. Yapılan hesaplamalarda küresel toplam mavi su ithalatının 14,6 milyar m<sup>3</sup>/yıl (%47), yeşil su ithalatının 14,1 milyar m<sup>3</sup>/yıl (%45) ve toplam su transferinin 31,1 milyar m<sup>3</sup>/yıl olduğu saptanmıştır. Hoekstra ve Mekonnen (2010) yaptıkları çalışmada 1996-2005 yılları arasında bitkisel ürünlerin su ayak izini CROPWAT modeli yardımıyla hesaplamışlar. Yapılan hesaplamada küresel ölçekteki bitkisel ürünlerin (126 ürün) toplam su ayak izinin 7404 milyar m<sup>3</sup>/yıl olduğu ve bu miktarın %78'inin yeşil su ayak izi, %12'sinin mavi su ayak izi ve %10'unun gri su ayak izi olduğu saptamışlar. Chapagain ve Hoekstra (2010a) yaptıkları çalışmada küresel ölçekte çiftlik hayvanlarının ve hayvansal ürünlerin su ayak izini Hoekstra'n geliştirdiği metotla hesaplamışlar. Yapılan hesaplamada çiftlik hayvanlarının küresel su ayak izini 2422 milyar m<sup>3</sup>/yıl olduğunu ve bu miktarın %87,2'sinin yeşil su ayak izi, %6,2'sinin mavi su ayak izi ve %6,6'sının gri su ayak izi olduğunu saptamışlar. Mekonnen ve Hoekstra (2011a), 1996-2005 yılları arasında Su Ayak İzi Ağı metodu yardımıyla ulusların su ayak izini üzerine çalışmışlar. Toplam küresel su ayak izini 9087 milyar m<sup>3</sup>/yıl ve bu miktarın %74'ünün yeşil su ayak izi, %11'inin mavi su ayak izi ve %15'inin gri su ayak izi oluşturduğunu saptamışlar. Ercin ve Hoekstra (2012), 2050 yılı için Avrupa'nın su ayak izini Su Ayak İzi Değerlendirme El Kitabındaki metodoloji ile hesaplamışlardır. Günümüzde en büyük üretimin su ayak izine sahip olan

Fransa ve İspanya gibi ülkelerin 2050’de de en büyük su ayak izine sahip olacağını bildirmişlerdir. Gerbens-Leenes, Mekonnen ve Hoekstra (2013) yaptıkları çalışmada küresel ölçekte kümes hayvanlarının, domuz etinin ve sığır etinin su ayak izini hesaplamışlar. Yapılan hesaplamalarda sığır etinin, sanayi sistemleri için büyük mavi ve gri su ayak izine sahipken otlatma sistemlerinde küçük mavi ve gri su ayak izine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Jefferies ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada çay ve margarin ürününün küresel su ayak izini Su Ayak İzi Ağı ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi metotları yardımıyla hesaplamışlar. Yapılan hesaplama sonuçlarında 50 g çayda yeşil su ayak izi 294 litre iken mavi su ayak izi 10 litre, 500 g’lık margarinde ise yeşil su ayak izi 553 litre iken mavi su ayak izi 109 litre olarak saptamışlar. Coles ve Crang (2013), 1995-1999 yılları arasında CROPWAT, CLIMWAT ve FAOSTAT veri tabanları kullanılarak küresel sanal su akışları araştırmışlar. Yapılan hesaplamada küresel toplam sanal su miktarının 695 milyar m<sup>3</sup>/yıl olduğunu ve en yüksek sanal su ihracatının ABD’de iken en yüksek sanal su ithalatının Sri Lanka’da olduğunu ortaya koymuşlardır. Chapagain, Hoekstra, Savenije ve Gautam (2005), 1997-2001 yılları arasında Su Ayak İzi Ağı ve CROPWAT modelleri yardımıyla pamuk ürününün tüketim su ayak izini çalışmışlardır. Yapılan hesaplamada küresel toplam tüketiminin su ayak izini 256 milyar m<sup>3</sup>/yıl ve bu miktarın yeşil su ayak izinin %39, mavi su ayak izinin %42 ve gri su ayak izinin %19 oranında olduğunu belirtmişlerdir.

### 3.1.2. Ulusal ölçekli çalışmalar

Uluslararası literatürdeki bazı ulusal ölçekli çalışmalar Tablo 3.1’de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Ulusal ölçekli çalışmalar

<b>Kaynak</b>	<b>Bölge/ülke bazlı yapılan su ayak izi çalışmaları</b>	<b>Sonuçlar</b>
Bulsink, Hoekstra, ve Booi (2010)	Endonezya’nın 30 ilindeki sanal su akışını ve su kullanımının %86’sını oluşturan bitkisel ürünlerin su ayak izleri Chapagain ve Hoekstra (2004)’ın geliştirdiği metotla araştırılmıştır.	Yapılan hesaplamalarda illerin su ayak izleri 859 ile 1895 m <sup>3</sup> /yıl arasında değiştiği, sanal su akışlarının düşük olduğu ve bitkisel su ayak izinin 1131 m <sup>3</sup> /yıl olduğu saptanmıştır.
Aldaya, Munoz ve Hoekstra (2010)	CROPWAT programı yardımıyla Orta Asya’da üretilen pamuk, buğday ve pirinç ürününün su ayak izleri üzerine çalışılmıştır.	Elde edilen hesaplamalarda tarım sektöründeki su ayak izinin %39 buğday, %33 pamuk ve %3 pirinç oranında olduğunu tespit etmişler. Ayrıca toplam tüketimin Tacikistan’da 939 m <sup>3</sup> /kişi/yıl ve Kazakistan’da 1774 m <sup>3</sup> /kişi/yıl olduğunu belirlemişler.

Ercin, Mekonnen ve Hoekstra (2012)	Fransa'nın 1996-2005 yılları için su ayak izini Su Ayak İzi Ağı tarafından tavsiye edilen metodoloji yardımıyla hesaplanmıştır.	Yapılan hesaplamada üretimin su ayak izi 90 milyar m <sup>3</sup> /yıl ve tüketimin su ayak izi 106 milyar m <sup>3</sup> /yıl olduğu saptanmıştır. Ayrıca Fransa'nın %47 oranında dış ticarete bağlı olduğu belirtilmiştir.
Ercin, Mekonnen ve Hoekstra (2012)	İsviçre'nin 1996-2005 yılları için ulusal tüketimin su ayak izi ve bileşenleri hesaplanmıştır.	Ulusal tüketimin su ayak izinin 11 milyar m <sup>3</sup> /yıl olduğu ve bu miktarın %68'inin yeşil su ayak izi, %7'sinin mavi su ayak izi ve %25'ini gri su ayak izi oluşturduğu ortaya konulmuştur.
Hoekstra, Booi, Hunink ve Meijer (2012)	Hollanda'nın tarımsal, endüstriyel ve evsel mavi su ayak izini Ulusal Hidrolojik Enstrüman (yeraltı ve yüzey suyu modeli) modeliyle hesaplanmıştır.	Elde edilen sonuçlara göre Hollanda'nın mavi su ayak izi 3463 m <sup>3</sup> /yıl olduğu saptanmıştır.
Mekonnen ve Hoekstra (2011b)	Kenya'nın 1996-2005 yılları için bitkisel üretimin su ayak izi analiz edilmiştir.	Kenya'nın bitkisel üretimin su ayak izini 18, yeşil su ayak izini 17,6, mavi su ayak izini 0,2 ve gri su ayak izini 0,3 milyar m <sup>3</sup> /yıl olarak bulunmuştur.
Zhang ve ark. (2012)	Çin'in 2007 yılı için sanal su ihracatı araştırılmıştır.	Çin'in 2007 yılı için sanal su ihracatını 7434 m <sup>3</sup> /yıl (toplam suyun %11,5'ine denk) olarak tespit etmişler.
Chouchane, Hoekstra, Krol ve Mekonnen (2013)	Tunus'un 1996-2005 yılları için ulusal su ayak izi Su Ayak İzi Ağı yöntemiyle hesaplanmıştır.	Tunus'un toplam su ayak izi 19 milyar m <sup>3</sup> /yıl ve bu miktarın %87'sinin tarımsal üretim olduğu saptanmıştır.
Mekonnen, Pahlow, Aldaya, Zarate ve Hoekstra (2014)	Latin Amerika ve Karayipler bölgesinin 1996-2005 yılları için su ayak izi hesaplanmıştır.	Toplam su ayak izi 1,162 milyar m <sup>3</sup> /yıl ve bu miktarın yeşil su ayak izi %87, mavi su ayak izi %5 ve gri su ayak izi %8 oranında olduğu saptanmıştır. Ayrıca bu miktarın %93'ü tarımsal üretim (%71'i bitkisel üretimi ve %23 otlatma) ve %2,4'ü endüstriyel üretim olduğu belirtilmiştir.
Schtyns ve Hoekstra (2014)	Fas'ın su ayak izi değerlendirilmiştir.	Yapılan değerlendirmede toplam su ayak izi 38,8 milyar m <sup>3</sup> /yıl ve bu miktarın yeşil su ayak izi %77, mavi su ayak izi %18 ve gri su ayak izi %5 olduğu saptanmıştır. Ayrıca bitkisel ihracatın su ayak izi %95 ve ithalatın su ayak izi %91 oranında olduğu tespit edilmiştir.
Zhuo, Mekonnen ve Hoekstra (2016)	Çin'in 1978-2008 yıllarının ve 2030-2050 yıllarının bitkisel su ayak izi karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.	Yapılan değerlendirmede 1978-2008 yıllarının toplam bitkisel su ayak izi %7 oranında arttığını, 2030 yılında %24 ve 2050 yılında %47 oranında azalacağını öngörmüşlerdir.
Feng ve ark. (2010)	İngiltere'nin iç ve dış su ayak izi Su Ayak İzi Ağı metodu kullanılarak hesaplanmıştır.	Yapılan hesaplamada iç su ayak izi 273 m <sup>3</sup> /kişi/yıl ve dış su ayak izi 802 m <sup>3</sup> /kişi/yıl olduğu saptanmıştır. Ayrıca tüketimin su ayak izi üretimin su ayak izinden üç kat daha fazla olduğu ortaya konulmuştur.
Zhang ve ark. (2012)	Kıbrıs'ın 1995-2009 yılları için bitkisel su ayak izi ve bileşenleri araştırılmıştır.	Yapılan çalışmada toplam su ayak izi 506 m <sup>3</sup> /yıl olduğu ve bu miktarın %63'ünün yeşil su ayak izi ve %37'sinin mavi su ayak izi olduğu saptanmıştır.
Hoekstra ve Chapagain (2008)	Fas'ın (kurak) ve Hollanda'nın (nemli) su ayak izleri değerlendirilmiştir.	Yapılan değerlendirmede Fas'ın tarımsal su ayak izi 42 milyar m <sup>3</sup> /yıl ve Hollanda'nın 9,9 milyar m <sup>3</sup> /yıl olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Fas'ın %14 oranında Hollanda'nın ise %95 oranında dış kaynaklara bağlı olduğu ortaya konulmuştur.

### 3.1.3. Havza ölçekli çalışmalar

Vanham (2013) yaptığı çalışmada Avrupa Birliği ve Hırvatistan'ın (AB28) nehir havzalarının %90'ını kapsayan tarım ürünlerinin tüketim ve üretim su ayak izi farkı olan sanal su dengesi analiz ederek ithalat ve ihracatın su ayak izini hesaplamışlar. Bu çalışmada ithalatın su ayak izinin çok nüfuslu ve gelişmiş ülkelerde; ihracatın su ayak izinin ise az nüfuslu ve gelişmemiş ülkelerde yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Zhang ve ark. (2012), İspanya'da Duero havzasındaki tahılların toplam su ayak izinin 4,984 milyon m<sup>3</sup>/yıl olduğunu ve bu miktarın %89'unun yeşil su ayak izi, %11'inin mavi su ayak izi olduğunu saptamışlardır. Han ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada Kuzey Çin'de Haihe havzasındaki buğday ve mısır ürününün 1956-2015 yılları için su ayak izini incelemiştir. Yapılan hesaplamada buğdayın toplam su ayak izini 20 milyar m<sup>3</sup>/yıl ve bu miktarın yeşil su ayak izini %52, mavi su ayak izini %29 ve gri su ayak izini %19 oranında olduğunu belirtmişlerdir. Mısırın ise toplam su ayak izini 15 milyar m<sup>3</sup>/yıl ve bu miktarın yeşil su ayak izini %73, mavi su ayak izini %3 ve gri su ayak izini %24 oranında olduğunu saptamışlardır. Zhou, Mekonnen ve Hoekstra (2013) yaptıkları çalışmada Çin'de Nehir havzasındaki mısır, soya fasulyesi, pirinç ve buğday ürününün su ayak izi 1996-2005 yılları için 5×5 ark dakikalık çözünürlükte grid tabanlı günlük su dengesi modeli kullanarak hesaplamışlardır. Dumont, Salmoral ve Llamas (2013) yaptıkları çalışmada İspanya'da Guadalquivir havzasının su ayak izinin %69'unu yeşil su ve %31'ini mavi suyun oluşturduğunu tespit etmişlerdir.

### 3.1.4. Ürün bazlı çalışmalar

Cha, Son, Hong, An ve Part (2017) Kore Cumhuriyeti'nde il bazında beyaz turp ürününün 2012 yılı için mevsimsel su ayak izini değerlendirmişlerdir. Yapılan hesaplamada sonbahar mevsiminde en düşük su tüketimine (135 m<sup>3</sup>/ton), en yüksek üretime ve en düşük evapotranspirasyona sahip olduğu için su tasarrufu açısından etkili mevsim olduğunu tespit etmişlerdir. Mekonnen ve Hoekstra (2010), 1996-2005 yılları için buğday ürününün su ayak izini ve bileşenlerini çalışmışlardır. Yapılan hesaplamada buğdayın toplam su ayak izinin 1088 milyar m<sup>3</sup>/yıl olduğunu ve bu miktarın yeşil su ayak izinin %70, mavi su ayak izinin %19 ve gri su ayak izinin %11 olduğunu bulmuştur. Oel ve Hoekstra (2010) yaptıkları çalışmada FAO GeoNetwork veri tabanı kullanılarak kâğıt ürününün su ayak izini hesaplamışlardır. Yapılan hesaplamada bir adet A4 kâğıdının su ayak izi 2 ile 13 litre arasında değiştiğini

saptamışlardır. Ayrıca kâğıt ürününün en düşük su ayak izi İspanya’da olduğu saptanmıştır. Ercin, Aldaya ve Hoekstra (2012) yaptıkları çalışmada soya sütü ve soya burgerin ve eşdeğer hayvansal ürünlerin (inek sütü ve sığır etinin) su ayak izini CROPWAT ve CLIMWAT yazılımlarını kullanarak karşılaştırmışlar. Yapılan hesaplamada bir litre soya sütünün su ayak izi 297 litreyken bir litre inek sütünün su ayak izi 1050 litre; 150 gr soya burgerinin su ayak izi 158 litreyken 150 gr sığır etinin ise 2350 litre olduğu saptanmıştır. Pahlow, Krol ve Hoekstra (2015) yaptıkları çalışmada Hindistan’da üretilen pamuk ürününün su ayak izini azaltmak için alınması gereken önlemleri araştırmışlardır. Yapılan önerilerde evapotranspirasyon azaltılmasıyla ya da ürün veriminin artırılmasıyla su ayak izinin küçültülebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca gri su ayak izinin azaltmak için organik tarım yapılmasını önermişlerdir. Chapagain ve Hoekstra (2003) yaptıkları çalışmada çay ürününün sanal su içeriğini hesaplamışlar ve 250 ml’lik bir fincan çayın 34 litre sanal su içerdiğini raporlamışlardır. Aldaya ve Hoekstra (2009) yaptıkları çalışmada İtalya’da tüketilen makarna ve pizza ürünlerinin su ayak izini Su Ayak İzi Ağı metodu, CROPWAT ve CLIMWAT yazılımlarını kullanarak hesaplamışlardır. Yapılan hesaplamada bir kg makarnanın su ayak izini 1924 litre ve 725 g’lık bir pizzanın su ayak izini 1216 litre olduğu bulunmuştur.

### **3.1.5. Süreç bazında yapılan su ayak izi çalışmaları**

Ercin, Aldaya ve Hoekstra (2011) yaptıkları çalışmada 0,5 litrelik bir pet şişedeki karbonatlı bir içeceğin tedarik zinciri sürecindeki su ayak izini hesaplamışlardır. Çalışmada içeceğin bileşenlerinin (şeker kamışı, şeker pancarı, su, tatlandırıcı) ve fabrikada kullanılan şişe ve ambalaj malzemelerinin (kapak, tutkal, etiket) su ayak izleri dikkate alınmıştır. İşlemde kullanılan şekerin en yüksek mavi su ayak izi (124 litre) Pakistan’dan şeker kamışı baz alınarak, en düşük (7 litre) ise Hollanda’dan şeker pancarı baz alınarak; gri su ayak izi en düşük (2,4 litre) Brezilya’dan şeker kamışı baz alınarak ve en yüksek (12 litre) tatlandırıcı Çin baz alınarak hesaplanmıştır. Bir şişenin üretimi için kullanılan mavi su ayak izi 0,5 litre, yeşil ve gri su ayak izi ise sıfır olarak hesaplanmıştır.

### 3.1.6. Şirket ölçeğinde yapılan su ayak izi çalışmaları

Ruini, Marino, Pignatelli, Laio ve Ridolfi (2013), İtalya'da kurulan Barilla şirketindeki makarna üretiminin su ayak izini Yaşam Döngüsü Değerlendirme (ISO 14040) metodu yardımıyla incelemişlerdir. Yapılan hesaplamada bir kg Barilla makarnası için İtalya'da 1,336 l/kg su ayak iziyken Türkiye'de 2,847 l/kg olduğu saptanmıştır. Zhang ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada Su Ayak İzi Ağı yöntemi kullanarak Brezilya'da bir kozmetik şirketinin su ayak izini hesaplamışlardır. Yapılan hesaplamalarda toplam su ayak izinin %52,3'ü gri su ayak izi, %30,5'i yeşil su ayak izi ve %17,2'si mavi su ayak izi oluşturduğu tespit edilmiştir. Francke ve Castro (2013) yaptıkları çalışmada Brezilya'daki bir kozmetik şirket tarafından üretilen bir ürünün (sabun) karbon ve su ayak izlerini incelemişlerdir. Yapılan incelemelerde sabunun yeşil su ayak izi 1,581 litre, mavi su ayak izi 1,587 litre ve gri su ayak izi 3,672 litre olduğu hesaplanmıştır.

### 3.1.7. Enerji ölçeğinde yapılan su ayak izi çalışmaları

Gerbens-Leenes, Hoekstra ve Van Der Meer (2008) yaptıkları çalışmada enerji ve tatlı su arasındaki ilişkiyi göstermek için biyo-enerjinin su ayak izini değerlendirmişlerdir. Çalışmada fosil enerji taşıyıcıların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının su ayak izleri hesaplanmıştır. Lienden ve Hoekstra (2010) yaptıkları çalışmada FAO tarafından geliştirilen Penman-Monteith yaklaşımını ve CROPWAT modelini kullanarak karayolu taşımacılığında biyoyakıtların su ayak izini araştırmışlardır. Yapılan hesaplamada biyoyakıtın küresel su ayak izini 90 km<sup>3</sup>/yıl ve bu miktarın %48'inin mavi su ayak izi olduğunu ortaya koymuşlardır. Mekonnen ve Hoekstra (2011c) yaptıkları çalışmada Penman-Monteith yaklaşımını kullanarak hidroelektrik enerjisinin su ayak izini değerlendirmişler. Çalışmada belirlenen hidroelektrik santrallerinde toplam su ayak izi 68 m<sup>3</sup>/GJ olduğu ortaya konmuştur.

### 3.1.8. Beslenme alanında yapılan su ayak izi çalışmaları

Zhang ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada 1996-2005 yılları arasında Avusturya'da sağlıklı beslenmenin ve vejetaryen beslenmenin su ayak izi karşılaştırmışlardır. Yapılan hesaplamalarda su tüketiminin %83'ü tarımsal su ayak izi oluşturduğu saptanmıştır. Vanham, Hoekstra ve Bidoglio (2013) yaptıkları çalışmada Su Ayak İzi Ağı Değerlendirme yöntemini kullanarak Avrupa'da farklı beslenme türlerinin

su ayak izi incelemiştir. Hesaplama sonuçlarına göre sağlıklı beslenmeye oranla vejetaryen beslenmenin daha düşük su ayak izine sahip olduğu tespit edilmiştir. Vanham, Mekonnen ve Hoekstra (2013) yaptıkları çalışmada Su Ayak İzi Ağı metodunu kullanarak Avrupa Birliği ve Hırvatistan'daki (AB28) farklı beslenme için tüketimin su ayak izi araştırılmıştır. Yapılan hesaplama sonuçlarına göre tarımsal ürünlere oranla hayvansal ürünlerin tüketimi daha büyük su ayak izine sahip olduğu saptanmıştır.

### 3.2. Ülkemizdeki çalışmalar

Muratoğlu (2020) tarafından 2008-2019 yılları için buğday ürününün il bazında su ayak izini hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada ülkemizde buğday üretiminin su ayak izi 39 milyar m<sup>3</sup>/yıl ve tüketiminin su ayak izi 48 milyar m<sup>3</sup>/yıl olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca buğdayın mavi su içeriği 1161 m<sup>3</sup>/ton ve yeşil su içeriği 748 m<sup>3</sup>/ton olduğu saptanmıştır. Muratoğlu (2019) yaptığı çalışmada 2008-2019 yılları için Diyarbakır ilinin su ayak izini CROPWAT ve CLIMWAT yazılımlarıyla incelemiştir. Yapılan hesaplamada Diyarbakır ilinin toplam su ayak izi 3,4 milyar m<sup>3</sup>/yıl ve bu miktarın %86'sı tarımsal su ayak izi, %11'i hayvansal su ayak izi ve %3'ü evsel-endüstriyel su ayak izi olduğu saptanmıştır. Muratoğlu (2018) yaptığı çalışmada Su Ayak İzi Ağı ve CROPWAT metodunu kullanarak Dicle Havzası'nın 2010-2018 yılları için su ayak izi ve bileşenleri değerlendirmiştir. Yapılan değerlendirmede Dicle Havza'sının toplam su ayak izi 6,6 milyar m<sup>3</sup>/yıl ve bu miktarın %55'i yeşil su ayak iziyken %45'i mavi su ayak izi olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca havzadaki su ayak izinin %77'si tarımsal su ayak izi, %18'i hayvansal su ayak izi ve %5 evsel-endüstriyel su ayak izi olduğu saptanmıştır. WWF (2014) tarafından yayınlanan Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu adlı çalışmada ilk kez kapsamlı olarak tarımsal su ayak izi başta olmak üzere ulusal üretimin, tüketimin, ihracatın ve ithalatın su ayak izi Su Ayak İzi Ağı metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda üretimin toplam su ayak izi miktarı 139,6 milyar m<sup>3</sup>/yıl ve üretimin yeşil su ayak %64, mavi su ayak izi %19 ve gri su ayak izi %17 oranında olduğu ortaya konulmuştur. Alper (2015) yaptığı çalışmada tekstil ürünü olan pamuk bitkisinin birkaç il için su ayak izinin sürdürülebilirliği Su Ayak İzi Ağı yöntemiyle değerlendirmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda su ayak izi analizlerinin sahada uygulanmasının önemli ölçüde su tasarrufu sağlayacağı ortaya konulmuştur. Acet Başoğlu (2017) tarafından sağlık alanında yapılan bir çalışmada

1960-2050 yılları arasında Türkiye'deki beslenme modellerini sera gazı emisyonu ve su ayak izlerini hesaplayarak gıda tüketiminde AB ve Akdeniz ülkelerine nazaran sera gazı emisyonu miktarının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca gelecekte Türkiye'nin sera gazı emisyonu ve su ayak izi gelişmiş ülkelere nazaran çevresel etkileri daha düşük olacağı tahmin edilmiştir. Şahin (2019) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de üretilen on tarım ürününün Dünya, Türkiye ve Antalya bazında sulama suyu ihtiyaçları karşılaştırılmış, Antalya'da en çok üretilen 20 tarım ürününün su ayak izi hesaplanmış ve Antalya'daki turizmin su tüketimi değerlendirilmiştir. Seçilen tarım ürünlerinin sulama suyu ihtiyacı Antalya ilinde Türkiye'ye nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca Antalya'daki turizm tesisinde hesaplanan su ayak izi değeri uluslararası çalışmalara nazaran daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Erdoğan (2018)'in sağlık alanında yaptığı bir çalışmada Türk Mutfak Kültürü'ndeki sera gazı emisyonu ve su ayak izi etkilerini belirlemeyi amaçlamıştır. Yapılan çalışmada gıdaların üretimi için gerekli enerji miktarının arttığı oranda sera gazı emisyonu ve su ayak izi miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca özellikle hayvansal gıdalardaki protein miktarı sera gazı emisyonunu ve su ayak izini en fazla etkilediği saptanmıştır. Çankaya (2019) tarafından yapılan çalışmada atık su arıtma tesislerinde yöntem olarak gri su ayak izi metodunu önermeyi ve uygulama sonuçlarını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada önerilen su ayak izi yönetiminin uygulanabilirliği saptanmış ve yeşil su ayak izi hesap dışı bırakılarak mavi ve gri su ayak izleri hesaplanmıştır. Engin (2019) tarafından Türkiye'deki pamuk üretiminin altı il için 2016 ve 2018 yıllarının toplam su ayak izi Su Ayak İzi Ağı metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda bir ton pamuk üretiminin toplam su ayak izi miktarı 2016 yılına oranla 2018 yılında arttığı tespit edilmiştir. Tarım sektöründe gri su ayak izi ile ilgili yapılmış ulusal ve uluslararası bir çalışma bulunmamaktadır. GEKA (2015) tarafından Muğla ilinin su ayak izi WaterSTAT modeli ve Penmann-Monteith yaklaşımıyla hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada Muğla ilinin toplam su ayak izi 4,5 milyar m<sup>3</sup>/yıl olduğu saptanmıştır. Mavi su ayak izinin %71'i tarımsal su ayak izi, %18'i kentsel su ayak izi, %8'i turizm sektörünün su ayak izi, %1'i hayvancılığın su ayak izi ve %2'i endüstriyel su ayak izi olduğu ortaya konulmuştur. Bayrak (2019)'ın yaptığı çalışmada Milas-Bodrum havzasında bazı tarımsal ürünlerin mavi su ayak izini FAO tarafından geliştirilen AquaCrop modeliyle hesaplamıştır. Yapılan hesaplamada ürünlerin verimi %10 oranında azaltıldığında %40'a yakın bir oranında su tasarrufu sağlanabileceğini ifade etmiştir.

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 4.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, 36-42° kuzey paralellerinde ve 26-45° doğu meridyenlerinde yer alan Türkiye'dir. Kuzey yarımkürede yer alan Türkiye, büyük bir kısmı Asya kıtasında yer alırken küçük bir kısmı da Avrupa kıtasında yer almaktadır. Türkiye kuzeybatısında Bulgaristan, batısında Yunanistan, kuzeydoğusunda Gürcistan, doğusunda Ermenistan, İran ve Nahçıvan, güneydoğusunda ise Irak ve Suriye ile komşudur. Türkiye'nin üç tarafı Akdeniz, Karadeniz ve bu iki denizi bağlayan Boğazlar ile Marmara Denizi ve Ege Denizi ile çevrilidir (DSİ, 2014).



Şekil 4.1. Çalışma alanı

#### 4.1.1. İklim özellikleri

Türkiye yedi coğrafi bölgeye (Akdeniz, Karadeniz, Marmara, Ege, İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu) ve 29 iklim bölgesine sahiptir (TAGEM, 2017). Türkiye'nin özel konumundan dolayı kısa mesafelerde iklim değişiklik göstermektedir. Bölgelere göre iklim değişiklik gösterse de Türkiye genelinde karasal iklim hâkimdir (Sensoy, Demircan, Ulupınar ve Balta, 2008). Kıyı bölgelerinde denizlerin etkisiyle ılıman iklim gözlenirken iç kesimlerde dağların konumu nedeniyle karasal iklim gözlenir.

Karadeniz iklimi (yazları serin, kışları ılık) özellikle Kuzey Anadolu Dağlarının Karadeniz'e bakan cephelerinde hissedilir. Her mevsim yağışlı (yağış rejimi düzenli)

olan Karadeniz İklimi en fazla yağışı sonbaharda alırken en az yağışı da ilkbaharda alır. Yıllık ortalama yağış miktarı 2000-2500 mm ve sıcaklık 13-15°C'dir (Sensoy, Demircan, Ulupınar ve Balta, 2008).

Ülkemizin genelinde olan Akdeniz iklimi (yazları kurak ve sıcak, kışları ılık ve yağışlı) en fazla yağışı kışı alırken en az yağışı yazın alır. Yıllık ortalama yağış miktarı 600-1000 mm ve sıcaklık 18-20°C'dir (Sensoy, Demircan, Ulupınar ve Balta, 2008).

İç kesimlerde görülen Karasal iklim (yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve karlı) en fazla yağışı ilkbaharda alırken en az yağışı yazın alır. İç Anadolu Bölgesinde ortalama yıllık yağış miktarı 300-400 mm ve sıcaklık 10-12°C'dir. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ortalama yıllık yağış 400-700 mm ve sıcaklık 15-16°C'dir. Doğu Anadolu Bölgesinde ise ortalama yıllık yağış 500-600 mm ve sıcaklık 4-6°C'dir (Sensoy, Demircan, Ulupınar ve Balta, 2008).

#### **4.1.2. Toprak yapısı**

Bir bölgede bulunan bütün yer şekilleri (dağlar, ovalar vb.) dahil edilerek hesaplanan alan gerçek alan olarak tanımlanırken, yer şekilleri dahil edilmeden bölgeyi deniz seviyesinde kabul ederek hesaplanan alan ise iz düşüm alanı olarak tanımlanmaktadır. Türkiye gölleri ve adaları ile birlikte toplam kapladığı gerçek alan 814578 km<sup>2</sup> (81 milyon ha), izdüşümü alanı ise 783562 km<sup>2</sup>'dir (78 milyon ha) (Mızrak, 2017). Ülkemizin ortalama yüksekliği 1132 metredir. Türkiye topraklarının büyük çoğunluğu dağlardan geri kalan kısmı ova, plato ve engebeli alanlardan oluşmaktadır. Türkiye'nin 19 milyon hektarı ova, 8 milyon hektarı plato, 10 milyon hektarı engebeli alan ve 28 milyon hektarı tarım alanından oluşmaktadır. Bu alanların 8,5 milyon hektarı sulanabilir alandır ve 6,65 milyon hektar alanı sulanmaktadır (DSİ, 2019).

#### **4.1.3. Bitki çeşitleri**

Türkiye'de mevcut bitki sayısı yaklaşık 12 bin civarındadır (Avcı, 2018). Bitki çeşitliliğini etkileyen en önemli faktör iklimdir. Bunun yanı sıra coğrafi yapı (Avrupa-Sibirya flora bölgesi, Akdeniz flora bölgesi ve İran-Turan flora bölgesinin kesiştiği yerde olması), toprak özellikleri, yer şekilleri, jeolojik devirler ve beşeri faaliyetler bitki türü çeşitliliğinin zengin olmasına olanak sağlayan faktörlerdir (Avcı, 2014). Türkiye'de

görülen dört iklim tipinde farklı bitkiler yetişmekle birlikte aynı iklim bölgesindeki farklılıklar bitki çeşidini artırmaktadır.

Türkiye'nin bitki örtüsü çayır, bozkır, maki ve ormandır. Çayır, genellikle Doğu Anadolu ikliminde; bozkır, karasal iklimin hâkim olduğu iç kısımlarda; maki, Akdeniz ikliminin hâkim olduğu yerlerde; orman en fazla Karadeniz ikliminde görülmektedir (Günel, 2013). Bu çalışmada TÜİK (2019) ve Tarım ve Orman Bakanlığı (2019) veri tabanı baz alınarak Türkiye'deki bitki çeşitleri Tablo 4.1'de gruplandırılmıştır.

**Tablo 4.1.** Türkiye'deki bitki çeşitleri

Bitki çeşitleri	
Tahıllar	Arpa, Buğday, Çavdar, Çeltik, Darı, Mısır, Yulaf
Baklagiller	Kırmızı Mercimek, Kuru Fasulye, Nohut, Yeşil Mercimek
Yağ Bitkileri	Ayçiçeği, Soya Fasulyesi, Susam, Yerfıstığı, Zeytin
Yem Bitkileri	Fiğ, Korunga, Sorgum, Üçgül, Yonca
Sanayi Bitkileri	Çay, Haşhaş, Kenevir, Pamuk, Şeker Pancarı, Tütün
Diğer Bitkiler	Aspir, Gül, Kanola, Patates, Şerbetçiotu, Tritikale
Sebzeler	Bakla, Bamyacı, Bezelye, Biber, Börölce, Brokoli, Domates, Enginar, Havuç, Hıyar, Ispanak, Karnabahar, Karpuz, Kavun, Lahana, Marul, Maydanoz, Patlıcan, Pırasa, Sarımsak, Soğan, Taze Fasulye, Turp
Meyveler	Antep Fıstığı, Armut, Avokado, Ayva, Badem, Ceviz, Çilek, Dut, Elma, Erik, Fındık, İncir, Kayısı, Kestane, Kiraz, Kivi, Nar, Şeftali, Trabzon Hurması, Üzüm, Vişne
Baharatlar	Anason, Kekik, Kimyon, Rezene

#### 4.1.4. Su kaynakları

Ülkemizde yıllık ortalama yağış 643 mm olup, yılda ortalama 501 milyar m<sup>3</sup> suya karşılık gelmektedir (Usta, 2016). 501 milyar m<sup>3</sup> suyun 274 milyar m<sup>3</sup>'ü göllerden, denizlerden ve bitkilerden evapotranspirasyonla atmosfere dönmekte, 69 milyar m<sup>3</sup>'ü yeraltı suyuna karışıp 28 milyar m<sup>3</sup>'ü tekrar yüzey sularına karışmakta ve 158 milyar m<sup>3</sup>'ü denizlere ve göllere akmaktadır (DSİ, 2014). Komşu ülkelerden 7 milyar m<sup>3</sup> su ülkemiz sularına katılmaktadır. Bu bağlamda yüzey suyu kaynakları toplam 193 milyar m<sup>3</sup> olmaktadır. Yeraltı suyunda kalan 41 milyar m<sup>3</sup> su da hesaba katılarak yenilenebilir su kaynakları toplam 243 milyar m<sup>3</sup> olmaktadır (Akın ve Akın, 2007). Yalnız bu toplamın sadece 44 milyar m<sup>3</sup>'ü kullanılabilir (DSİ, 2014).

## 4.2. Veri

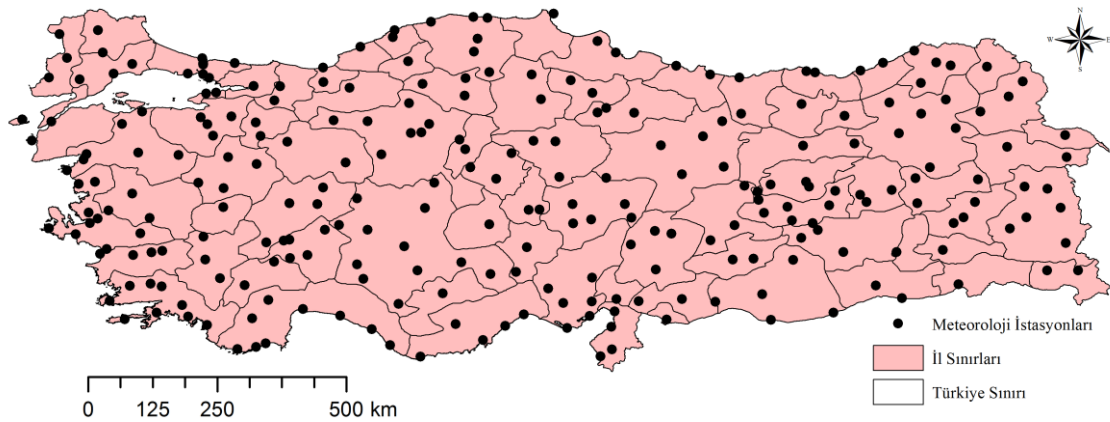
Referans evapotranspirasyon ( $ET_0$ ), TAGEM ve DSİ tarafından yayınlanan Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberinden (TAGEM, 2017) alınmıştır. (Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün kurduğu 259 meteoroloji istasyonun Şekil 4.2’de gösterilen son 30 yıllık verileri ve Tablo 4.2’de belirtilen 29 iklim bölgesi (bitki örtüsüne dayalı iklim sınıflandırması) baz alınarak  $ET_0$  değerleri Penman-Monteith yöntemiyle hesaplanmıştır).

**Tablo 4.2.** İklim bölgeleri ve istasyon sayısı (TAGEM, 2017)

İklim Tipi	İstasyon Sayısı
İlkbaharı Fazla Yağışlı Akdeniz	1
Akdeniz	37
Akdeniz Ardı-1	2
Marmara	21
Marmara-Geçit	5
Serin Karadeniz-1	3
Serin Karadeniz-2	6
İlık Karadeniz	9
Doğu Karadeniz-1	1
Doğu Karadeniz-2	3
Yusufeli	1
Doğu-1	1
Doğu-2	10
İğdır Mikro klima	1
Erzurum-Kars Yaylası	11
Van	6
Hakkâri	3
Güneydoğu-1	6
Güneydoğu-2	10
Güneydoğu-Geçit	8
Yukarı Fırat-Murat	11
Akdeniz-Güneydoğu Geçit	4
Dağ Yamacı-Doğu	12
İç Anadolu-İç Geçit-Serin Karadeniz	11
Dağ Yamacı-Dağ	3
Geçit	13
Dağ Yamaç	13
Akdeniz Ardı-2	12
İç Anadolu	35

Bitki katsayı ( $K_C$ ) değerleri, bitki gelişim periyotları, ekim ve hasat verileri ülkemizde yetiştirilen bitkilerin yetiştiği bölgeler (29 iklim bölgesi, Tablo 4.2’de) baz alınarak TAGEM ve DSİ tarafından yayınlanan Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su

Tüketimi Rehberinden (TAGEM, 2017) temin edilmiştir. TAGEM (2017) FAO veri tabanlarından yararlanarak bitki katsayılarını enterpolasyon tekniği ile hesaplamıştır.



Şekil 4.2. Türkiye'nin 259 meteoroloji istasyonu

2008-2018 yılları için (11 yıllık) aylık alansal yağış ortalamaları Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) uzun süreler yağış verisine sahip olan 259 noktasal meteoroloji istasyonunun yağış verilerini kullanmıştır. MGM alansal yağış hesabı için altı yöntem tanımlamıştır: Thiessen Çokgen, Ağırlık Çokgen (Şen), Yüzde Çokgen (Şen), Mesafenin Ters Ağırlıklı (IDW), Kriging ve Eş yağış eğrileri metotları. MGM (2019) tarafından alansal yağış ortalaması hesabı için bu yöntemlerden Kriging yöntemini tercih edilmiştir.

Bitkisel üretim istatistikleri (üretim miktarı, ekilen alan ve verim) Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2019) veri tabanından elde edilmiştir. TÜİK bitkisel üretim verilerinde CPA 2008 (Ürünleri faaliyetlerine göre sınıflama) ve GTİP (Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu) yöntemi kullanılmıştır (Resmi İstatistik Programı, 2017). Çalışma kapsamında kullanılan veriler Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Çalışmada kullanılan veriler

Kullanılan Veriler	Ayrıntılar	Kaynak
Referans evapotranspirasyon	Çim bitkisinin bitki su tüketimi (buharlaşması ve terlemesi)	(TAGEM, 2017)
Bitkisel evapotranspirasyon	Bitkilerin bitki su tüketimi (buharlaşma ve terleme)	
Alansal yağış	Aylık alansal yağış ortalamaları	(MGM, 2019)
Bitki katsayıları	Bitki gelişim uzunlukları, dönem periyotları, ekim ve hasat tarihleri	(TAGEM, 2017)
Bitkisel üretim istatistikleri	Bitki üretim miktarı, ekilen alan ve verim	(TÜİK, 2019)

### 4.3. Metot

#### 4.3.1. ArcGIS yazılımı ve alansal enterpolasyon

ESRI firmasına ait olan CBS yazılımı ArcGIS Desktop; CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) işlemlerini, haritalamayı, coğrafi analizi, veri kullanımını ve veri üretimini sağlayan bir yazılımdır (Kol ve Küpcü, 2008). ArcGIS Desktop yazılımları ArcMap, ArcCatalog, ArcView, ArcToolbox, Model Builder, ArcInfo, ArcGlobe ve ArcEditor ara yüzleri sahiptir. Bu ara yüzler haritalama, analiz, düzenleme, grafikleme ve raporlama işlemlerini gerçekleştirmektedir (Töreayen, Özdemir ve Kurt, 2010).

Herhangi bir alanın farklı yerlerinden alınan belirli değerler kullanılarak alanda herhangi bir belirli olmayan noktanın değerini belirlemeye enterpolasyon denilmektedir. ArcGIS yazılımıyla alansal enterpolasyon, Jeostatistiksel analiz kapsamında Ters Ağırlıklı Mesafe (IDW) Yöntemi, Doğal Komşuluk Enterpolasyon Tekniği (Natural Neighbors Interpolation), Spline Enterpolasyon Tekniği ve Kriging Yöntemi ile gerçekleştirilmektedir (Tural, 2011). Jeostatistiksel analizlerin temel amacı matematiksel ve istatistiksel işlemleri dikkate alarak belirli olmayan her noktadaki veriyi bilinen noktalardaki verileri kullanarak tahmin etmektir (Kale, 2018). Ters Ağırlıklı Mesafe Yöntemi ve Doğal Komşuluk Enterpolasyon Tekniği benzer olup ikisi de bilinen noktalardaki mesafe artışına bağlı olarak bilinmeyen noktaları tahmin etmektedir. Spline Enterpolasyon Tekniği bilinen noktalardan minimum eğrilik yüzeyi kullanılarak bilinmeyen noktaları tahmin eden ve kısa yatay mesafede büyük farklılıklar gösteren verilerde kullanılmayan bir tekniktir. Kriging Yöntemi ise bir alanı çevreleyen ağırlıkları oranında değeri bilinen noktaların mesafeye bağlı olarak bilinmeyen noktaları tahmin eden bir enterpolasyon tekniğidir (Johnston, Ver Hoef, Krivoruchko ve Lucas, 2001). Mevcut çalışmada bu enterpolasyon tekniklerinden Kriging yöntemi hesaplamada tercih edilen yöntem olmuştur.

Kriging yöntemi ilk kez 1950'lerde maden mühendisi D.G. Krige tarafından geliştirilen jeostatistiksel tahmin yöntemidir (Aktaş ve Yılmaz, 2012). Yarıvariogram özelliklerine sahip olan bu yöntem doğrudan ölçümü ve istatistiksel metotlarla yapılan tahminleri barındırmaktadır (Taylan ve Damçayiri, 2016). Kriging yönteminde kullanılan temel eşitlik;

$$N_P = \sum_{i=1}^n P_i \times N_i \quad (4.1)$$

Burada  $N_P$ , Kriging değeri;  $n$ , tahminde kullanılan nokta sayısı;  $i$ , 1'den  $n$ 'ye kadar gözlem noktasındaki değerler;  $P_i$ ,  $N$ 'nin hesabında kullanılan her  $N_i$  değerine karşılık gelen ağırlık değeri;  $N_i$ ,  $N_P$ 'nin hesabında kullanılan noktaların değerini ifade etmektedir (Kale, 2018).

Kriging yönteminin diğer jeoistatistiksel yöntemlerden farkı tahmin edilen noktalarda bir varyans değerinin saptanmasıdır (Yaprak ve Arslan, 2008). Ayrıca tahmin hatalarının varyans değerini en küçük miktarda hesaplayarak en iyi tahmini ve daha güvenli sonuçları sağlamaktadır (Uzunlar, 2006). Kriging yönteminde hata varyansı eşitliği;

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_0 - X_i) + \lambda \quad (4.2)$$

Burada  $\sigma_k^2$ , kriging varyansı;  $\lambda$ , Lagrange çarpanı;  $W_i$ ,  $\gamma(X_0 - X_i)$ 'ye karşılık gelen ağırlık değerleri ve  $N$  hata varyansında kullanılan nokta sayısıdır (Kale, 2018).

#### 4.3.2. CROPWAT yazılımı

Küresel ölçekte yaygın olarak su yönetimi alanında kullanılan modellerden biri olan CROPWAT 8.0 yazılımı, FAO Arazi ve Su Geliştirme Bölümü tarafından 1992 yılında geliştirilmiştir (Nazeer, 2009). CROPWAT bitki desenine, toprak ve iklim verilerine bağlı olarak farklı bitki desenlerinin ürün suyu ve sulama ihtiyaçlarını tahmin etmek için tasarlanan bir yazılımdır (Allen, Pereira, Raes ve Smith, 1998).

CROPWAT yazılımı için gerekli giriş verileri meteorolojik veriler (sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi, yağış), bitki verileri (bitki katsayısı, gelişim dönemi uzunlukları, ekim ve hasat zamanları) ve toprak verileridir (toprak suyu miktarı, sızma oranı) (Karaca, Büyüктаş, Bastuğ, Aydınşakir ve Tekelioğlu, 2017).

CROPWAT yazılım referans bitki su tüketimi ( $ET_0$ ), bitki su tüketimi ( $ET_C$ ), bitki sulama suyu ihtiyacı ( $CWR$ ), sulama suyunun verime etkisini incelemektedir (Kartal, Çolak, Gönen ve Özfidaner, 2019). Bu yazılım referans bitki su tüketimlerini

( $ET_0$ ) günlük, 10'ar günlük veya aylık iklim verileri kullanarak Penman-Monteith yöntemine göre hesaplamaktadır (Kaya, Meral ve Demir Doğan, 2012).

### 4.3.3. Penman-Monteith yöntemi

1948 yılında Penman tarafından meteorolojik veriler (sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem ve güneşlenme) kullanılarak su yüzeyinden evapotranspirasyon denklemi geliştirilmiştir. 1976 yılında Monteith tarafında bu denkleme yüzey direnci faktörleri de ilave edilerek bitkiler için geliştirilmiştir. 1990'larda birçok ülkelerdeki uzmanlar FAO tarafından bir araya getirilerek bu formülü FAO Penman-Monteith yöntemi olarak adlandırmışlardır (Koç ve Güner, 2005).

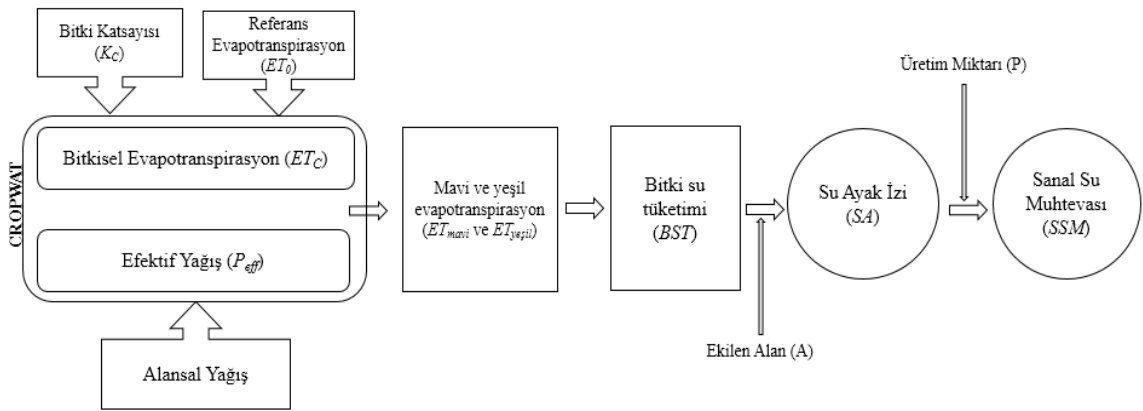
Bitki su tüketimi ( $ET_C$ ) iklim tipine, bitki türüne, bitkinin gelişim periyotlarına göre değişmektedir. Bu nedenle  $ET_C$  hesabında birçok model (Penman, Hargreaves, Penman-Monteith, , Samani-Hargreaves, Kimberly-Penman, Priestley-Taylor, Blaney-Cirdle ve Pan Evaporation) geliştirilmiştir. Yapılan hesaplamalara göre en doğru yaklaşımın FAO-56 (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) tarafından geliştirilen Penman-Monteith modeli olduğu kabul edilmiştir. Penman-Monteith modelinin kullanılması için gerekli veri istasyonları Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün kurmuş olduğu meteorolojik istasyonlardan elde edilerek referans evapotranspirasyon hesaplanmıştır (TAGEM, 2017). Referans evapotranspirasyon ( $ET_0$ ) Penman-Monteith modeline göre,

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \frac{C_n}{T + 273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + (1 + C_d u_2)} \quad (4.3)$$

hesaplanmıştır. Burada  $ET_0$ , referans evapotranspirasyon (mm/gün);  $R_n$ , bitki yüzeyindeki net radyasyon ( $MJ/m^2$ );  $G$ , zemin ısı değişim yoğunluğu ( $MJ/m^2$  gün);  $T$ , hava sıcaklığı ( $^{\circ}C$ );  $u_2$ , rüzgâr hızı (m/s);  $e_s$ , doymuş buhar basıncı (kPa);  $e_a$ , gerçek buhar basıncı (kPa);  $\Delta$ , buhar basıncı eğrisinin eğimi ( $kPa/^{\circ}C$ );  $C_n$ , referans bitki türü ve hesaplandığı süre için sabit pay katsayısı ( $C_n=900$ );  $C_d$ , referans bitki türü ve hesaplandığı süre için sabit payda katsayısı ( $C_d=0,34$ ) olarak tanımlanmaktadır (Zhang, Chiew, Zhang, Leuning ve Cleugh, 2008).

#### 4.3.4. Su ayak izi metodu

Bir ülkedeki ulusal su ayak izi ülkedeki tarımsal, hayvansal, evsel ve endüstriyel su ayak izlerinin toplamına eşit olmaktadır. Mevcut çalışmada ülkemizin tarımsal su ayak izinin analizinde Chapagain ve Hoekstra (2004) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Tarımsal su ayak izi büyük ölçüde evapotranspirasyon miktarına bağlıdır. Bu bağlamda ülkemizin iklimi, bitki ve zemin yapısı göz önüne alınarak evapotranspirasyon miktarının doğru ve hassas ölçülmesi oldukça önemlidir. Şekil 4.3'te su ayak izi metodunun akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.3. Su ayak izi hesaplama aşamasını gösteren akış diyagramı

Tarımsal su ayak izi bir ülkedeki toplam su ayak izinin en büyük bileşeni olup ülkede üretilen bitkilerin su ayak izlerinin toplamıdır. Bitkisel su ayak izinin hesaplanabilmesi için gerekli ilk parametre yeşil ve mavi evapotranspirasyon miktarlarının bulunmasıdır.

$$ET_{mavi} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \quad (4.4)$$

$$ET_{yeşil} = \min(ET_c, P_{eff}) \quad (4.5)$$

Burada  $ET_{mavi}$ , yüzey ve yeraltı suyunun evapotranspirasyonu (mm);  $ET_{yeşil}$ , yağışın evapotranspirasyonu (mm);  $P_{eff}$ , efektif yağış,  $ET_c$  ise evapotranspirasyonu ifade etmektedir (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Bu çalışmada efektif yağış Muratoğlu (2019) tarafından tavsiye edildiği üzere CROPWAT yazılımında USDA-SCS modülü ile hesaplanmıştır.

Bitki su tüketimi miktarı ( $BST$ ,  $m^3/ha$ ), mavi ve yeşil su tüketiminin toplamı olarak hesaplanmaktadır (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

$$BST_{mavi} = 10 \sum ET_{mavi} \quad (4.6)$$

$$BST_{yeşil} = 10 \sum ET_{yeşil} \quad (4.7)$$

$$BST_{toplam} = BST_{mavi} + BST_{yeşil} \quad (4.8)$$

Burada  $BST_{mavi}$ , bitkinin mavi su tüketimi ( $m^3/ha$ );  $BST_{yeşil}$ , bitkinin yeşil su tüketimi ( $m^3/ha$ );  $BST_{toplam}$ , bitkinin toplam su tüketimidir ( $m^3/ha$ ).

Bitki üretim tonajının ekilen alana bölünmesiyle elde edilen verim değerinin  $BST$  bölünmesiyle sanal su muhtevaları ( $SSM$ ,  $m^3/ton$ ) bulunmaktadır (Muratoğlu, 2018). Sanal su muhtevası ürünlerin üretimi için kullanılan su miktarını ifade etmektedir.

$$V = \frac{P}{A} \quad (4.9)$$

$$SSM_{mavi} = \frac{BST_{mavi}}{V} \quad (4.10)$$

$$SSM_{yeşil} = \frac{BST_{yeşil}}{V} \quad (4.11)$$

$$SSM_{toplam} = SSM_{mavi} + SSM_{yeşil} \quad (4.12)$$

Burada  $V$ , verim ( $ton/ha$ );  $P$ , üretim miktarı ( $ton$ );  $A$ , ekilen alan ( $ha$ );  $SSM_{mavi}$ , mavi sanal su muhtevası ( $m^3/ton$ );  $SSM_{yeşil}$ , yeşil sanal su muhtevası ( $m^3/ton$ );  $SSM_{toplam}$ , toplam sanal su muhtevasıdır ( $m^3/ton$ ).

Her ürünün su ayak izi ( $m^3$ ) ise sanal su muhtevalarıyla üretim miktarlarının çarpımıyla elde edilmektedir (Chapagain ve Hoekstra, 2004).

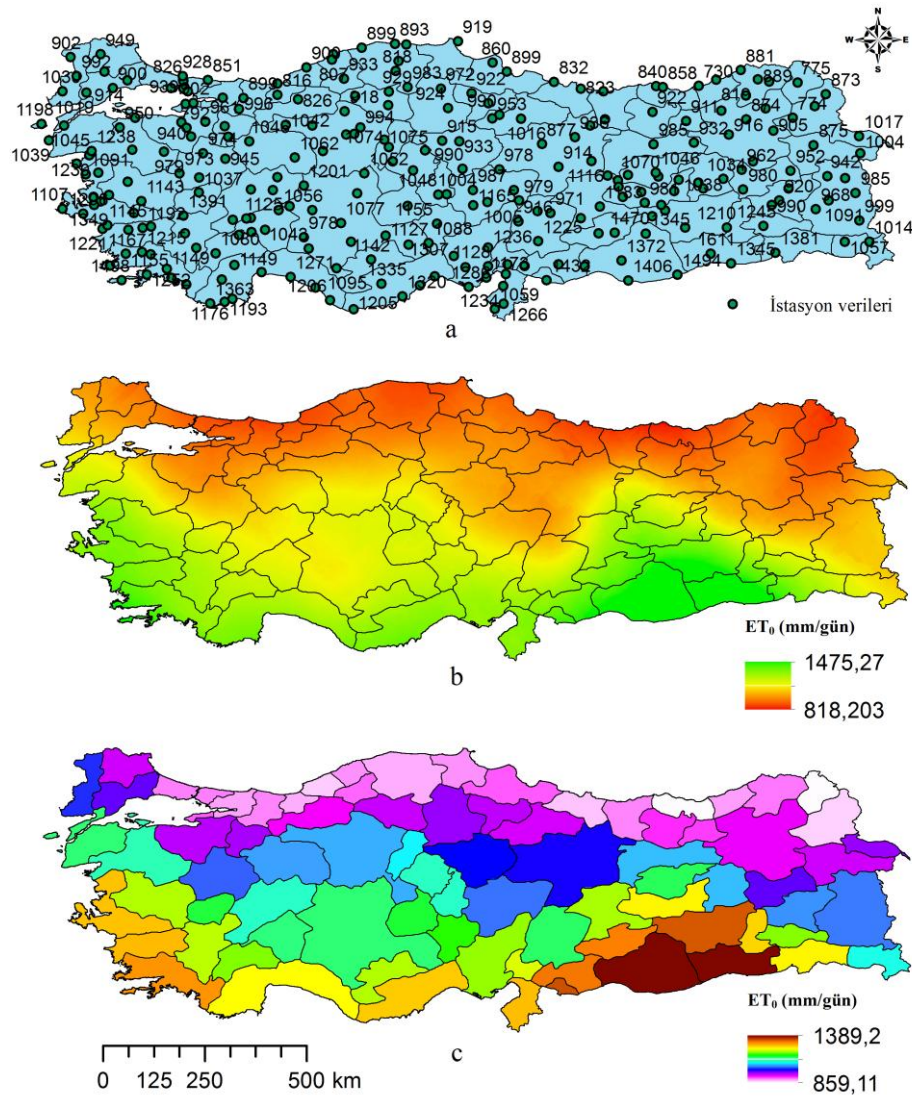
$$SA_{toplam} = \sum SSM_i \times P_i \quad (4.13)$$

## BÖLÜM 5

### BULGULAR

#### 5.1. Alansal Evapotranspirasyon Tahmini

TAGEM'den alınan noktasal referans evapotranspirasyon ( $ET_0$ ) değerleri ArcGIS yazılımıyla Kriging metodu (Bölüm 4.3.1.) kullanılarak alansal referans evapotranspirasyon ( $ET_0$ ) değerlerine dönüştürülmüştür. Yapılan işlemlerde MGM tarafından kaydedilen 259 meteoroloji istasyon verileri göz önüne alınmıştır.



Şekil 5.1. Meteoroloji istasyon verileri (a), Geostatistical (b) ve Zonal Statistical (c) Analyst

ArcGIS yazılımıyla kullanılan harita dokümanı ülke sınırlarını gösteren bir arka plan, meteoroloji istasyon verilerinin gösterildiği bir katman ve analiz sonucunun

gösterildiği başka bir katmandan oluşmaktadır. Kullanılan haritalarda Şekil 5.1a'daki haritada gösterildiği gibi ilk katman verilerin geldiği meteoroloji istasyonlarını ve bu istasyonlardan gelen değerleri temsil etmektedir. İkinci katman arka katman olan ülke sınırı ve il sınırlarından oluşmaktadır. Bu haritada TAGEM'den noktasal alınan 259 meteoroloji istasyon verileri tanımlanmıştır.

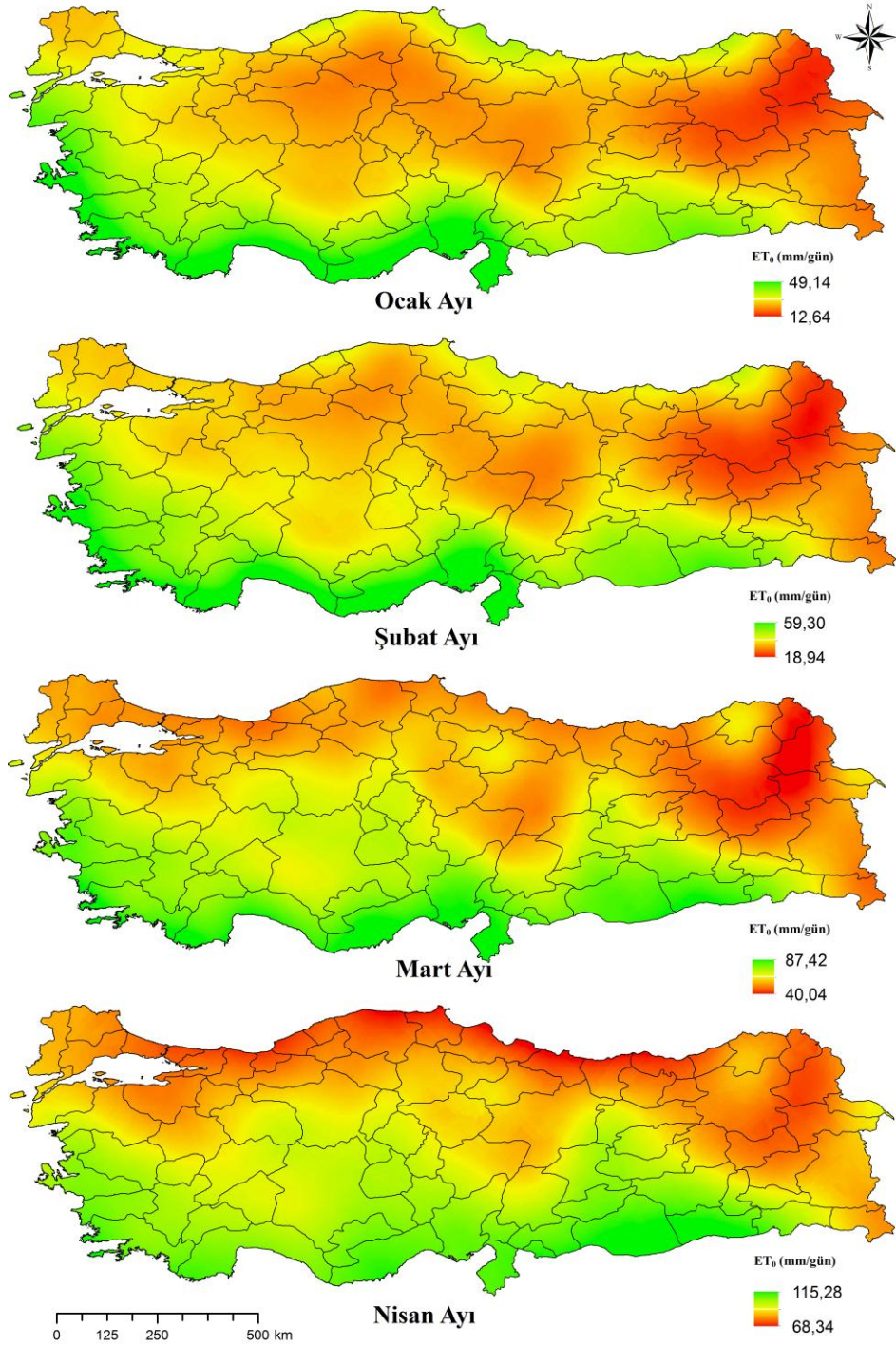
Şekil 5.1b'de gösterilen haritada ArcGIS yazılımının Geostatistical Analyst modülünde (4.2) denklemi meteoroloji istasyon verilerine uygulanarak alansal dağılımdaki hata payı (Root-Mean-Square-Standardized/Kök ortalama kare hatası) asgari seviyeye indirgenmiştir. Geostatistical Analyst, mevcut verilerden verinin olmadığı noktalar için yapılan tahminlerdir. Tablo 5.1'de elde edilen hata oranları düşük değere sahip olduğu için gerçeğe yakın değerler ve haritalar elde edilmiştir.

**Tablo 5.1.**  $ET_0$  hata oranları

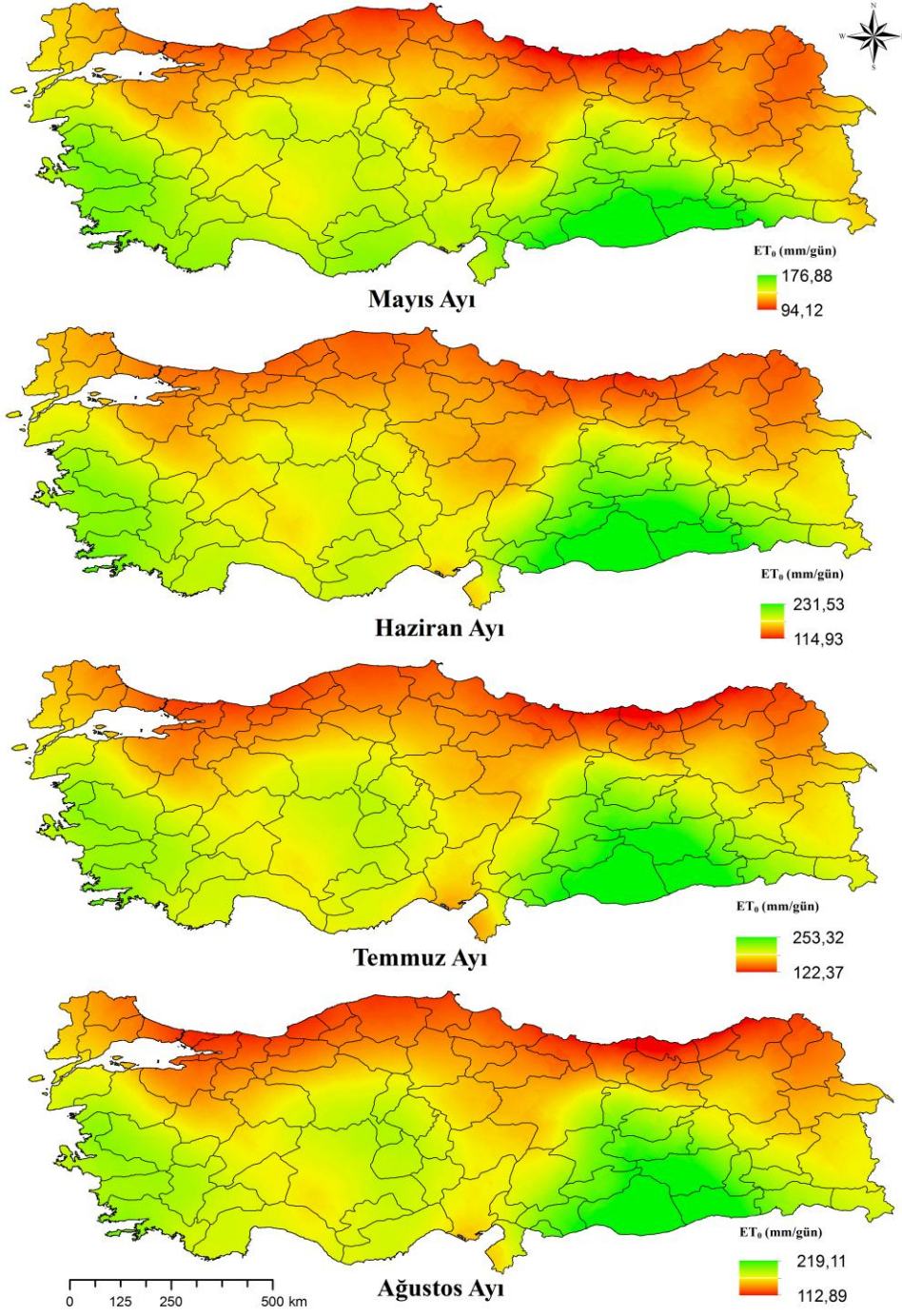
<b>Aylar</b>	<b>Kök ortalama kare hatası</b>
Ocak	0,946
Şubat	0,951
Mart	1,032
Nisan	1,036
Mayıs	1,03
Haziran	0,99
Temmuz	0,959
Ağustos	0,969
Eylül	0,968
Ekim	0,972
Kasım	0,95
Aralık	0,958
Toplam	0,989

ArcGIS yazılımıyla Şekil 5.1b'de verilen haritada Geostatistical Analyst modülünün bir tekniği olan Kriging metodunda denklem (4.1) uygulanarak alansal enterpolasyon yapılmıştır. Kriging metoduyla çevreleyen ölçülmüş değerlerden ağırlıkları oranından yararlanarak bilinmeyen noktalara ait ölçümler kestirilerek hesaplanmıştır. Ağırlıklar, ölçülen noktalarla kestirilecek yani tahmini yapılacak olan noktalar arasındaki uzaklığa bağlı olarak belirlenmiş ve tüm mevcut alan için uygulanmıştır. Bu metotla hem mesafe hem de uzaysal düzen dikkate alınmış ve mevcut meteoroloji istasyon verileri kullanılarak verinin olmadığı noktaların değerleri tahmin edilmiştir.

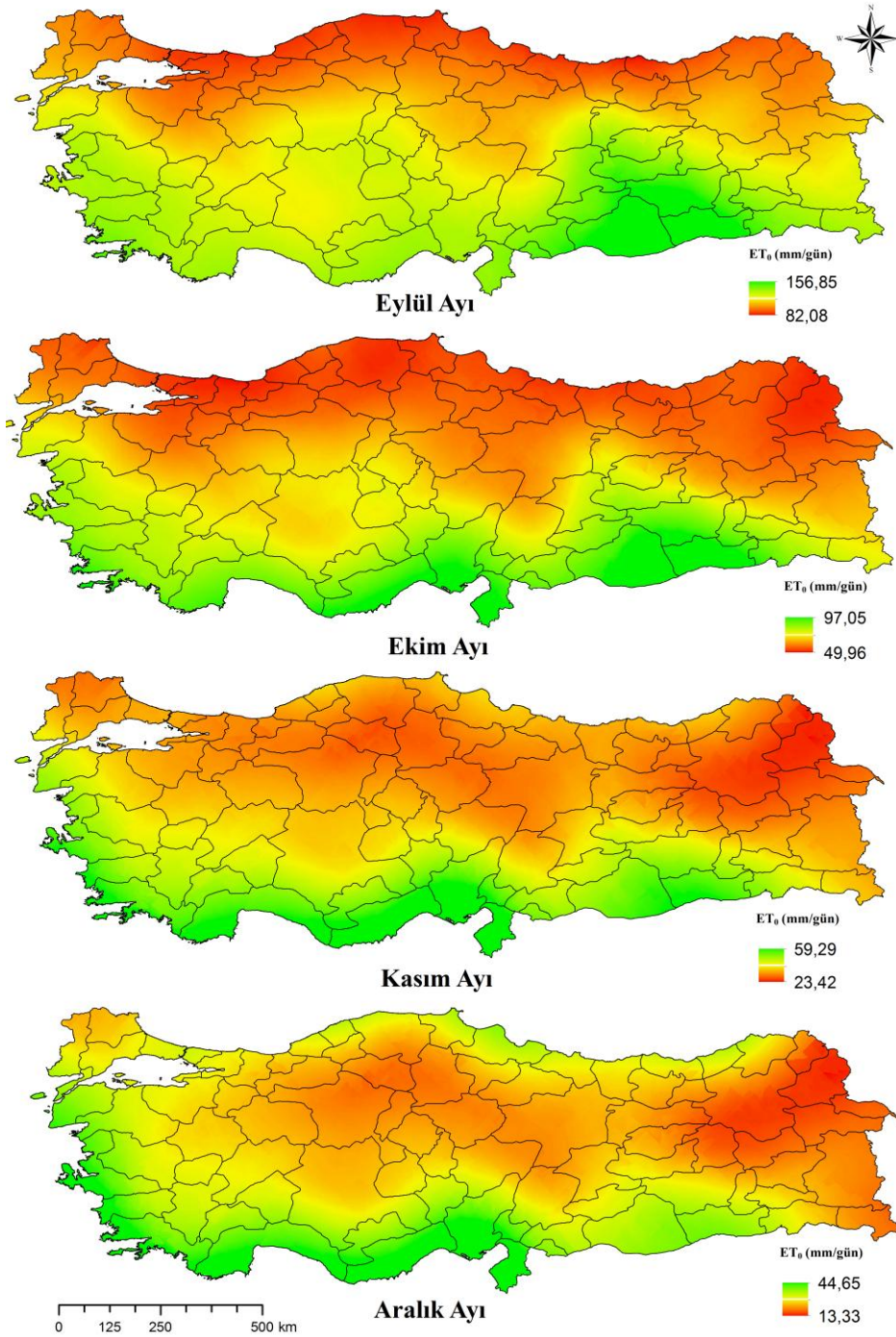
ArcGIS yazılımında Şekil 5.1c'de verilen haritada Zonal Statistics modülü kullanılarak bölgesel istatistik analizi uygulanmıştır. Bu analiz bir veri kümesinin bölgelerinde herhangi bir raster değerleri hakkındaki istatistikleri hesaplamaktadır. Zonal Statistic as Table modülü ise bir veri kümesinin bölgelerinde raster değerlerini özetlemekte ve sonuçları bir tabloya rapor etmektedir.



Şekil 5.2. Ocak, şubat, mart ve nisan ayı alansal  $ET_0$  haritaları



Şekil 5.3. Mayıs, haziran, temmuz ve ağustos ayı alansal  $ET_0$  haritaları



Şekil 5.4. Eylül, ekim, kasım ve aralık ayı alansal  $ET_0$  haritaları

ArcGIS yazılımıyla alansal referans evapotranspirasyon değerlerinin aylık haritaları Şekil 5.2’de, Şekil 5.3’te ve Şekil 5.4’te verilmiştir. Referans evapotranspirasyon sadece iklim parametrelerinde etkilendiğinden dolayı kış aylarında (aralık, ocak ve şubat) alansal  $ET_0$  kıyı bölgelerinde ve güneyde daha yüksek değerlere sahipken iç kesimlerde ve özellikle Doğu Anadolu bölgesinde en düşük değerlere sahiptir. İlkbahar aylarında (mart, nisan ve mayıs) güneyden kuzeye doğru  $ET_0$  değerleri

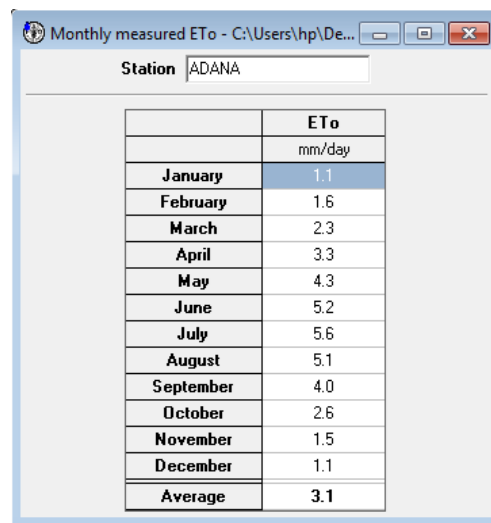
azalmaktadır. Yaz aylarında (haziran, temmuz ve ağustos) özellikle Güneydoğu Anadolu bölgesinde en yüksek değerlere sahipken Karadeniz bölgesinde en düşük değerlere sahiptir. Sonbahar aylarında (eylül, ekim ve kasım) ise Güneydoğu Anadolu bölgesinin güneyinde, Akdeniz ve Ege kıyı bölgelerinde yüksek  $ET_0$  değerleri azken iç kesimlerde ve kuzeyde düşük  $ET_0$  değerleri fazladır. Yüksek  $ET_0$  değerleri yaz aylarında fazlayken kış aylarında düşük  $ET_0$  değerleri fazladır. Şekil 5.1’de aylık toplam  $ET_0$  haritası incelendiğinde Türkiye’de yüksek  $ET_0$  değerleri Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde daha yoğunken iç kesimlerde ve Karadeniz bölgesinde düşük  $ET_0$  değerleri daha yoğundur.

## 5.2. Örnek Bir Çalışma: Adana İlinde Buğdayın Bitkisel Su Ayak İzinin Hesaplanması

Bu bölümde örnek bir çalışma olarak buğday ürünü ele alınmıştır. Buğday ürününün Adana ili için bitkisel su ayak izi (mavi, yeşil ve toplam su ayak izi) hesabı adım adım anlatılmıştır. Alansal  $ET_0$  il bazında aylık değerler olup tüm ürünler için ortak alınmıştır.  $P_{eff}$  aylık alansal yağış değerlerine bağlı olduğu için sadece iller bazında aylık olarak değişmiştir.  $ET_C$  değerleri ise her ürün ve il için değişmiştir.

### 5.2.1. Efektif yağış ve evapotranspirasyon

Buğday ürününün Adana ili için CROPWAT yazılımı ile evapotranspirasyonu ve efektif yağışı hesaplama adımları Şekil 5.5’te, Şekil 5.6’da, Şekil 5.7’de, Şekil 5.8’de verilmiştir.



Station   ADANA	
	ET <sub>0</sub>
	mm/day
January	1.1
February	1.6
March	2.3
April	3.3
May	4.3
June	5.2
July	5.6
August	5.1
September	4.0
October	2.6
November	1.5
December	1.1
Average	3.1

Şekil 5.5. Adana ili için CROPWAT programında  $ET_0$  tanımlanması

Şekil 5.5'te ArcGIS yazılımında hesaplanan alansal  $ET_0$  değerleri Adana ili için tanımlanmıştır. Bu değerler mm/gün olarak hesaba alınmıştır. Şekil 5.6'da MGM'den alınan aylık alansal yağış değerleri Adana ili için CROPWAT programına girilerek etkili yağış ( $P_{eff}$ ) hesaplanmıştır. Tablo 5.2'de Adana ili için buğday ürününün TAGEM'den alınan bitki katsayıları ve gelişim dönemi uzunlukları verilmiştir.

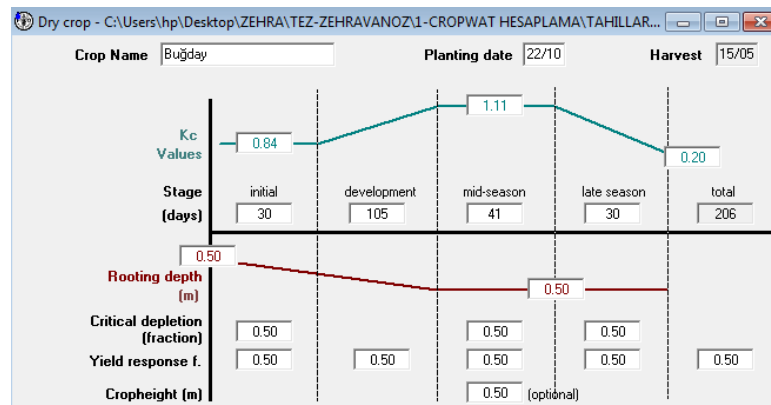
	Rain	Eff rain
	mm	mm
January	110.8	91.2
February	75.3	66.2
March	74.5	65.6
April	52.3	47.9
May	58.2	52.8
June	30.4	28.9
July	11.6	11.4
August	7.3	7.2
September	24.6	23.6
October	45.7	42.4
November	59.0	53.4
December	118.7	96.2
<b>Total</b>	<b>668.4</b>	<b>586.8</b>

Şekil 5.6. Adana ili için CROPWAT programında alansal yağışların tanımlanması

Tablo 5.2. Adana ili buğday bitki katsayısı ve dönem uzunlukları

Bitki Türü	I. Dönem Uzunluğu	II. Dönem Uzunluğu	III. Dönem uzunluğu	IV. Dönem uzunluğu	$K_C$ bas	$K_C$ orta	$K_C$ son
Buğday	30	105	41	30	0,84	1,11	0,2

Şekil 5.7'de Tablo 5.2'ye ek olarak ekim ve hasat tarihleri de TAGEM alınarak CROPWAT programına girilmiştir. Toprak faktörleri  $ET_C$  değerlerini etkilemediği için toprak faktörlerinin değerleri 0,5 kabul edilmiştir.



Şekil 5.7. Adana ili için buğday ürünün  $K_C$ , gelişim dönemleri ve ekim tarihi

Şekil 5.8’de Adana ili için buğday ürününün 10’ar günlük  $ET_C$  ve  $P_{eff}$  değerleri verilmiştir. Elde edilen değerler aylık sonuçlar halinde Tablo 5.3’te verilmiştir.

Month	Decade	Stage	Kc	ETc	Etc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Oct	3	Init	0.84	1.89	18.9	14.2	3.3
Nov	1	Init	0.84	1.58	15.8	15.6	0.2
Nov	2	Init	0.84	1.28	12.8	16.4	0.0
Nov	3	Deve	0.86	1.17	11.7	21.6	0.0
Dec	1	Deve	0.89	1.08	10.8	28.8	0.0
Dec	2	Deve	0.92	0.97	9.7	34.3	0.0
Dec	3	Deve	0.95	1.04	11.4	33.0	0.0
Jan	1	Deve	0.99	1.10	11.0	31.5	0.0
Jan	2	Deve	1.02	1.17	11.7	31.3	0.0
Jan	3	Deve	1.05	1.35	14.9	28.2	0.0
Feb	1	Deve	1.08	1.55	15.5	24.1	0.0
Feb	2	Deve	1.11	1.75	17.5	21.0	0.0
Feb	3	Deve	1.14	2.07	16.6	21.3	0.0
Mar	1	Mid	1.17	2.40	24.0	22.4	1.5
Mar	2	Mid	1.17	2.69	26.9	22.6	4.3
Mar	3	Mid	1.17	3.08	30.8	20.4	13.4
Apr	1	Mid	1.17	3.47	34.7	17.2	17.4
Apr	2	Late	1.12	3.70	37.0	14.9	22.0
Apr	3	Late	0.83	3.01	30.1	15.8	14.3
May	1	Late	0.51	2.00	20.0	18.0	2.1
May	2	Late	0.26	1.13	5.7	9.5	0.0
					<b>390.4</b>	<b>462.1</b>	<b>78.6</b>

Şekil 5.8. Adana ili için buğday ürününün  $ET_C$  ve  $P_{eff}$  değerleri

Tablo 5.3. Adana ili için buğday ürününün  $ET_0$ ,  $ET_C$ , ve yağış ortalamaları

Aylar	$ET_0$ (mm/gün)	$ET_C$ (mm)	Alansal Yağış Ort. (mm)	$P_{eff}$ (mm)
Ocak	1,15	37,6	110,90	91,2
Şubat	1,56	49,7	75,29	66,2
Mart	2,32	85,5	74,45	65,6
Nisan	3,3	101,8	52,27	47,9
Mayıs	4,28	25,7	58,17	52,8
Haziran	5,2	0	30,44	28,9
Temmuz	5,55	0	11,59	11,4
Ağustos	5,09	0	7,32	7,2
Eylül	3,97	0	24,63	23,6
Ekim	2,62	18,9	45,69	42,4
Kasım	1,5	40,3	59,03	53,4
Aralık	1,05	31,9	118,71	96,2
Toplam	37,67	391,4	668,49	586,8

### 5.2.2. Mavi, yeşil ve toplam su muhtevaları ve su ayak izleri

Su ayak izi yönteminde verilen (4,4), (4,5), (4,6), (4,7), (4,8), (4,9), (4,10), (4,11), (4,12), (4,13) denklemleri kullanılarak Adana ilinde buğday ürünü için elde edilen sonuçlar Tablo 5.4’te verilmiştir. Bu işlemler 2008-2018 yılları arası Türkiye’de

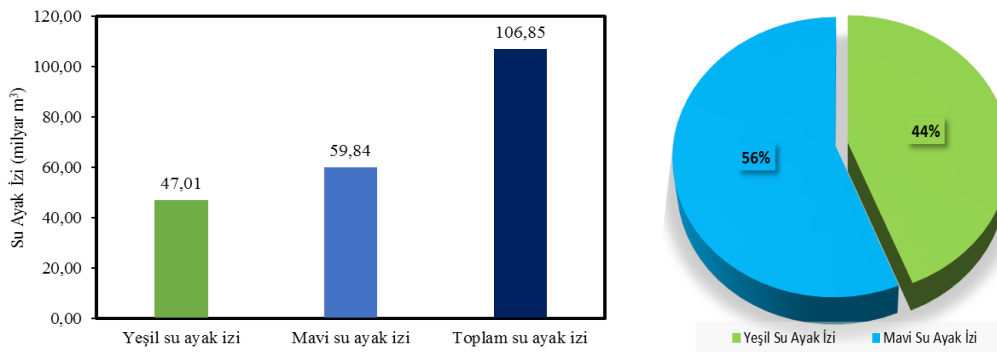
üretilen 97 bitkisel ürüne il bazında uygulanarak ulusal üretimin bitkisel su ayak izi hesaplanmıştır.

**Tablo 5.4.** Adana ili için buğday ürünün su ayak izi sonuçları

Aylar	$ET_{yeşil}$ (mm)	$ET_{mavi}$ (mm)	$BST_{yeşil}$ (m <sup>3</sup> /ha)	$BST_{mavi}$ (m <sup>3</sup> /ha)	$SSM_{yeşil}$ (m <sup>3</sup> /ton)	$SSM_{mavi}$ (m <sup>3</sup> /ton)	$SA_{yeşil}$ (Mm <sup>3</sup> )	$SA_{mavi}$ (Mm <sup>3</sup> )	$SA_{toplam}$ (Mm <sup>3</sup> )
Ocak	37,6	0	376	0	103,05	0			
Şubat	49,7	0	497	0	136,2	0			
Mart	75,9	9,6	759	96	208,03	26,31			
Nisan	51	50,8	510	508	139,78	139,20			
Mayıs	25,7	0	257	0	70,43	0			
Haziran	0	0	0	0	0	0			
Temmuz	0	0	0	0	0	0	629	145	773*
Ağustos	0	0	0	0	0	0			
Eylül	0	0	0	0	0	0			
Ekim	18,9	0	189	0	51,8	0			
Kasım	40,3	0	403	0	110,45	0			
Aralık	31,9	0	319	0	87,43	0			
Toplam	331	60,4	3310	604	907,2	165,54			

### 5.3. Tarımsal Ürünlerin Ulusal Su Ayak İzi

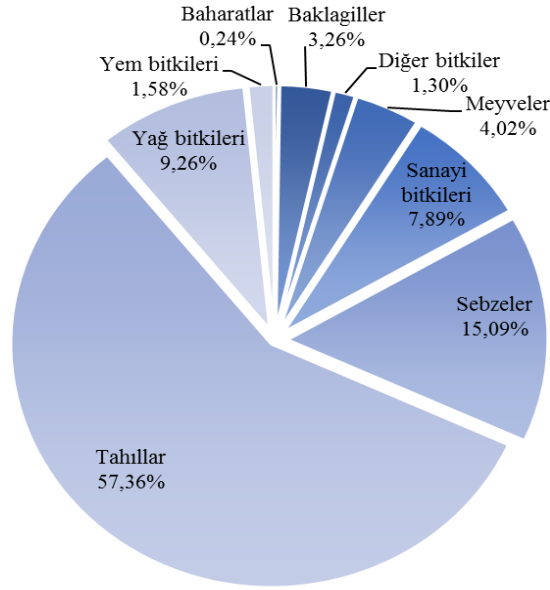
Çalışma kapsamında Türkiye’de üretilen 97 ürünün 2008-2018 yılları (11 yıllık ortalama) arasındaki toplam bitkisel su ayak izi ortalaması 106,85 milyar m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.9’da gösterildiği gibi toplam bitkisel su ayak izi miktarının büyük bir kısmını oluşturan mavi su ayak izi miktarı 59,84 milyar m<sup>3</sup> ve daha az bir kısmını oluşturan yeşil su ayak izi miktarı 47,01 milyar m<sup>3</sup> olarak tahmin edilmiştir. Bu bağlamda tarımda kullanılan mavi su oranı %56 iken yeşil su oranı da %44’e denk gelmektedir (Şekil 5.9).



**Şekil 5.9.** Ürünlerin yeşil, mavi ve toplam su ayak izi miktarları ve oranları

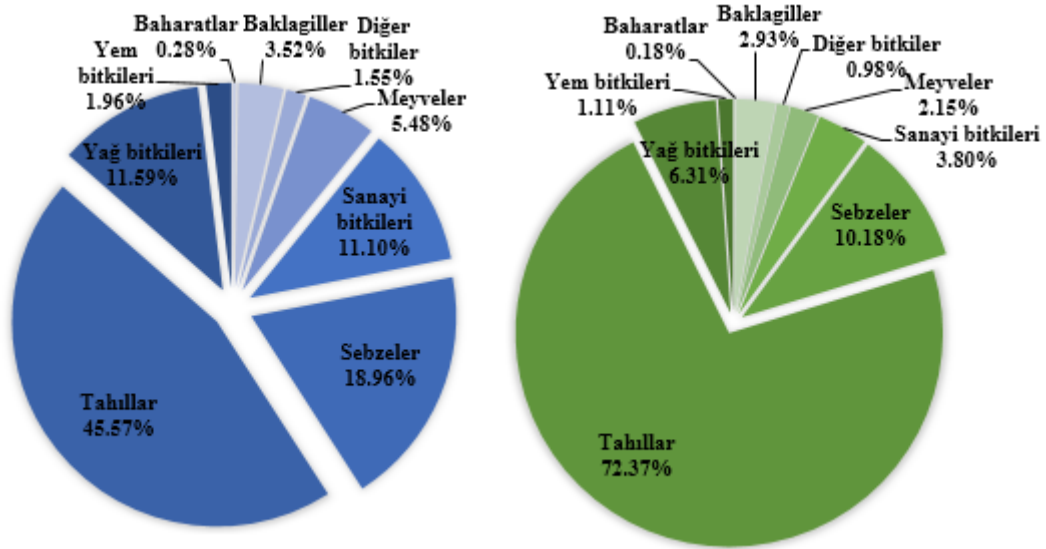
\* Adana ili için buğday ürününün yıllık su ayak izi miktarları

Türkiye’de üretilen bitkisel ürün gruplarının toplam su ayak izi incelendiğinde (Şekil 5.10) %57,36 oranında tahıl grubunun en büyük paya sahip olduğu ve %0,24 oranında baharat grubunun en düşük paya sahip olduğu saptanmıştır. Tahıl grubunu %15,09 oranı ile sebze grubu, %9,26 oranı ile yağ bitkileri grubu %7,89 oranı ile sanayi bitkileri grubu, %4,02 oranı ile meyve grubu, %3,26 oranı ile baklagiller grubu, %1,58 oranı ile yem bitkileri grubu ve %1,30 oranı ile diğer bitkiler grubu takip etmiştir.



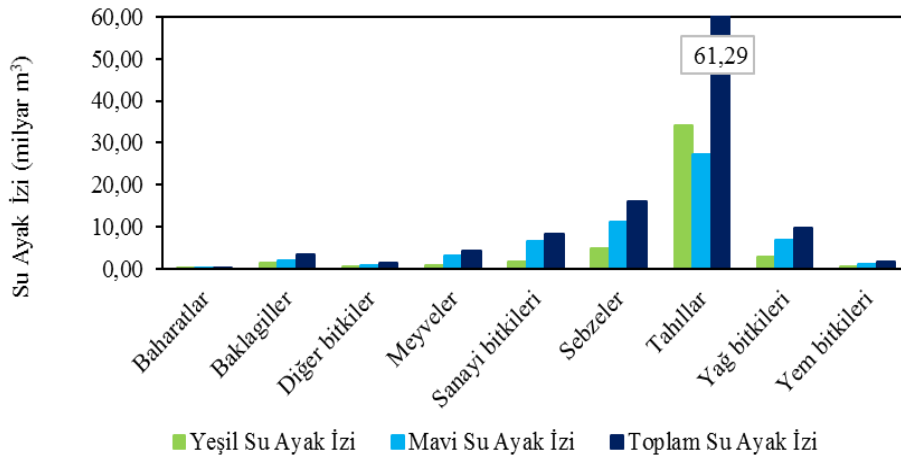
Şekil 5.10. Bitkisel ürün gruplarının toplam su ayak izi yüzdeleri

Şekil 5.11’de gösterildiği gibi bitkisel ürün gruplarından mavi ve yeşil su ayak izi oranı en yüksek tahıl grubuyken en düşük baharat grubu olduğu saptanmıştır. Tahıl grubunu sırasıyla sebze grubu, yağ bitkileri grubu, sanayi bitkileri grubu, meyve grubu, baklagiller grubu, yem bitkileri grubu, diğer bitkiler grubu ve baharat grubu takip etmiştir.



Şekil 5.11. Bitkisel ürün gruplarının mavi ve yeşil su ayak izi yüzdeleri

Şekil 5.12 incelendiğinde en büyük paya sahip olan tahıl grubunun yeşil ve mavi su ayak izi miktarlarının da en yüksek olduğu ve en az paya sahip olan baharat grubunun yeşil ve mavi su ayak izi miktarlarının da en düşük olduğu ortaya konulmuştur. Tahıl grubunun yeşil su ayak izinin mavi su ayak izinden yüksek olması, bu grubun su ihtiyacını temelde yağıştan karşıladığını göstermektedir. Bu bağlamda tahıl grubunun üretimi iklim özelliklerinden aşırı derecede etkilenmektedir. Tahıl grubu dışındaki gruplarda (baharat, baklagil, diğer bitkiler, meyve, sanayi bitkileri, sebze, yağ bitkileri ve yem bitkileri grupları) mavi su ayak izinin yeşil su ayak izinden yüksek olması, bu grupların su ihtiyacını yeraltı ve yüzey sularında karşıladığını göstermektedir.



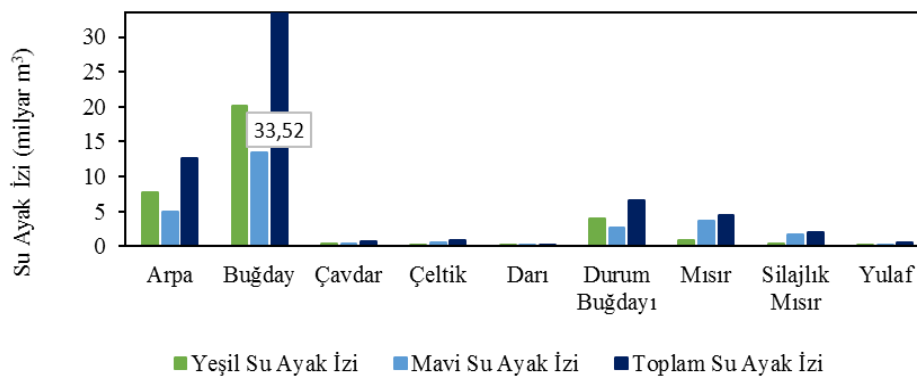
Şekil 5.12. Bitkisel ürün gruplarının mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri

### 5.3.1. Tahıl grubu

Türkiye’de en fazla üretim miktarına (5,11 milyon ton) ve ekilen alana (12 milyon ha) sahip olan tahıl grubu arpa, buğday, çavdar, çeltik, darı, durum buğdayı, mısır, silajlık mısır ve yulaf ürünlerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara (Şekil 5.13 ve Tablo 5.5) göre buğday ürününün yeşil, mavi ve toplam su ayak izi miktarları en yüksek değere sahipken darı ürününün yeşil, mavi ve toplam su ayak izi miktarı en düşük değere sahiptir. Buğday, arpa, çavdar, durum buğdayı ve yulaf ürünlerinin yeşil su ayak izinin mavi su ayak izinden fazla olması bu ürünlerin iklim koşullarına hassasiyetini ortaya koymaktadır. Çeltik, darı, mısır ve silajlık mısır ürünlerinin mavi su ayak izinin yeşil su ayak izinden fazla olması mavi su kaybına neden olduğunu göstermektedir.

**Tablo 5.5.** Tahıl grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları

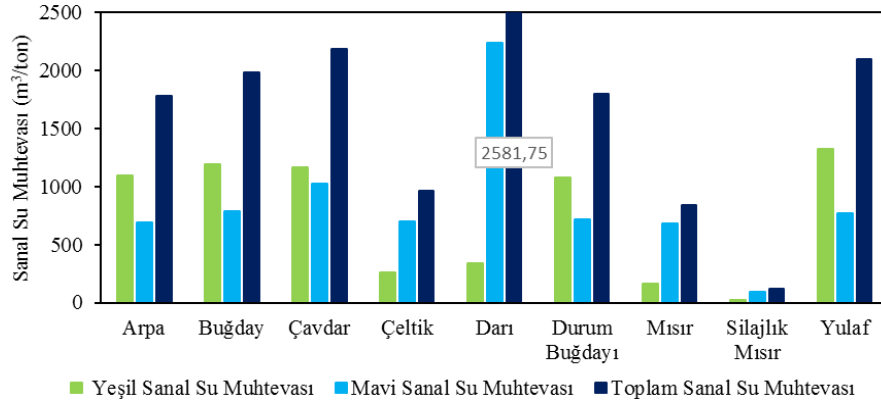
Ürünler	Yeşil Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )	Mavi Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )	Toplam Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )
Arpa	7,76	4,9	12,66
Buğday	20,1	13,37	33,52
Çavdar	0,38	0,34	0,72
Çeltik	0,23	0,61	0,84
Darı	0,002	0,014	0,016
Durum Buğdayı	3,95	2,64	6,59
Mısır	0,85	3,59	4,44
Silajlık Mısır	0,41	1,62	2,03
Yulaf	0,3	0,18	4,75



**Şekil 5.13.** Tahıl ürünlerinin yeşil, mavi ve toplam su ayak izleri

Tahıl ürünlerinin sanal su muhtevaları Şekil 5.14’te verilmiştir. Buna göre tahıl grubunda en düşük yeşil, mavi ve toplam su ayak izine sahip olan darı ürünü en yüksek sanal su muhtevasına sahiptir. Bu çalışmanın temel sonuçlarına göre sanal su

muhtevasının verimle ters orantılı olarak değiştiği söylenbilir. Tahıl grubunda en yüksek verime sahip olan silajlık mısır ürünü en düşük sanal su muhtevasına, en düşük verime sahip olan darı ürünü de en yüksek sanal su muhtevasına sahiptir.



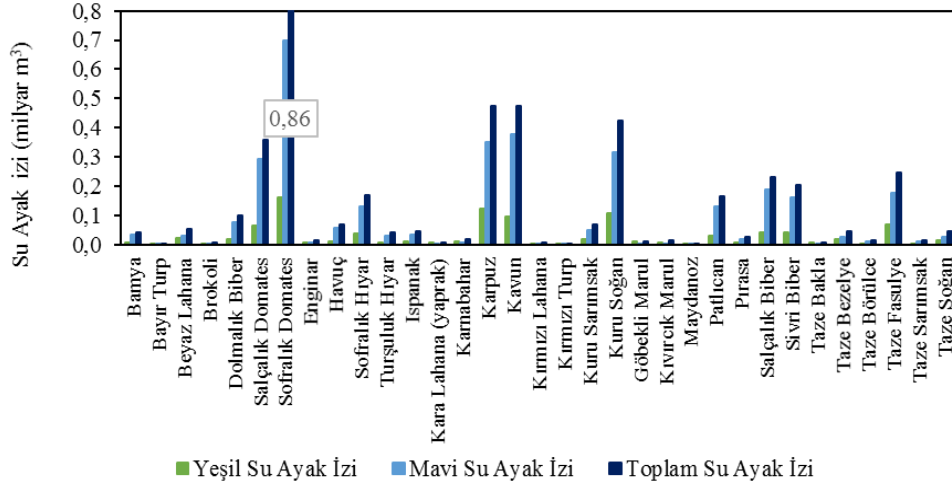
şekil 5.14. Tahıl rnlerinin mavi, yeşil ve toplam su ayak izi oranları

Mevcut çalışmada tahıl grubu ürünleri il bazında incelendiğinde, buğday ve durum buğdayı ürünlerinin toplam su ayak izi miktarı en fazla (2,79 milyar m<sup>3</sup> buğday, 1,13 milyar m<sup>3</sup> durum buğdayı) Konya ilinde olduğu tespit edilmiştir. Yine, arpa ürününün en yüksek toplam su ayak izi miktarı 1,41 milyar m<sup>3</sup> ile Konya'da olduğu tespit edilmiştir. Benzer bir şekilde avdar, eltik, darı, yulaf ve mısır ürünlerinin su ayak izinin en yüksek olduğu iller sırasıyla Niğe, Edirne, Diyarbakır, Ankara ve şanlıfa illerinde olduğu tahmin edilmiştir.

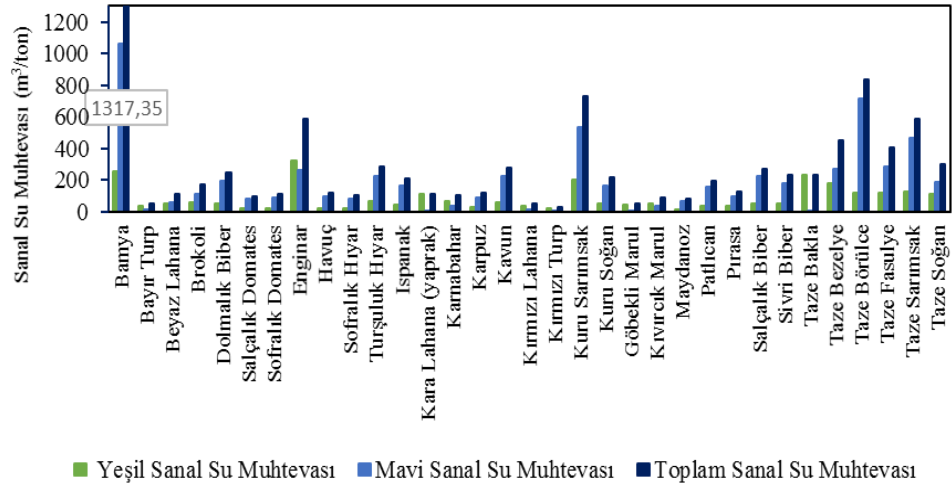
### 5.3.2. Sebze grubu

Bu çalışmada hesaplanan Türkiye'de üretim alanı 27,7 milyon ton ve ekilen alanı 0,77 milyon ha olan sebze grubu: bamyaya, bayır turp, beyaz lahana, brokoli, dolmalık biber, salçalık domates, sofralık domates, enginar, havuç, sofralık hıyar, turşuluk hıyar, ıspanak, kara lahana (yaprak), karnabahar, karpuz, kavun, kırmızı lahana, kırmızı turp, kuru sarımsak, kuru soğan, göbekli marul, kıvırcık marul, maydanoz, patlıcan, pırasa, salçalık biber, sivri biber, taze bakla, taze bezelye, taze brlce, taze fasulye, taze sarımsak ve taze soğan ürünleridir. şekil 5.15'te ve Tablo 5.6'da gösterildiği gibi sebze grubunda yeşil, mavi ve toplam su ayak izi en yüksek sofralık domates ürünü iken yeşil, mavi ve toplam su ayak izi en düşük bayır turp ürünüdür. Bayır turp, enginar, kara lahana (yaprak), karnabahar, kırmızı lahana, kırmızı turp, göbekli marul, kıvırcık marul ve taze bakla ürünlerinin yeşil su ayak izleri mavi su

ayak izlerinden fazladır. Şekil 5.16'da sebze grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları verilmiştir. Bu grupta verimi en düşük olan banya ürününün sanal su muhtevası en yüksek, verimi en yüksek olan salçalık domates ürününün sanal su muhtevası en düşüktür.



Şekil 5.15. Sebze ürünlerinin yeşil, mavi ve toplam su ayak izleri



Şekil 5.16. Sebze ürünlerinin yeşil, mavi ve toplam sanal su muhtevası

Ülkemizde 2008-2018 yılları arasında toplam 11,6 milyon tonla sebze grubunda en fazla üretim miktarına sahip olan salçalık ve sofralık domates ürünlerinin toplam su ayak izi sırasıyla Bursa (73 milyon m<sup>3</sup>) ve Antalya (131 milyon m<sup>3</sup>) ilinde saptanmıştır. 3,96 milyon ton ile en yüksek ikinci üretim miktarına sahip olan karpuz ürünü Adana (41 milyon m<sup>3</sup>) ilinde toplam su ayak izi en yüksek hesaplanmıştır. Sebze grubunda üretim miktarı 2,13 milyon ton olan biber ürünlerinin en yüksek toplam su ayak izleri

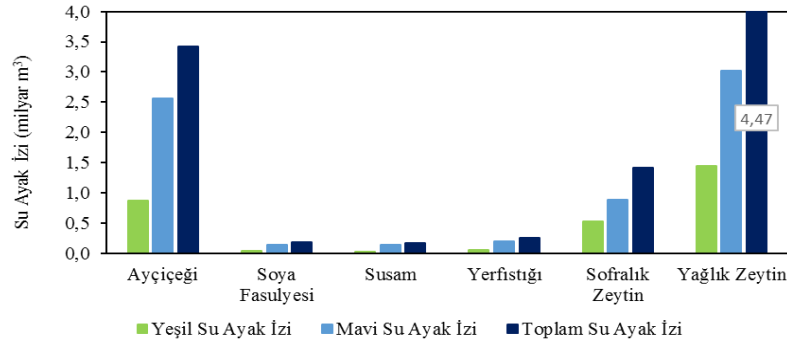
incelendiğinde dolmalık biberin Samsun (8,94 milyon m<sup>3</sup>)’da, salçalık biberin Çanakkale (34,5 milyon m<sup>3</sup>)’de ve sivri biberin ise Mersin (25,2 milyon m<sup>3</sup>)’de tespit edilmiştir. Üretim miktarı açısından önemli olan diğer bir ürün soğan (2 milyon ton)’dır. Kuru soğan ve taze soğan ürünlerinin en yüksek toplam su ayak izi sırasıyla Ankara (60,8 milyon m<sup>3</sup>) ve Karaman (2,91 milyon m<sup>3</sup>)’da tahmin edilmiştir. Üretimi 1,72 olan kavun ürününün toplam su ayak izi en fazla 90,5 milyon m<sup>3</sup> ile Ankara ilinde belirlenmiştir. 1,5 milyon tonun üzerinde üretime sahip olan diğer bir ürün hıyar ürünleridir. Hıyar ürünlerinden sofralık hıyar 19,9 milyon m<sup>3</sup> ile Antalya ilinde en yüksek toplam su ayak izine sahipken turşuluk hıyar ise 11,4 milyon m<sup>3</sup> ile İzmir ilinde en yüksek toplam su ayak izine sahip olduğu saptanmıştır. 50 bin ha ekilen alanı ile sebze grubunda önemli bir alana sahip olan taze fasulye ürünü 31,7 milyon m<sup>3</sup> ile Samsun’da en yüksek toplam su ayak izine sahip olarak belirlenmiştir. 150 milyon m<sup>3</sup>’ün üzerinde toplam su ayak izine sahip olan başka önemli bir ürün ise patlıcan (14,4 milyon m<sup>3</sup> ile Hatay’da en yüksek su ayak izine sahip)’dır. Toplam 0,7 milyon ton üretim miktarına sahip lahana ürünlerinden beyaz lahana 9,04 milyon m<sup>3</sup> ile, kara lahana (yaprak) 2,25 milyon m<sup>3</sup> ile ve kırmızı lahana 2,78 milyon m<sup>3</sup> ile Samsun ilinde en yüksek toplam su ayak izine sahip olarak bulunmuştur. Üretimi toplam 0,38 milyon ton olan marul ürünlerinden göbekli marul 1,85 milyon m<sup>3</sup> ile Hatay’da en yüksek toplam su ayak izine sahipken kıvrıcık marul ise 2 milyon m<sup>3</sup> ile Mersin’de en yüksek toplam su ayak izine sahip olarak tahmin edilmiştir. 0,18 milyon ton ile toplam üretim miktarına sahip olan turp ürünlerinden bayır turp 93800 m<sup>3</sup> ile Karaman’da, kırmızı turp 2,94 milyon m<sup>3</sup> ile Osmaniye’de en yüksek toplam su ayak izine sahip olarak saptanmıştır. Üretimi toplam 0,12 milyon ton olan sarımsak ürünlerinden kuru sarımsak 12,2 milyon m<sup>3</sup> ile Kastamonu’da, taze sarımsak ise 1,47 milyon m<sup>3</sup> ile Gaziantep’te en yüksek toplam su ayak izine sahip olarak bulunmuştur. 0,1 milyon tonun üzerinde üretimi olan ıspanak, pırasa, karnabahar ve taze bezelye ürünlerinin su ayak izinin en yüksek olduğu iller sırasıyla İzmir (6,59 milyon m<sup>3</sup>), Mersin (4,14 milyon m<sup>3</sup>), Bursa (2,89 milyon m<sup>3</sup>) ve Bursa (11,8 milyon m<sup>3</sup>) olarak tahmin edilmiştir. Bu ürünler dışında brokoli, enginar, havuç, maydanoz, taze bakla ve taze börülce ürünlerinin su ayak izinin en yüksek olduğu iller sırasıyla İzmir, Bursa, Konya, Hatay, Mersin ve Muğla illerinde olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 5.6.** Sebze grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları

Ürünler	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m <sup>3</sup> )	Mavi Su Ayak İzi (milyon m <sup>3</sup> )	Toplam Su Ayak İzi (milyon m <sup>3</sup> )
Bamya	8,7	35,7	44,41
Bayır Turp	0,64	0,29	0,93
Beyaz Lahana	24,61	30,62	55,23
Brokoli	2,42	4,6	7,01
Dolmalık Biber	20,89	78,25	99,14
Salçalık Domates	66,34	293,55	359,9
Sofralık Domates	163,93	699,07	863
Enginar	7,76	6,34	14,09
Havuç	13,3	58,18	71,48
Sofralık Hıyar	38,77	129,44	168,21
Turşuluk Hıyar	9,15	32,28	41,43
İspanak	9,96	36,02	45,98
Kara Lahana (yaprak)	8,58	0,14	8,72
Karnabahar	11,62	6,25	17,86
Karpuz	125,48	350,83	476,31
Kavun	94,73	379,92	474,66
Kırmızı Lahana	5,92	2,09	8,01
Kırmızı Turp	3,89	0,54	4,31
Kuru Sarımsak	18,52	49,34	67,86
Kuru Soğan	106,5	317,12	423,61
Göbekli Marul	10,1	1,65	11,75
Kıvırcık Marul	8,36	5,59	13,95
Maydanoz	1,02	4,06	5,08
Patlıcan	32,98	131,27	164,24
Pırasa	7,27	20,32	27,6
Salçalık Biber	43,66	188,8	232,46
Sivri Biber	44,46	161,4	205,86
Taze Bakla	9,24	0,01	9,25
Taze Bezelye	18,78	27,57	46,36
Taze Börülce	2,2	13,1	15,29
Taze Fasulye	70,82	176,75	247,57
Taze Sarımsak	3,06	11,5	14,55
Taze Soğan	17,34	28,55	45,89

### 5.3.3. Yağ bitkileri grubu

Bu çalışmada 3,27 milyon ton üretim miktarına ve 1,47 milyon ha ekilen alana sahip olan yağ bitkileri grubu ayçiçeği, soya fasulyesi, susam, yerfıstığı, sofralık ve yağlık zeytin ürünleri olarak değerlendirilmiştir. Şekil 5.17 ve Tablo 5.7 incelendiğinde yağ bitkileri grubundaki ürünlerden en yüksek yeşil, mavi ve toplam su ayak izine sahip olan ürün yağlık zeytin ürünüken en düşük yeşil, mavi ve toplam su ayak izine sahip olan ürün susamdır. Yağ bitkileri grubundaki bütün ürünlerin mavi su ayak izi yeşil su ayak izinden yüksektir. Bu bağlamda yağ bitkileri grubunun üretimi büyük ölçüde yeraltı ve yüzey sularına bağlıdır.

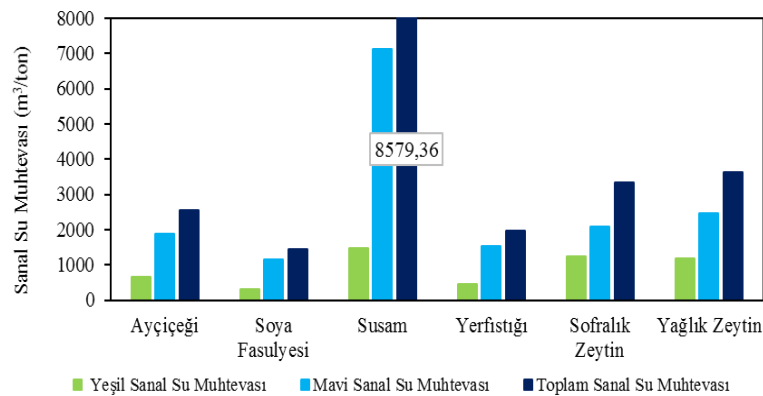


Şekil 5.17. Yağ bitkileri grubundaki ürünlerin su ayak izleri

Tablo 5.7. Yağ bitkileri grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları

Ürünler	Yeşil Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )	Mavi Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )	Toplam Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )
Ayçiçeği	0,87	2,56	3,43
Soya Fasulyesi	0,04	0,14	0,18
Susam	0,28	0,13	0,16
Yerfıstığı	0,06	0,19	0,25
Sofralık Zeytin	0,53	0,89	1,42
Yağlık Zeytin	1,45	3,02	4,47

Şekil 5.18’de yağ bitkileri grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları verilmiştir. En düşük verime sahip olan susam ürününün sanal su muhtevası en yüksekken en yüksek verime sahip olan soya fasulyesi ürününün sanal su muhtevası en düşüktür.



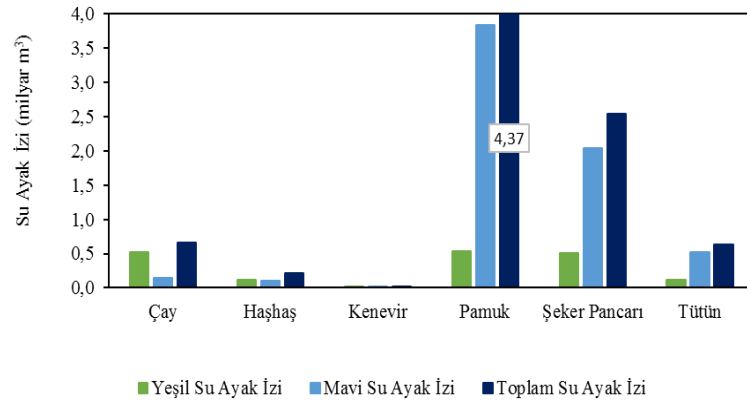
Şekil 5.18. Yağ bitkileri grubundaki ürünlerinin sanal su muhtevaları

Yağ bitkileri grubundaki 1,65 milyon ton ile en fazla üretimi olan zeytin ürünlerinden yağlık zeytin 0,90 milyar m<sup>3</sup> ile Aydın ilinde, sofralık zeytin ise 0,43 milyar m<sup>3</sup> ile Manisa ilinde en yüksek toplam su ayak izine sahip olduğu tespit edilmiştir. 1 milyon tonun üzerinde üretim miktarıyla önemli bir ürün olan ayçiçeğinin

toplam su ayak izi en yüksek 0,75 milyar m<sup>3</sup> ile Tekirdağ ilinde saptanmıştır. Üretim miktarı 1 milyon tonun altında olan soya fasulyesi ve yerfıstığı ürünlerinin en yüksek toplam su ayak izleri Adana ilinde, susam ürününün ise Manisa ilinde olduğu hesaplanmıştır.

#### 5.3.4. Sanayi bitkileri grubu

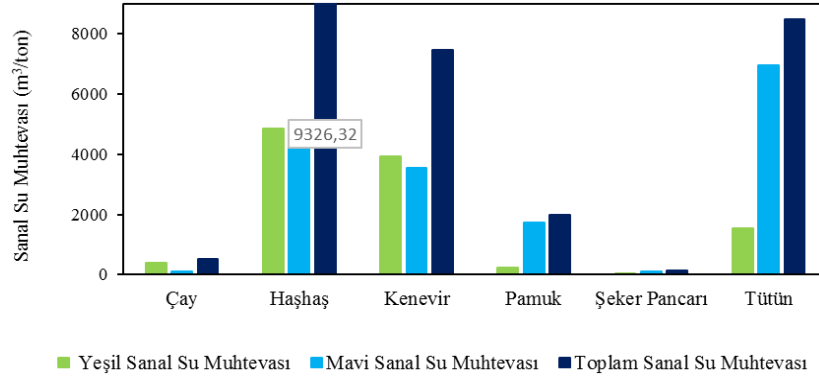
Çay, haşhaş, kenevir, pamuk, şeker pancarı ve tütün ürünlerinden oluşan sanayi bitkileri grubu Türkiye’de 20,8 milyon ton üretim miktarına ve 0,99 milyon ha ekilen alana sahiptir. Şekil 5.19 ve Tablo 5.8 değerlendirildiğinde sanayi bitkileri grubunda en yüksek yeşil, mavi ve toplam su ayak izi miktarına pamuk ürünü sahipken en düşük yeşil, mavi ve toplam su ayak izi miktarına kenevir ürünü sahiptir. Çay, haşhaş ve kenevir ürünlerinin yeşil su ayak izi miktarı mavi su ayak izi miktarından yüksektir. Pamuk, şeker pancarı ve tütün ürünlerinin mavi su ayak izi miktarı yeşil su ayak izi miktarından oldukça yüksektir. Şekil 5.20 değerlendirildiğinde sanayi bitkileri grubundaki ürünlerden sanal su muhtevası en yüksek ürün haşhaş iken en düşük ürün şeker pancarı ürünüdür.



Şekil 5.19. Sanayi bitkileri grubundaki ürünlerin su ayak izleri

Tablo 5.8. Sanayi bitkileri grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları

Ürünler	Yeşil Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )	Mavi Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )	Toplam Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )
Çay	0,52	0,15	0,66
Haşhaş	0,11	0,1	0,22
Kenevir	0,00002	0,00002	0,00004
Pamuk	0,54	3,83	4,37
Şeker Pancarı	0,5	2,04	2,54
Tütün	0,11	0,52	0,63



**Şekil 5.20.** Sanayi bitkileri grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları

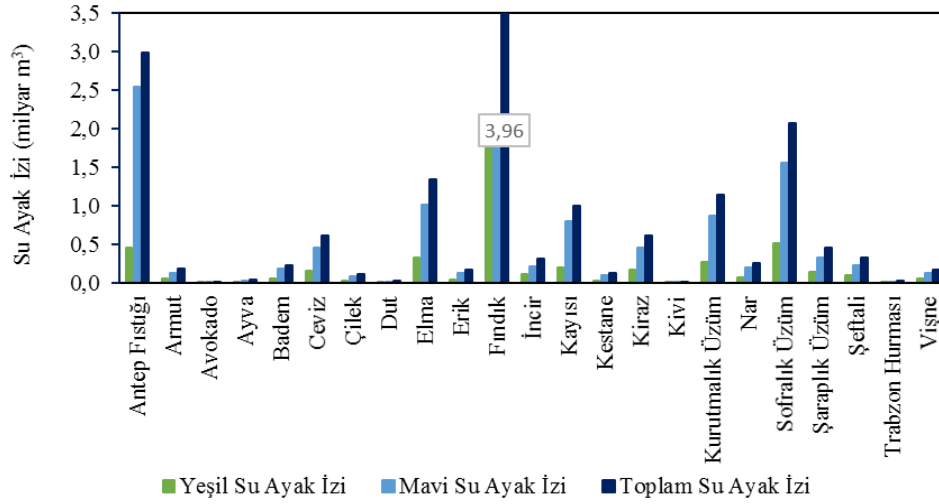
Bitkisel ürünlerde mavi su kullanımı açısından önemli olan pamuk ve şeker pancarı ürünlerinin toplam su ayak izleri en yüksek sırasıyla 2,02 milyar m<sup>3</sup> ile Şanlıurfa ve 0,67 milyar m<sup>3</sup> ile Konya ilinde olduğu belirlenmiştir. Dar ekim alanına sahip olan çay, haşhaş, kenevir ve tütün ürünlerinin en yüksek toplam su ayak izleri sırasıyla Rize, Afyon, Samsun ve Manisa illerinde tespit edilmiştir.

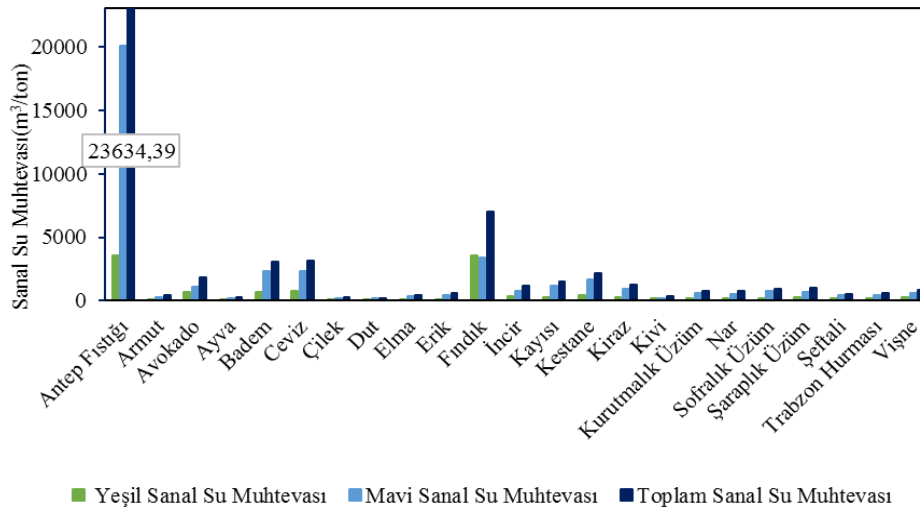
### 5.3.5. Meyve grubu

Türkiye’de 11,8 milyon ton üretim miktarına, 2,09 milyon ha ekilen alana sahip olan meyve grubu: Antep (Şam) fıstığı, armut, avokado, ayva, badem, ceviz, çilek, dut, elma, erik, fındık, incir, kayısı, kestane, kiraz, kivi, kurutmalık üzüm, nar, sofralık üzüm, şaraplık üzüm, şeftali, Trabzon hurması ve vişne ürünlerinden oluşmaktadır. Şekil 5.21’de gösterildiği gibi meyve grubundaki ürünlerden yeşil ve toplam su ayak izi miktarı en yüksek fındık ürünündeysen mavi su ayak izi en yüksek Antep (Şam) fıstığı ürünüdür. Mavi, yeşil ve toplam su ayak izi en düşük olan ürünse avokado ürünüdür. Bu grupta yeşil su ayak izi miktarı mavi su ayak izi miktarından yüksek olduğu ürünler kivi ve fındık ürünleridir. Diğer ürünlerin ise mavi su ayak izi miktarı yeşil su ayak izi miktarından daha yüksektir. Şekil 5.22 dikkatte alındığında en düşük verime sahip olan Antep (Şam) fıstığı ürününün sanal su muhtevası en yüksekken en yüksek verime sahip olan dut ürününün sanal su muhtevası en düşüktür.

**Tablo 5.9.** Meyve grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları

Ürünler	Yeşil Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )	Mavi Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )	Toplam Su Ayak İzi (milyar m <sup>3</sup> )
Antep Fıstığı	0,45	2,54	2,99
Armut	0,06	0,13	0,18
Avokado	0,0012	0,0019	0,003
Ayva	0,02	0,26	0,41
Badem	0,05	0,17	0,23
Ceviz	0,16	0,45	0,61
Çilek	0,03	0,07	0,1
Dut	0,003	0,01	0,02
Elma	0,33	1,01	1,35
Erik	0,04	0,12	0,17
Fındık	2,04	1,92	3,96
İncir	0,1	0,21	0,32
Kayısı	0,2	0,8	0,99
Kestane	0,03	0,1	0,13
Kiraz	0,16	0,45	0,61
Kivi	0,01	0,01	0,01
Kurutmalık Üzüm	0,27	0,87	1,14
Nar	0,06	0,19	0,25
Sofralık Üzüm	0,51	1,56	2,07
Şaraplık Üzüm	0,13	0,32	0,45
Şeftali	0,09	0,23	0,32
Trabzon Hurması	0,01	0,02	0,02
Vişne	0,05	0,12	0,16

**Şekil 5.21.** Meyve grubundaki ürünlerin su ayak izleri



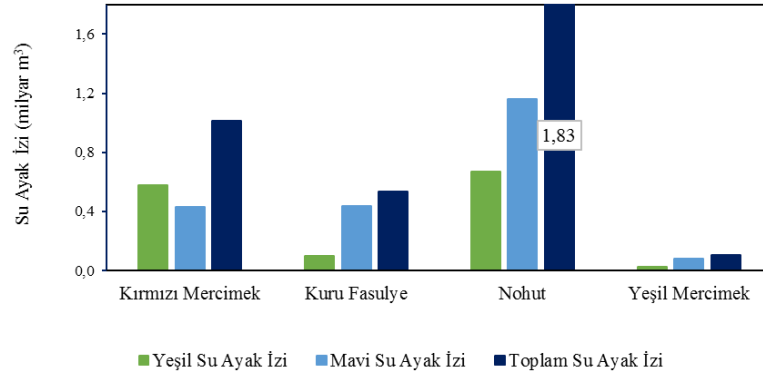
**Şekil 5.22.** Meyve grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları

Bu grupta 2,8 milyon ton ile en fazla üretilen elma ürününün toplam su ayak izi en yüksek 0,17 milyar m<sup>3</sup> ile Niğde ilinde olduğu bulunmuştur. Toplam üretim miktarı 4 milyon ton olan kurutmalık üzüm, sofralık üzüm ve şaraplık üzüm ürünleri sırasıyla Manisa, Denizli ve Kilis illerinde en yüksek toplam su ayak izine sahip olduğu belirlenmiştir. Toplam su ayak izi yaklaşık 4 milyar m<sup>3</sup> olan fındık ürününün en yüksek su ayak izi 1,29 milyar m<sup>3</sup> ile Ordu ilinde tahmin edilmiştir. Mevcut çalışmada en yüksek sanal su muhtevasına sahip olan antep fıstığı ürününün en yüksek toplam su ayak izi 1,20 milyar m<sup>3</sup> ile Gaziantep ilinde tespit edilmiştir. Üretimi 0,1 milyon tonun üzerinde olan kayısı, kiraz, ceviz, incir, çilek, nar, vişne ve ayva ürünlerinin en yüksek toplam su ayak izleri sırasıyla Malatya, İzmir, Denizli, Mersin, Antalya, Afyon ve Sakarya illerinde olduğu saptanmıştır. Toplam su ayak izi Bursa ilinde en fazla olan şeftali ve armut ürünler olarak tespit edilmiştir. Bu grupta nispeten üretim miktarı daha az olan badem, dut, kestane, kivi, trabzon hurması ve avokado ürünlerinin en yüksek su ayak izleri sırasıyla Şanlıurfa, Diyarbakır, Aydın, Yalova, Adana ve Antalya illerinde tahmin edilmiştir.

### 5.3.6. Baklagiller grubu

Türkiye’de 2008-2018 yılları arası (11 yıllık ortalama) 1,08 milyon ton üretim miktarına ve 0,78 milyon ha ekilen alana sahip olan baklagiller grubu kırmızı mercimek, yeşil mercimek, kuru fasulye ve nohut ürününden oluşmaktadır. Şekil 5.23’e göre baklagil grubundaki ürünlerden en yüksek mavi, yeşil ve toplam su ayak izi miktarına nohut ürünü sahipken en düşük mavi, yeşil ve toplam su ayak izi miktarına

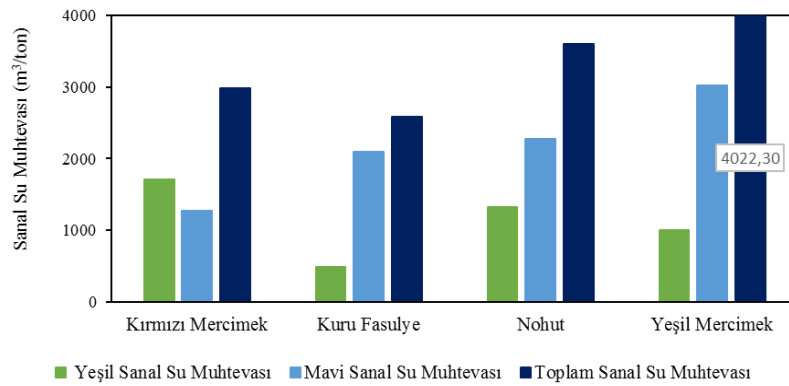
yeşil mercimek ürünü sahiptir. Kuru fasulye, nohut ve yeşil mercimek ürünlerinin mavi su ayak izi yeşil su ayak izinden fazlayken kırmızı mercimek ürününde ise yeşil su ayak izi mavi su ayak izinden daha fazladır. Şekil 5.24 incelendiğinde en düşük verime sahip olan yeşil mercimek ürününün sanal su muhtevası en yüksekken en yüksek verime sahip olan kuru fasulye ürününün sanal su muhtevası en düşüktür.



Şekil 5.23. Baklagil grubundaki ürünlerin su ayak izleri

Tablo 5.10. Baklagil grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları

Ürünler	Yeşil Su Ayak İzi (milyar m³)	Mavi Su Ayak İzi (milyar m³)	Toplam Su Ayak İzi (milyar m³)
Kırmızı Mercimek	0,58	0,43	1,01
Kuru Fasulye	0,1	0,44	0,54
Nohut	0,67	1,16	1,83
Yeşil Mercimek	0,03	0,08	0,11



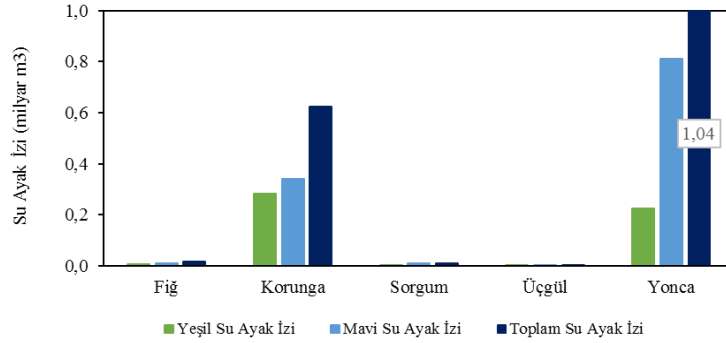
Şekil 5.24. Baklagil grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları

Baklagil grubunda en fazla üretilen nohut ürününün toplam su ayak izi en yüksek 0,163 milyar m³ ile Uşak ilinde, en az üretilen yeşil mercimek ürününün ise 18,9

milyon m<sup>3</sup> ile Yozgat ilinde belirlenmiştir. Kırmızı mercimek ve kuru fasulye ürünlerinin sırasıyla Şanlıurfa ve Konya illerinde en yüksek toplam su ayak izi hesaplanmıştır.

### 5.3.7. Yem bitkileri grubu

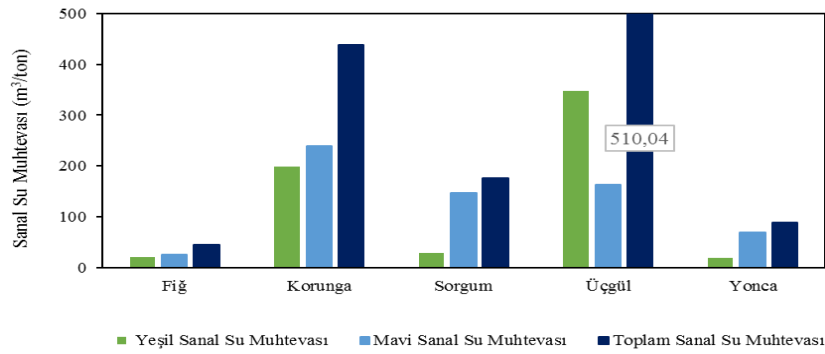
Türkiye’de 2008-2018 yılları arası ortalama 13,7 milyon ton üretim miktarına ve 0,81 milyon ha ekilen alana sahip olan yem bitkileri grubunda fiğ, korunga, sorgum, üçgül ve yonca bulunmaktadır. Şekil 5.25 ve Tablo 5.11 değerlendirildiğinde yem bitkileri grubundaki ürünlerden en yüksek mavi ve toplam su ayak izi miktarına sahip olan yonca ürünüyken en yüksek yeşil su ayak izi miktarına sahip olan korunga ürünüdür. En düşük mavi, yeşil ve toplam su ayak izi miktarına sahip ürünse üçgül ürünüdür. Şekil 5.26 değerlendirildiğinde yem bitkileri grubundaki ürünlerden en düşük verime sahip olan üçgül ürününün sanal su muhtevası en yüksekken en verime sahip olan fiğ ürününün sanal su muhtevası en düşüktür.



Şekil 5.25. Yem bitkileri grubundaki ürünlerin su ayak izleri

Tablo 5.11. Yem bitkileri grubu ürünlerindeki su ayak izi miktarları

Ürünler	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m <sup>3</sup> )	Mavi Su Ayak İzi (milyon m <sup>3</sup> )	Toplam Su Ayak İzi (milyon m <sup>3</sup> )
Fiğ	7,6	9,93	17,53
Korunga	284,05	341,01	625,06
Sorgum	1,77	9,15	10,91
Üçgül	1	0,47	1,46
Yonca	226,23	811,59	1037,83

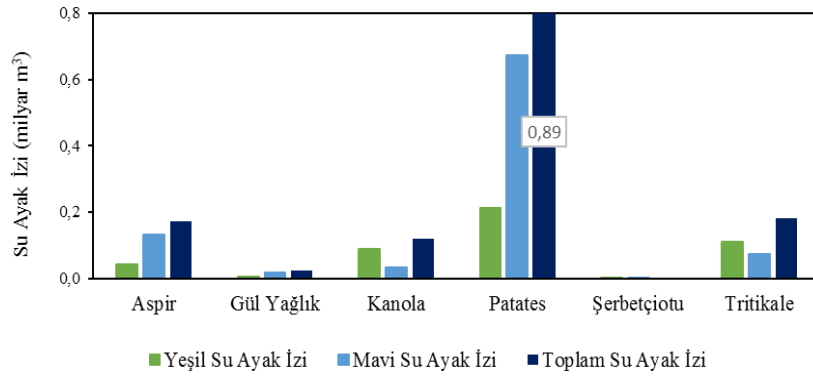


Şekil 5.26. Yem bitkileri grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları

Bu gruptaki üretim miktarı, mavi su ayak izi ve toplam su ayak izi en yüksek olan yonca ürününün toplam su ayak izi en yüksek 0,166 milyar m<sup>3</sup> ile Van ilinde tahmin edilmiştir. Üretimi yaklaşık 1,5 milyon ton olan korunga ürünü 0,115 milyar m<sup>3</sup> ile Sivas ilinde en yüksek toplam su ayak izi ölçülmüştür. Fiğ, sorgum ve üçgül ürünlerinin ise en yüksek su ayak izleri sırasıyla Tokat (5,04 milyon m<sup>3</sup>), Çanakkale (2,55 milyon m<sup>3</sup>) ve Hakkari (0,737 milyon m<sup>3</sup>) illerinde saptanmıştır.

### 5.3.8. Diğer bitkiler grubu

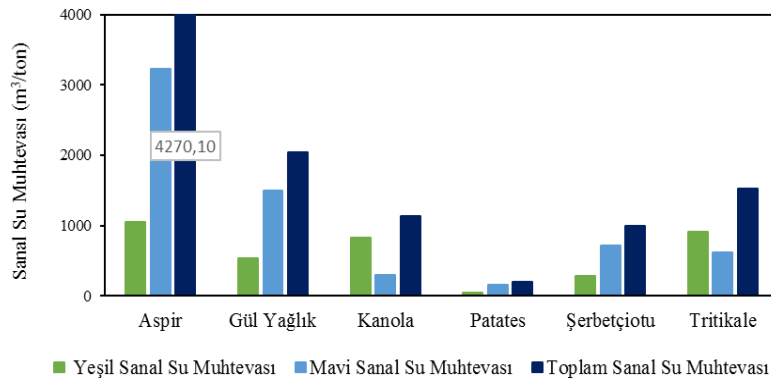
Türkiye’de 2008-2018 yılları ortalama 4,79 milyon ton üretim miktarına ve 0,24 milyon ha ekilen alana sahip olan diğer bitkiler grubunda aspir, gül (yağlık), kanola, patates, şerbetçiotu ve tritikale ürünleri bulunmaktadır. Şekil 5.27 incelendiğinde diğer bitkiler grubundaki ürünlerden en yüksek mavi, yeşil ve toplam su ayak izi miktarına sahip olan patates ürünüyken en düşük mavi, yeşil ve toplam su ayak izi miktarına sahip olan şerbetçiotu ürünüdür. Kanola ve tritikale ürünlerinin yeşil su ayak izi mavi su ayak izinden daha fazlayken aspir, gül, patates ve şerbetçiotu ürünlerinin mavi su ayak izi yeşil su ayak izinden daha fazladır. Şekil 5.28’e göre diğer bitkiler grubundaki ürünlerden en düşük verime sahip olan aspir ürününün sanal su muhtevası en yüksekken en yüksek verime sahip olan patates ürününün sanal su muhtevası en düşüktür.



Şekil 5.27. Diğer bitkiler grubundaki ürünlerin su ayak izleri

Tablo 5.12. Diğer bitkiler grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları

Ürünler	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m3)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m3)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m3)
Aspir	42,51	130,85	173,36
Gül Yağlık	6,24	17,52	237,54
Kanola	88,85	31,86	120,71
Patates	213,49	672,95	886,43
Şerbetçiotu	0,5	1,27	1,76
Triticale	109,08	73,73	182,81

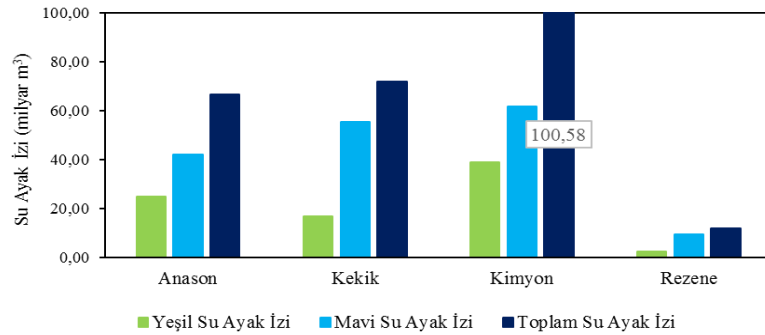


Şekil 5.28. Diğer bitkiler grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları

Mavi su kullanımı açısından önemli bir ürün olan patates ürününün 0,142 milyar m<sup>3</sup> ile Niğde ilinde en yüksek su ayak izi saptanmıştır. Aspir, gül, kanola ve tritikale ürünlerinin ise en yüksek olduğu illeri sırasıyla Ankara (57,7 milyon m<sup>3</sup>), Isparta (17,8 milyon m<sup>3</sup>), Tekirdağ (57,5 milyon m<sup>3</sup>) ve Çorum (23,9 milyon m<sup>3</sup>) illerinde belirlenmiştir. Sadece Bilecik ilinde üretilen şerbetçiotu ürününün toplam su ayak izi miktarı 1,76 milyon m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

### 5.3.9. Baharat grubu

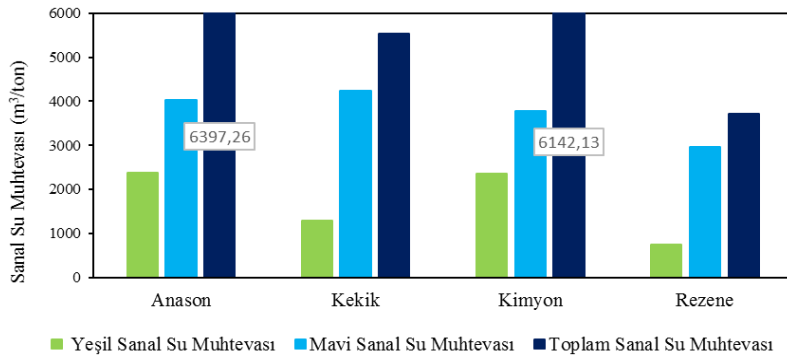
Türkiye’de en az üretim miktarına (43 bin ton) ve ekilen alana (52,3 bin ha) sahip olan baharat grubunda anason, kekik, kimyon ve rezene ürünleri bulunmaktadır. Baharat grubundaki ürünlerden mavi, yeşil ve toplam su ayak izi miktarı en yüksek olan kimyon ürünüyken en düşük olan rezene ürünüdür (Şekil 5.29 ve Tablo 5.13). Bu gruptaki ürünlerin mavi su ayak izi yeşil su ayak izinden oldukça fazladır. Şekil 5.30’da baharat grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları verilmiştir.



Şekil 5.29. Baharat grubundaki ürünlerin su ayak izleri

Tablo 5.13. Baharat grubu ürünlerinin su ayak izi miktarları

Ürünler	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m³)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m³)
Anason	24,68	42,04	66,72
Kekik	16,71	55,27	71,97
Kimyon	38,74	61,84	100,58
Rezene	2,4	9,49	11,9



Şekil 5.30. Baharat grubundaki ürünlerin sanal su muhtevaları

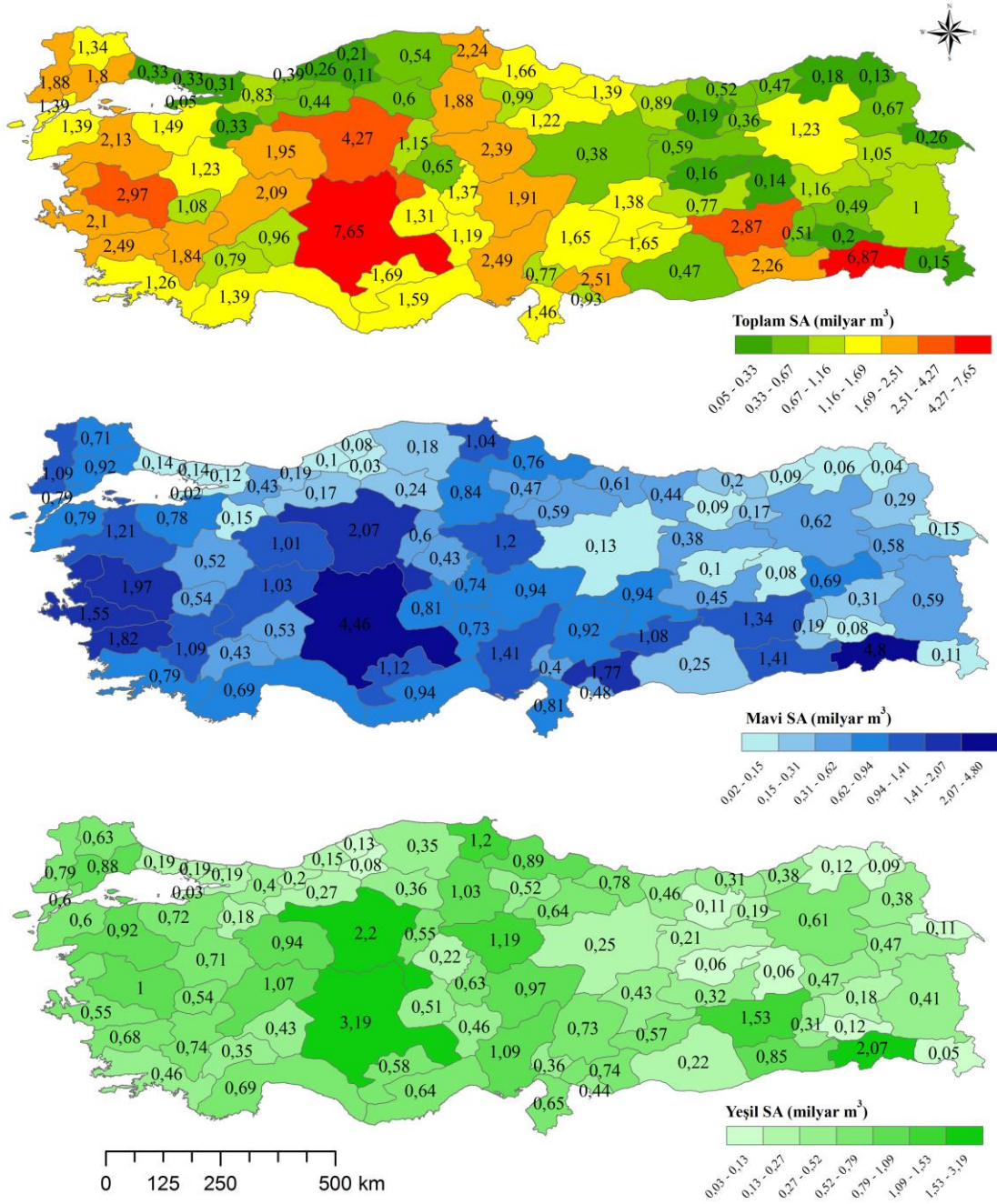
Sanal su muhtevaları yüksek ve üretim miktarları oldukça düşük olan anason, kekik, kimyon ve rezene ürünleri toplam su ayak izi en yüksek illeri sırasıyla 29 milyon

m<sup>3</sup> ile Burdur, 66 milyon m<sup>3</sup> ile Denizli, 51 milyon m<sup>3</sup> ile Ankara, 8 milyon m<sup>3</sup> ile Burdur illerinde hesaplanmıştır.

#### **5.4. Türkiye’de İl Bazında Su Ayak İzi ve Sanal Su Muhtevası**

Türkiye, 2008-2018 (11 yıllık ortalama) yılları arasında 134 milyon ton üretim miktarına ve 19,2 milyon ha ekilen alana sahiptir. Bu yıllar arasında Türkiye’de en fazla ortalama üretim miktarı 12 milyon ton ile Konya ilindedir. Konya ilini sırasıyla İzmir, Bursa, Manisa, Adana, Şanlıurfa ve Ankara illeri takip etmiştir. Bu yıllar arasında en fazla ekilen alana sahip olan ise yine Konya ilidir. Konya ilini sırasıyla Şanlıurfa, Ankara, Diyarbakır, Adana ve Manisa illeri takip etmiştir.

Şekil 5.31 incelendiğinde Türkiye’de hem üretim miktarı hem de ekilen alanı en fazla olan Konya ilinin toplam su ayak izi ve yeşil su ayak izi de en fazla olduğu görülmektedir. Toplam su ayak izi miktarında Konya ilini sırasıyla Şanlıurfa, Ankara, Manisa, Diyarbakır ve Gaziantep illeri takip etmiştir. Yeşil su ayak izi miktarında ise sırasıyla Ankara, Şanlıurfa, Diyarbakır ve Sivas takip etmiştir. Türkiye’de 2008-2018 yılları arasında üretim miktarında 6.sırada ve ekilen alanda 2.sırada olan Şanlıurfa ilinin ise mavi su ayak izi en fazla olduğu saptanmıştır. Şanlıurfa ilini sırasıyla Konya, Ankara, Manisa, Aydın, Gaziantep ve İzmir illeri takip etmiştir. Ekilen alan miktarı en az ve üretim miktarı en düşük dördüncü il olan Yalova ilinde toplam, mavi ve yeşil su ayak izleri de en düşük hesaplanmıştır.

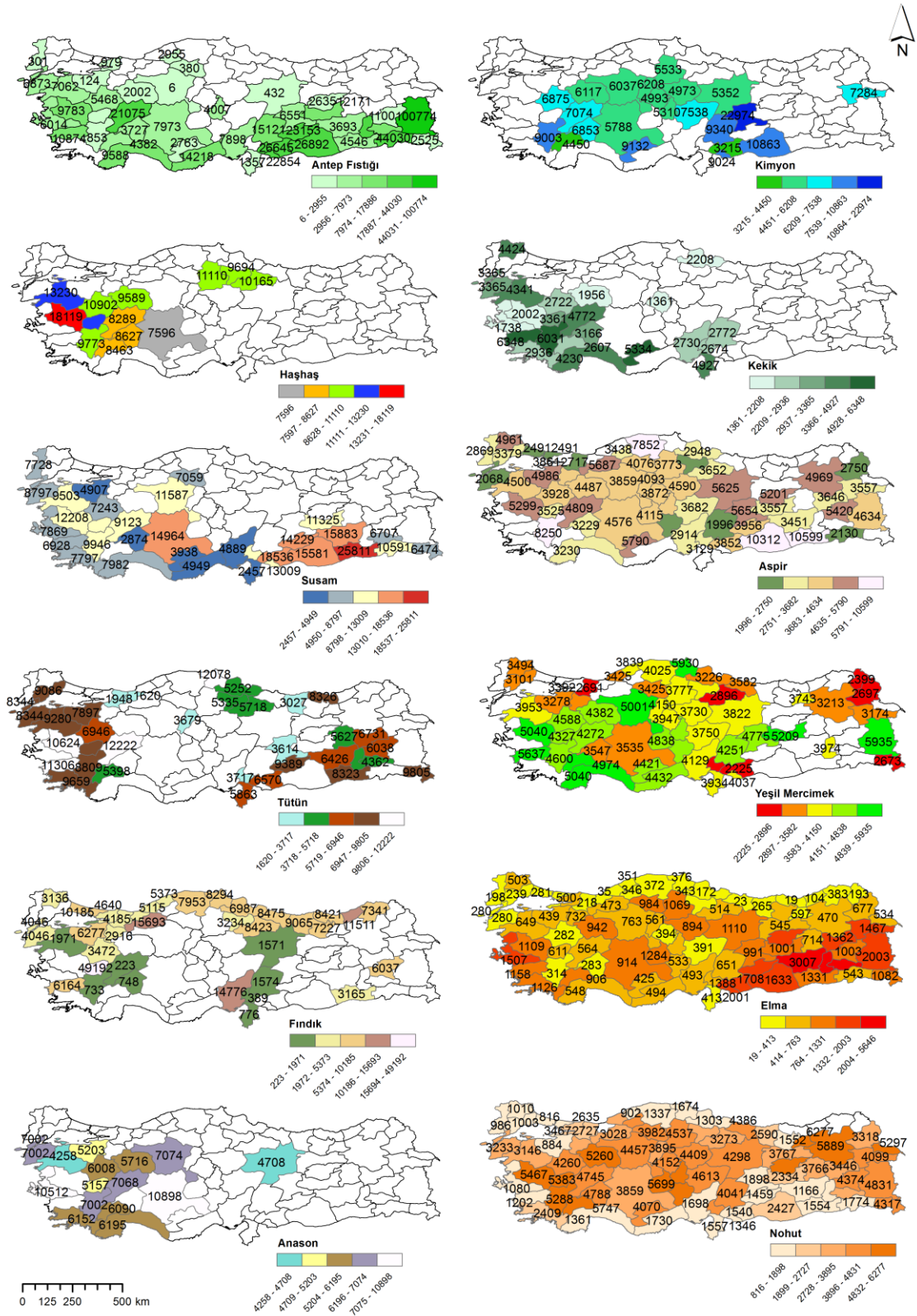


Şekil 5.31. Türkiye'nin il bazında toplam, mavi ve yeşil su ayak izi

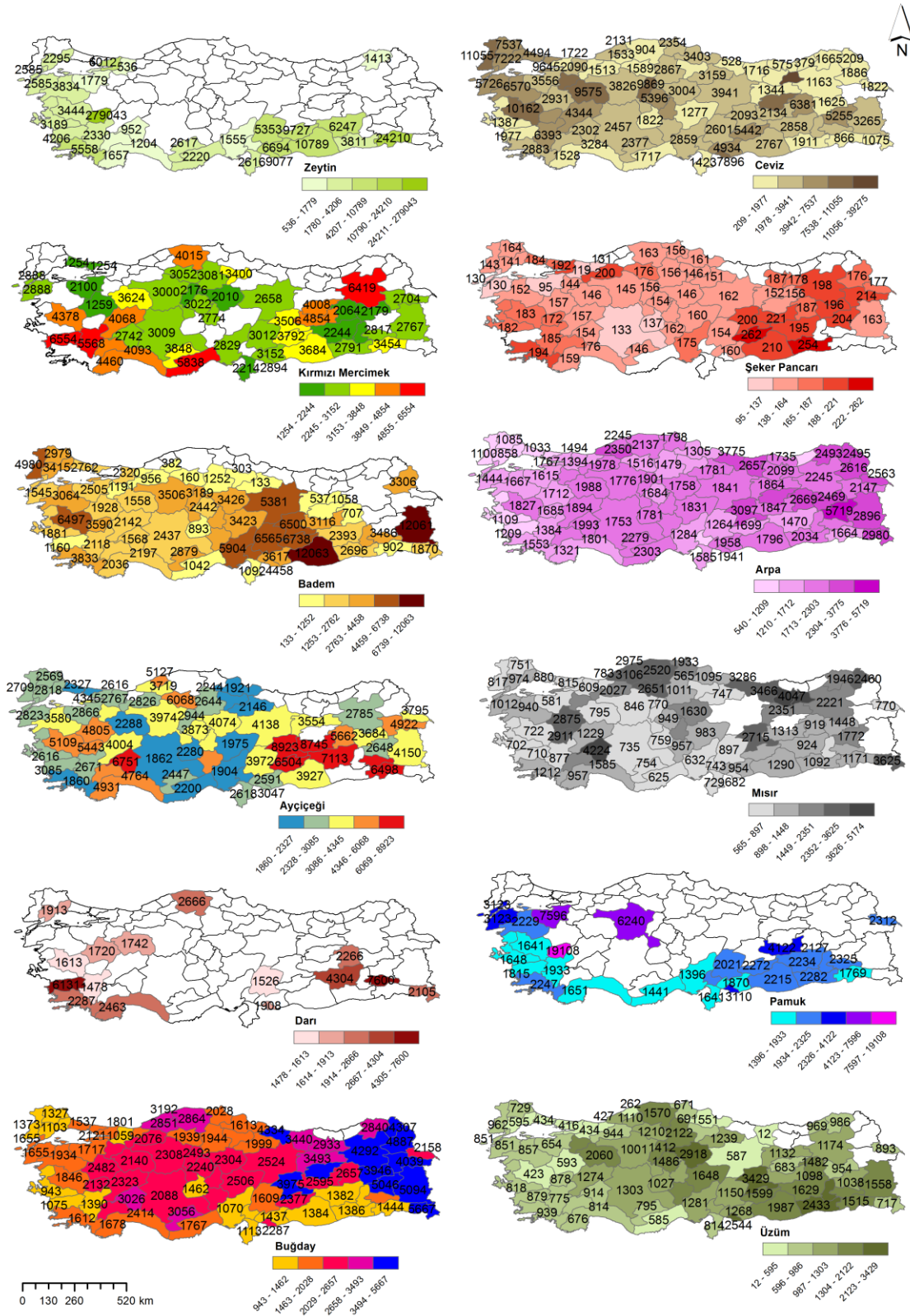
Şekil 5.32'de, Şekil 5.33'te ve Şekil 5.34'te Türkiye'de 2008-2018 yılları arasında üretilen ürünlerden sanal su muhtevası miktarı en yüksek olan 36 ürünün illerdeki toplam sanal su muhtevası miktarını gösteren haritalar verilmiştir. Türkiye'de 22 milyon ton ile en fazla üretim miktarına sahip olan ve toplam su ayak izi en yüksek ikinci ürün olan mısır ürününün toplam sanal su muhtevası miktarı en yüksek (5174 m<sup>3</sup>/ton), mısır üretim miktarı en düşük olan Bayburt ilinde tespit edilmiştir. 21 milyon ton ile üretim miktarı yüksek ikinci ürün ve toplam su ayak izi en yüksek ürün olan

buğday ürününün en yüksek toplam sanal su muhtevası miktarı 5667 m<sup>3</sup>/ton olarak Hakkari ilinde saptanmıştır. 2,8 milyon ha ile en fazla ekilen alana sahip ikinci ürün olan arpa ürününün ise toplam sanal su muhtevası miktarı en yüksek 5719 m<sup>3</sup>/ton ile Bitlis ilinde belirlenmiştir. Türkiye’de en fazla üretilen üçüncü ürün olan şeker pancarı ürününün toplam sanal su muhtevası en yüksek 262 m<sup>3</sup>/ton ile Adıyaman ilinde tespit edilmiştir. Mavi su kullanımı açısından oldukça önemli olan zeytin (279043 m<sup>3</sup>/ton) ve pamuk (19108 m<sup>3</sup>/ton) ürünlerinin her ikisinin de en yüksek toplam sanal su muhtevası miktarları Uşak ilinde hesaplanmıştır. Mavi su kullanımı açısından diğer önemli ürünlerden üzüm (3429 m<sup>3</sup>/ton) ve ayçiçeği (8923 m<sup>3</sup>/ton) ürünlerinin her ikisinin de en yüksek toplam sanal su muhtevası miktarları Malatya ilinde hesaplanmıştır. Türkiye’nin her yerinde yetişen elma ürününün toplam sanal su muhtevası en fazla 5646 m<sup>3</sup>/ton ile Siirt ilinde belirlenmiştir. Mavi su kullanımı açısından önemli olan ve sanal su muhtevası en yüksek ürün olan antep fıstığının en yüksek toplam sanal su muhtevası miktarı, en düşük antep fıstığı üretimi miktarına sahip olan Van ilinde tespit edilmiştir. Türkiye’de ekilen alanı dar olan haşhaş, susam, tütün ve fındık ürünlerinin en yüksek toplam sanal su muhtevası sırasıyla Manisa (18119 m<sup>3</sup>/ton), Mardin (25811 m<sup>3</sup>/ton), Afyon (12222 m<sup>3</sup>/ton) ve Uşak (49192 m<sup>3</sup>/ton) ilinde hesaplanmıştır. Bu ürünlerin yanı sıra yer fıstığı, kestane ve soya fasulyesi ürünlerinin de ekim alanı dar olup sanal su miktarları en fazla sırasıyla Niğde, Yalova ve Iğdır illerinde tespit edilmiştir. Siirt ilinde en fazla sanal suya yine ekim alanı dar olan çeltik (20585 m<sup>3</sup>/ton) ve darı (7600 m<sup>3</sup>/ton) ürünlerinin sahip olduğu saptanmıştır. Ekim alanı dar olan diğer bir ürün olan rezene sadece beş ilde üretilip en yüksek toplam sanal su muhtevası Ağrı ilinde (8870 m<sup>3</sup>/ton) tahmin edilmiştir. 6 ton ile en düşük üretim miktarına ve 7470 m<sup>3</sup>/ton ile yüksek sanal su muhtevasına sahip olan kenevir ürünü sadece Samsun ve Kastamonu üretilmektedir ve bu illerdeki toplam sanal su muhtevası miktarı sırasıyla 8388 ve 5802 m<sup>3</sup>/ton’dur. Ayrıca anason, kimyon, kekik ve aspir gibi üretim miktarı az ve ekim alanı dar olan ürünlerin de sanal su muhtevaları oldukça yüksektir. Buna karşın ekimi geniş alana yayılan, sanal su muhtevası düşük olan ve üretimi fazla olan yonca, patates, domates ve karpuz ürünlerinin sanal suyu en fazla sırasıyla Kars (496 m<sup>3</sup>/ton), Tunceli (948 m<sup>3</sup>/ton), Rize (618 m<sup>3</sup>/ton) ve Şırnak (447 m<sup>3</sup>/ton) illerinde bulunmuştur. Sanal su muhtevası yüksek ve ekim alanı geniş olan kuru fasulye, çavdar ve kayısı ürünlerinin sırasıyla en yüksek sanal su muhtevası Denizli (6851 m<sup>3</sup>/ton), Diyarbakır (5790 m<sup>3</sup>/ton) ve Kilis (4582 m<sup>3</sup>/ton) illerinde hesaplanmıştır. Bu ürünlerin yanı sıra Bayburt ilinde en

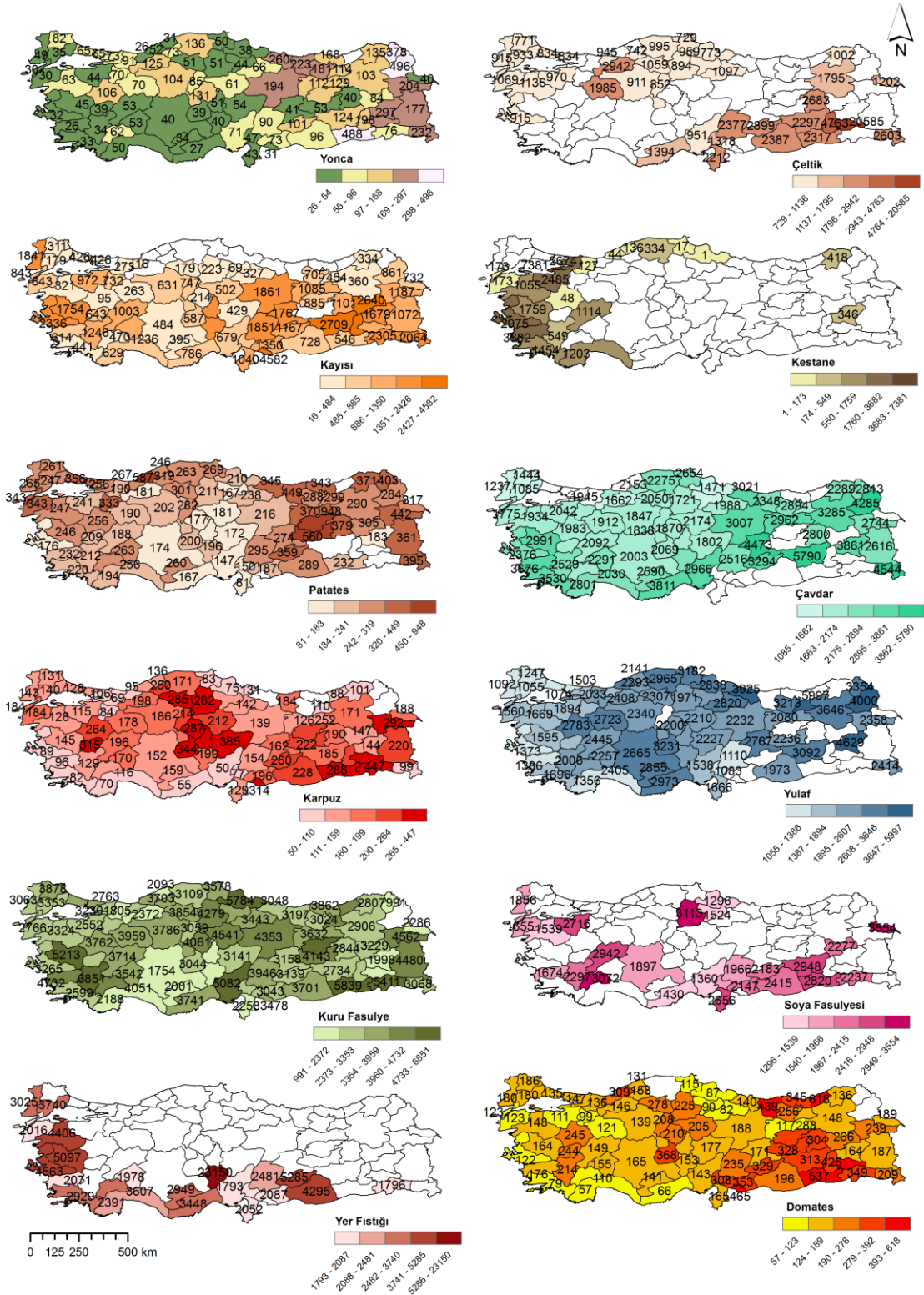
yüksek sanal su muhtevasına ceviz, nohut ve yulaf ürünlerinin sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.32. Toplam sanal su muhtevası en yüksek olan ürünlerin il bazında haritası



Şekil 5.33. Üretim miktarı yüksek olan ürünlerin il bazında toplam sanal su muhtevası haritası



Şekil 5.34. Ekim alanı geniş olan bazı ürünlerin il bazında toplam sanal su muhtevaları

Tablo 5.14'te Türkiye'de 2008-2018 yılları arasında üretilen tarımsal ürünlerin üretim miktarı, ekilen alanı, yeşil, mavi ve toplam sanal su muhtevaları verilmiştir.

**Tablo 5.14.** Türkiye’de üretilen ürünlerin üretim miktarı, ekilen alanı ve sanal su muhtevaları

Ürünler	Üretim Miktarı (ton)	Ekilen Alan (ha)	Yeşil Sanal Su Muhtevası (m3/ton)	Mavi Sanal Su Muhtevası (m3/ton)	Toplam Sanal Su Muhtevası (m3/ton)
Anason	10430	15221	2367	4030	6397
Antep Fıstığı	126595	275488	3561	20074	23634
Armut	439369	23328	130	287	417
Arpa	7106636	2789611	1092	690	1782
Aspir	40599	27118	1047	3223	4270
Avokado	1763	312	689	1132	1820
Ayçiçeği	1352220	566630	644	1891	2535
Ayva	128259	5802	121	202	323
Badem	74868	25294	726	2320	3046
Bamya	33708	6727	258	1059	1317
Biber (Dolmalık)	395463	15647	53	198	251
Biber (Salçalık)	853595	30976	51	221	272
Biber (Sivri)	883467	31408	50	183	233
Brokoli	40133	2236	60	115	175
Buğday	16921609	6553848	1191	790	1981
Buğday (Durum)	3667250	1319626	1076	720	1796
Ceviz	192350	64458	811	2362	3173
Çavdar	330005	124628	1162	1024	2185
Çay	1263189	76779	408	118	526
Çeltik	872433	109538	259	704	963
Çilek	353765	13467	84	210	294
Darı	6257	2837	338	2244	2582
Domates (Salçalık)	3738473	58299	18	79	96
Domates (Sofralık)	7900285	125402	21	88	109
Dut	66178	2033	55	183	238
Elma	2839692	169795	116	357	474
Enginar	23987	1860	324	264	588
Erik	276135	19060	158	442	600
Fasulye (Kuru)	208248	92684	488	2092	2580
Fasulye (Taze)	613827	50946	115	288	403
Fındık	567783	692614	3592	3386	6979
Fiğ	388330	4649	20	26	45
Gül (Yağlık)	11674	3039	534	1501	2035
Haşhaş	23409	37138	4856	4471	9326
Havuç	589794	11731	23	99	121
Hıyar (Sofralık)	1628440	30792	24	79	103
Hıyar (Turşuluk)	145007	7432	63	223	286
Ispanak	218960	17776	45	165	210
İncir	273187	49178	379	775	1154
Kanola	106763	31663	832	298	1131
Kara Lahana	77479	6039	111	2	113
Karnabahar	174744	7353	66	36	102
Karpuz	3958687	96969	32	89	120
Kavun	1720616	79456	55	221	276
Kayısı	673532	115206	290	1186	1476

Tablo 5.14 'ün devamı

Ürünler	Üretim Miktarı (ton)	Ekilen Alan (ha)	Yeşil Sanal Su Muhtevası (m3/ton)	Mavi Sanal Su Muhtevası (m3/ton)	Toplam Sanal Su Muhtevası (m3/ton)
Kekik	13011	10066	1284	4247	5532
Kenevir	6	11	3914	3556	7470
Kestane	58916	11501	490	1705	2195
Kırmızı Mercimek	338925	232872	1710	1274	2984
Kimyon	16376	24668	2366	3776	6142
Kiraz	493103	74988	324	910	1234
Kivi	37594	2149	191	176	367
Korunga	1426918	177071	199	239	438
Lahana (Beyaz)	503140	14597	49	61	110
Lahana (Kırmızı)	148887	4598	40	14	54
Marul (Göbekli)	224345	10486	45	7	52
Marul (Kıvırcık)	157910	8977	53	35	88
Maydanoz	60916	5186	17	67	83
Mısır	5264942	628676	161	682	843
Mısır (Silajlık)	16731127	360752	24	97	121
Nar	342724	26215	174	564	738
Nohut	508186	429234	1320	2283	3603
Pamuk	2216859	474726	244	1728	1972
Patates	4506130	143619	47	149	197
Patlıcan	830188	24285	40	158	198
Pırasa	212222	7661	34	96	130
Rezene	3203	2388	750	2964	3714
Sarımsak (Kuru)	93012	10886	199	530	730
Sarımsak (Taze)	24859	2125	123	462	585
Soğan (Kuru)	1949152	61620	55	163	217
Soğan (Taze)	151588	9786	114	188	303
Sorgum	62099	1846	28	147	176
Soya Fasulyesi	121982	29611	305	1139	1444
Susam	18942	28218	1462	7117	8579
Şeftali	554790	38874	163	409	572
Şeker Pancarı	17224562	306204	29	118	148
Şerbetçiotu	1775	339	279	715	994
Taze Bakla	39950	4743	231	0	232
Taze Bezelye	103083	10452	182	267	450
Taze Börülce	18304	2200	120	715	836
Trabzon Hurması	32556	2183	182	461	643
Tritikale	120299	36056	907	613	1520
Turp (Bayır)	17033	921	38	17	55
Turp (Kırmızı)	159940	5576	24	3	27
Tütün	74139	100344	1524	6966	8489
Üçgül	2869	1031	348	162	510
Üzüm (Kurutmalık)	1518955	132317	175	575	750
Üzüm (Sofralık)	2110435	257572	241	739	979
Üzüm (Şaraplık)	459940	69067	287	700	988
Vişne	185654	22066	251	633	885
Yerfıstığı	127003	34412	442	1517	1959
Yeşil Mercimek	26172	22822	1002	3021	4022
Yonca	11794982	623266	19	69	88
Yulaf	226587	96465	1322	774	2096
Zeytin (Sofralık)	424798	210144	1243	2093	3336
Zeytin (Yağlık)	1226688	601385	1178	2462	3641

## BÖLÜM 6

### TARTIŞMA VE SONUÇ

#### 6.1. Tartışma

WWF (2014) tarafından yayınlanan Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu adlı çalışmada Türkiye'nin bitkisel üretiminin % 38'ini tahıl grubu, %31'ini yem bitkileri grubu, %13'ünü meyve grubu, %10'unu sanayi bitkileri grubu, %5'ini yağ bitkileri grubu ve %2'sini sebze ve baklagiller grubu oluşturmuştur. Mevcut çalışmada ise Türkiye'nin bitkisel üretiminin %57,36'sını tahıl grubu, %15,09'unu sebze grubu %9,26'sını yağ bitkileri grubu %7,89'unu sanayi bitkileri grubu, %4,02'sini meyve grubu, %3,26'sını baklagiller grubu, %1,58'sini yem bitkileri grubu, %1,30'unu diğer bitkiler grubu ve %0,24 ise baharat grubu oluşturmuştur. Ayrıca mevcut çalışmada sadece tahıl grubunun yeşil su ayak izi mavi su ayak izinden yüksek iken WWF (2014)'de tahıl grubu, yem bitkileri grubu, meyve grubu, yağ bitkileri grubu ve sebze grubunun yeşil su ayak izi mavi su ayak izinden yüksek çıkmıştır. Bu iki çalışmadaki farklılığın temel sebebi bitkisel gruplardaki ürünlerin farklı dağılımıdır. WWF (2014) bitki gruplarını TÜİK, WFN ve FAOSTAT veri tabanına göre sınıflandırırken mevcut çalışma TÜİK (2019) ve Tarım ve Orman Bakanlığı (2019) veri tabanına göre sınıflandırılmıştır. WWF (2014)'de ve mevcut çalışmada ekonomik değeri yüksek olan şeker pancarı ürünü Konya, Yozgat, Eskişehir, Kayseri gibi illerde mavi su ayak izi miktarının daha yüksek olduğu ve veriminde yaklaşık aynı değerlerde olduğu tespit edilmiştir. WWF (2014) ve mevcut çalışmada sanayi bitkileri grubunun en yüksek su ayak izine (%82'si) sahip olan pamuk ürününün bütün illerde mavi su ayak izinin yeşil su ayak izinden yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. WWF (2014)'de tahılların su ayak izinin %95'ini oluşturan buğday ürünü mevcut çalışmada tahıl grubunun %65,44'ünü oluşturduğu saptanmıştır. Muratoğlu (2020)'nin yaptığı çalışmada buğdayın Türkiye genelinde toplam ayak izi (39,3 milyar m<sup>3</sup>) mevcut çalışmaya yakın değerde bulunmuştur. Öte yandan Mekonnen ve Hoekstra (2010) tarafından yapılan çalışmada küresel ölçekte ulusal üretimdeki buğday ürününün toplam su ayak izi (39,3 milyar m<sup>3</sup>) mevcut çalışmanın sonuçlarıyla (33,5 milyar m<sup>3</sup>) yaklaşık olarak benzer tespit edilmiştir. Aldaya ve ark. (2010), Orta Asya'da üretilen pamuk, buğday ve pirinç ürünlerinin elde edilen su ayak izleri oranları mevcut çalışmada da yaklaşık aynı oranda olduğu saptanmıştır. Muratoglu (2019)'nin Diyarbakır'da üretilen ürünlerin su ayak izi

çalışması bu çalışmayla yaklaşık olarak aynı sonuçlara sahip olduğu tespit edilmiştir. Engin (2019) ve Alper (2015)'in pamuk ürünü için yaptığı çalışma mevcut çalışmayla benzer olarak mavi su ayak izi miktarının yeşil su ayak izi miktarından daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca Alper (2015)'in çalışmasında da sanayi bitkileri grubunda en yüksek su ayak izine sahip ürünün pamuk ürünü olduğu belirlenmiştir. GEKA (2015) yaptığı çalışmada da mevcut çalışmada da Muğla ilinde en yüksek toplam su ayak izi miktarı yağlık zeytin ürünü olduğu tespit edilmiştir. Dünyada mısır üretim alanlarının %5'i oluşturan Hindistan'da Bhat, Pandit, Khan, Kumar ve Jan (2017) tarafından yapılan çalışmada mısır ürününün bitki su tüketimi 304 mm ve sulama suyu ihtiyacını 288 mm olarak hesaplanırken Türkiye'de mısır ürününün ortalama bitki su tüketimi 658 mm ve sulama suyu ihtiyacı 501 mm olarak tespit edilmiştir (Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü Tarım Havzaları Daire Başkanlığı, 2019). Chapagain ve Hoekstra (2003) yaptıkları çalışmada dünyada çay üretimi için toplam su ayak izi 30 milyar m<sup>3</sup> iken mevcut çalışmada Türkiye için bu miktar 664 milyon m<sup>3</sup> olduğu tahmin edilmiştir. Zhou ve ark. (2013) çalışmalarında 5×5 grid tabanlı günlük su dengesi modeli, GEKA (2015)'n yaptığı çalışmada WaterSTAT modeli ve Hoekstra, Booij, Hunink ve Meijer (2012) çalışmalarında Ulusal Hidrolojik Enstrüman (yeraltı ve yüzey suyu modeli) modeli kullanılırken bu çalışmada yüksek çözünürlükte CWR modeli tercih edilmiştir.

## 6.2. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, 2008-2018 yılları arasında (11 yıllık ortalama) Türkiye'deki illerden alınan meteorolojik istasyon verilerinin uzun yıllık ortalamaları ile ArcGIS yazılımından faydalanılarak illerin  $ET_0$  değerlerinin alansal ve aylara göre (zamansal) dağılımını gösteren haritalar elde edilmiştir. Elde edilen haritalardaki değerler CROPWAT yazılımında ve su ayak izi metodu kullanılarak ulusal üretimin bitkisel su ayak izi hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre Türkiye'nin toplam bitkisel su ayak izi miktarı 106,85 milyar m<sup>3</sup> olarak tahmin edilmiştir. Bu miktarın %56'sını mavi su ayak izi %44'ünü ise yeşil su ayak izi oluşturduğu saptanmıştır.

Bitkisel ürün gruplarından en yüksek mavi ve yeşil su ayak izi miktarına sahip olan grup tahıl grubuyken bu gruptaki ürünlerden en yüksek mavi ve yeşil su ayak izi miktarına buğday (toplam su ayak izi 33,5 milyar m<sup>3</sup>) ürününün sahip olduğu belirlenmiştir. Konya ilinde en fazla su ayak izine sahip olan buğday ürününün mavi su

ayak izi yeşil su ayak izinden daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Ürün gruplarından en düşük mavi ve yeşil su ayak izi miktarına sahip olan baharat grubu olduğu saptanmıştır. En düşük mavi su ayak izi miktarına sahip olan ürün taze bakla iken en düşük yeşil ve toplam su ayak izi miktarına sahip ürün kenevir olduğu belirlenmiştir. Mısır, buğday, şeker pancarı, yonca, domates, arpa, patates ve üzüm gibi üretim miktarı oldukça yüksek ürünlerin genellikle su ayak izleri de yüksek çıkmıştır.

Arpa, çavdar, durum buğdayı, yulaf, kırmızı mercimek, çay, kenevir, üçgül, kanola, bayır turp, tritikale, enginar, kara lahana, kırmızı lahana, karnabahar, kırmızı turp, kıvrıcık marul, göbekli marul, taze bakla, fındık ve kivi ürünlerinin yeşil su ayak izleri mavi su ayak izi miktarından yüksek olduğu tespit edilmiştir. Diğer ürünlerin ise mavi su ayak izleri büyük oranda yeşil su ayak izi miktarından yüksek olduğu saptanmıştır. Düşük mavi su kullanımı su kaynaklarının sürdürülebilirliği için oldukça önem arz etmektedir. İl bazında su ayak izleri değerlendirildiğinde en yüksek yeşil ve toplam su ayak izi miktarı Konya ilinde, en fazla mavi su ayak izi miktarı Şanlıurfa ilinde tespit edilmiştir. En düşük yeşil, mavi ve toplam su ayak izi miktarına Yalova ilinin sahip olduğu tespit edilmiştir. Su talebi yüksek ürünlerin üretimi su kaynaklarının verimli kullanımı için dikkate alınmalıdır. Antep fıstığı, haşhaş, susam, tütün, kenevir, fındık, anason, kimyon, kekik ve aspir toplam sanal su muhtevası en yüksek ilk on ürün olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda düşük üretim miktarı ve verime sahip ürünlerin sanal su muhtevaları oldukça yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Literatürde su ayak izi çalışmaları oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmada ulusal üretimin tarımsal su ayak izi analizleri ilk kez çok kapsamlı bir şekilde çalışılmıştır. İllerin ve ürünlerin mavi, yeşil ve toplam tarımsal su ayak izi analizleri detaylı olarak hesaplanmıştır. Mavi su ayak izi yüzey ve yeraltı suyunun kullanımı olduğundan dolayı yüksek olması su kıtlığı riskini artırmaktadır. Bu bağlamda Türkiye'deki mavi su ayak izi yüksek ürünlerde ve illerde mavi su kullanımını azaltacak önlemler alınmalıdır. Bu mevcut çalışmanın ülke ekonomisine ve karar vericilere rehber bir çalışma olacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Acet Başoğlu, D. (2017), Dietary Pattern-Induced Greenhouse Gas Emission And Water Footprint Estimations in Turkey, Master Thesis, *Middle East Technical University Earth System Science*.
- Akdeniz, Z. (2019), Türkiye’de Tarım Sektörü ve 2000’li Yıllarda Tarımda İzlenen Politikalar, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- Akın, M., ve Akın, G. (2007), Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 47(2), 105–118.
- Aktaş, S., ve Yılmaz Yalçın, O. (2013), Meşcere Taslak Haritalarının Mekansal Tahmin Yöntemleri ile Üretilmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 62(2), 129–144. <https://doi.org/10.17099/jffiu.03344>
- Aldaya, M. ., Munoz, G., ve Hoekstra, A. Y. (2010), Water Footprint of Cotton, Wheat and Rice Production in Cenral Asia. In *Value of Water Research Series*. Netherlands.
- Aldaya, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2009), The Water Needed to have İtaliens Eat Pasta and Pizza. In *Value of Water Research Report Series No.36*. Netherlands.
- Aldaya, M. M., ve Llamas, M. R. (2008a), Water footprint analysis for the Guadiana river basin. In *Value of Water Research Report Series No. 35*. Retrieved from [http://www.waterfootprint.org/Reports/Aldaya\\_and\\_Llamas\\_2008.pdf](http://www.waterfootprint.org/Reports/Aldaya_and_Llamas_2008.pdf)
- Aldaya, M. M., ve Llamas, M. R. (2008b), Water Footprint Analysis for The Guadiana River Basin. In *Value of Water Research Report Series No. 35*. Retrieved from [http://www.waterfootprint.org/Reports/Aldaya\\_and\\_Llamas\\_2008.pdf](http://www.waterfootprint.org/Reports/Aldaya_and_Llamas_2008.pdf)
- Allafi Omar, A. (2019), Examining the water footprint concept in relation to sustainable water management. *Sheffield Hallam University*.
- Allan, J. A. (2002), Hydro-Peace in The Middle East: Why no Water War? A Case Study of the Jordan River Basin. *SAIS Review*, XXII(2), 255–272.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., ve Smith, M. (1998), Crop Evapotranspiration. In *Irrigation and Drainage Paper No.56* (Vol. 300). <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>
- Alper, F. (2015), Sürdürülebilirlik Kavramı İçerisinde Su Ayak İzi: Tekstil Sektörü Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2013.0625>
- Avcı, M., (2014), Türkiye’nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıkları I, Akkemik, Ü., *Orman Genel Müdürlüğü Yayınları*, Ankara. 736 s,

- Avcı, M. (2018), Bitki Coğrafyası, Lisans Programı, *İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi*
- Bakhshaliyev, S. (2010), Tatlı Su Kaynaklarının Etkin Kullanımı ve Su Tüketiminin Belirlenmesi: Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bayrak, H. (2019), Smart and Wise Governance of Water Supply Allocation Using Water Footprint Assessment, Master Thesis, *University of Twente Water Engineering and Management*.
- Bhat, S. A., Pandit, B. A., Khan, J. N., Kumar, R., ve Jan, R. (2017). Water Requirements and Irrigation Scheduling of Maize Crop using CROPWAT Model. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 10. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.199>
- Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü Tarım Havzaları Daire Başkanlığı, 2019, Ürün Masaları Mısır Bülteni.
- Bulsink, F., Hoekstra, A. Y., ve Booij, M. J. (2010), The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 119–128.
- Cha, K., Son, M., Hong, S., An, S., ve Part, S. (2017), Method to Assess Water Footprint, A Case Study for White Radishes in Korea. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(2), 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.02.005>
- Chapagain, A. K., ve Hoekstra, A. Y. (2003), The Water Needed to have The Dutch Drink Tea. In *Value of Water Research Report Series No. 15*. Retrieved from <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report14.pdf>
- Chapagain, A. K., ve Hoekstra, A. Y. (2004), Water Footprint of Nations Volume 1 : Main Report. In *Value of Water Research Report Series No.16*. Retrieved from <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report16Vol1.pdf>
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2010a), The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. In *Value of Water Research Report Series No. 48*.
- Chapagain, A. K., ve Hoekstra, A. Y. (2010b), The green, blue and grey water footprint of rice from both a production and consumption perspective. In *Value of Water Research Report Series No. 40*. Netherlands.
- Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H. G., ve Gautam, R. (2005), The Water Footprint of Cotton Consumption. In *Value of Water Research Report Series No. 18*. <https://doi.org/10.7763/jocet.2016.v4.251>
- Chouchane, H., Hoekstra, A. Y., Krol, M. S., ve Mekonnen, M. M. (2013), Water Footprint of Tunisia From An Economic Perspective. In *Value of Water Research*

*Report Series No.61.* The Netherlands.

- Çakmak, B., Ucar, Y., ve Akuzum, T. (2014), Water Resources Management, Problems and Solutions for Turkey. In *International Congress on River Basin Management*.
- 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 Fen Bilimleri Enstitüsü*. <https://doi.org/10.37707/0033-2909.I26.1.78>
- Dışkaya, S. K. (2018), Türkiye'nin Su Güvenliğine Sosyal İnşacı Bir Yaklaşım. *İstanbul İktisat Dergisi-Istanbul Journal of Economics*, 68(2), 265–300. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON487103>
- DSİ. (2014), Devlet Su İşleri-Toprak ve Su Kaynakları. Retrieved from <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>
- DSİ. (2019), Devlet Su İşleri-Toprak ve Su Kaynakları. Retrieved from <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>
- Dumont, A., Salmoral, G., ve Llamas, M. R. (2013), 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. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.04.001>
- El-Sadek, A. (2011), Virtual Water: An effective mechanism for integrated water resources management. *Agricultural Sciences*, 02(03), 248–261. <https://doi.org/10.4236/as.2011.23033>
- Engin, S. (2019), Türkiye’de pamuk üretiminin su ayak izi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ercin, A. E., Aldaya, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2011), Corporate water footprint accounting and impact assessment: The case of the water footprint of a Sugar-Containing Carbonated Beverage. *Water Resources Management*, 25(2), 721–741. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9723-8>
- Ercin, A. E., Aldaya, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2012), The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. *Ecological Indicators*, 18, 392–402. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.009>
- Ercin, A. E., ve Hoekstra, A. Y. (2012), Water footprint scenarios for 2050: A global analysis and case study for Europe. In *Value of Water Research Report Series No.59*. Retrieved from <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report59-WaterFootprintScenarios2050.pdf>
- Ercin, A. E., Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2012a), The water footprint of France. In *Value of Water Research Report Series No.56*. Retrieved from <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report56-WaterFootprintFrance.pdf>

- Ercin, A. E., Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2012b), The water footprint of Switzerland. In *Value of Water Research Report Series No.57*. the Netherlands.
- Erdoğan, P. (2018), Türk mutfak kültürünün sera gazı emisyonu ve su ayak izinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Feng, K., Hubacek, K., Minx, J., Siu, Y. L., Chapagain, A., Yu, Y., Barrett, J. (2011), Spatially explicit analysis of water footprints in the UK. In *Water* (Vol. 3). <https://doi.org/10.3390/w3010047>
- Francke, I. C. M., ve Castro, J. F. (2013), Carbon and water footprint analysis of a soap bar produced in Brazil by Natura Cosmetics. *Water Resources and Industry*, 1–2, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.003>
- GEKA, 2015, *Muğla'nın Su Ayak İzi Haritası*, Güney Ege Kalkınma Ajansı Muğla.
- Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A.Y., ve Van Der Meer, T. H. (2008), Water footprint of bio-energy and other primary energy carriers. In *Value of Water Research Report Series No.29*. The Netherlands.
- Gerbens-Leenes, P. W., Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2013), The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry*, 1–2, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.001>
- Günel, N. (2013), Türkiye’de iklimin doğal bitki örtüsü üzerindeki etkileri. *Çevrimiçi Tematik Türkoloji Dergisi*, 1, 1–22.
- Han, Y., Jia, D., Zhuo, L., Sauvage, S., Sánchez-Pérez, J. M., Huang, H., ve Wang, C. (2018), Assessing the water footprint of wheat and maize in Haihe River Basin, Northern China (1956-2015). *Water Resources and Industry*, 10(7), 867. <https://doi.org/10.3390/w10070867>
- Hoekstra, A. Y., Booij, M. J., Hunink, J. C., ve Meijer, K. S. (2012), Blue water footprint of agriculture, industry, house-holds and water magemente in the Netherlands: An exploration of using the Netherlands Hydrological Instrumen. In *Value of Water Research Report Series No.58*. The Netherlands.
- Hoekstra, A.Y., ve Chapagain, A. K. (2006), The water footprints of Morocco and the Netherlands. In *Value of Water Research Report Series No.21*. <https://doi.org/10.1002/9780470696224.ch6>
- Hoekstra, A.Y., ve Hung, P. Q. (2002), Virtual Water Trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to International Crop Trade. In *Value of Water Research Report Series No.11*. <https://doi.org/10.4324/9780203867785>
- Hoekstra, A.Y., ve Mekonnen, M. M. (2010), The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. In *Value of Water Research Report Series No.*

47. Retrieved from <http://wfn.project-platforms.com/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Voll.pdf>
- Hoekstra, A. Y. (2013), The water footprint of modern consumer society. <https://doi.org/10.4324/9780203126585>
- Jefferies, D., Muñoz, I., Hodges, J., King, V. J., Aldaya, M., Ercin, A. E., Hoekstra, A. Y. (2012), Water footprint and life cycle assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production*, 33, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.015>
- Jensen, M. E. (1968), Water consumption by agricultural plants. *Water Deficits And Plant Growth*, 2.
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., ve Lucas, N. (2001), *Using ArcGIS geostatistical analyst* (ESRI). Retrieved from <http://direitosminerarios.com/pdf/ESRI - Using ArcGIS Geostatistical Analyst.pdf>
- Kale, M. (2018), Yeşilirmak Havzası mekânsal yağış dağılımına ait değişiminin deterministik ve stokastik yöntemlerle belirlenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi*, 39(3), 263–276. <https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.503952>
- Kalkınma Bakanlığı, T. C. (2014), *Su kaynakları yönetimi ve güvenliği: Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. Ankara.
- Karaca, C., Büyüктаş, D., Bastuğ, R., Aydınşakir, K., ve Tekelioğlu, B. (2017), Antalya koşullarında kıyas bitki su tüketiminin alansal ve zamansal dağılımının belirlenmesi. *Derim*, 34(2), 158–171. <https://doi.org/10.16882/derim.2017.292134>
- Kartal, S., Çolak Bozkurt, Y., Gönen, E., ve Özfidaner, M. (2019), Tarsus Bölgesinde patlıcan bitkisinin sulama programının CROPWAT 8 . 0 programı kullanarak oluşturulması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(2), 332–342.
- Kaumudini, I. (2013), Water footprinting of agricultural products: a hydrological assessment for the water footprint of New Zealand's wines. *Journal of Cleaner Production*, 4(41), 232–243.
- Kaya, S., Meral, R. ve Demir Doğan, A. (2012), Erzurum Ovası Koşullarında Şeker Pancarının Sulama Programının Belirlenmesi. In *Anadolu Şeker Pancarı Sempozyumu*. Kayseri.
- Keskin, E. (2019), Türkiye’de tarım politikalarındaki dönüşümün gıda güvenliğine etkisi ve tarımsal teşvik sistemi, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Mersin.
- Koç, A. C., ve Güner, Ü. (2005), Mevcut sulama projelerinin FAO kriterleriyle yeniden değerlendirilmesi: Tavas Ovası örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9, 93–106.

- Kol, Ç., ve Küpcü, S. (2008), *ArcGIS 3D Analiz* (ESRI). Ankara: İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Müh ve Eğtm Ltd. Şti.
- Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2010), 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. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1259-2010>
- Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2011a), The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(1), 763–809. <https://doi.org/10.5194/hessd-8-763-2011>
- Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2011b), The relation between national water management and international trade: A case study for Kenya. *Value of Water Research Report Series No, 15(5)*, 1577–1600.
- Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2011c), The water footprint of electricity from hydropower. In *Value of Water Research Report Series No.51*. <https://doi.org/10.5194/hess-16-179-2012>
- Mekonnen, M. M., Pahlow, M., Aldaya, M. M., Zarate, E., ve Hoekstra, A. Y. (2014), Water Footprint Assessment for Latin America and the Caribbean: An analysis of the sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution. In *Value of Water Research Report Series No.66*. the Netherlands.
- MGM. (2019a), Meteroloji Genel Müdürlüğü. Retrieved from <https://www.mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=5>
- MGM. (2019b), Türkiye Alansal Yağış Hesaplaması. Retrieved from <https://www.mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=5>
- Mızrak, G. (2017), *Türkiye İklim Bölgeleri ve Haritası*. Ankara.
- Muratoglu, A. (2019), Water footprint assessment within a catchment: A case study for Upper Tigris River Basin. *Ecological Indicators*, 106, 105467. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2019.105467>
- Muratoğlu, A. (2018), Dicle Havzasının Su Ayak İzinin Hesaplanması. *1.Uluslararası İçmesuyu ve Atıksu Sempozyumu*, Afyonkarahisar.
- Muratoğlu, A. (2019), Üretimin su ayak izinin incelenmesi : Diyarbakır ili için bir vaka çalışması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), 845–858. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.543933>
- Muratoğlu, A. (2020), Assessment of wheat's water footprint and virtual water trade: a case study for Turkey. *Ecological Processes, Accepted M(TBG)*, 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13717-020-0217-1>
- Nazeer, M. (2009), Simulation of maize crop under irrigated and rainfed conditions with CROPWAT model. *ARNP Journal of Agricultural and Biological Science*, 4(2),

- 68–73. Retrieved from [http://www.arpnjournals.com/jabs/research\\_papers/rp\\_2009/jabs\\_0309\\_123.pdf](http://www.arpnjournals.com/jabs/research_papers/rp_2009/jabs_0309_123.pdf)
- Özel, O. (2019), Türkiye’de tarım destekleri ve sosyal sermaye ilişkisi: Konya Bölgesinde ampirik bir çalışma, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya.
- Pahlow, M., Krol, M. S., ve Hoekstra, A. Y. (2015), Assessment of measures to reduce the water footprint of cotton farming in India. In *Value of Water Research Report Series No.68*. he Netherlands.
- Resmi İstatistik Programı. (2017), Resmi istatistik programi 2017-2021. In *Türkiye İstatistik Kurumu*. Ankara.
- Ruini, L., Marino, M., Pignatelli, S., Laio, F., ve Ridolfi, L. (2013), Water footprint of a large-sized food company: The case of Barilla pasta production. *Water Resources and Industry*, 1–2, 7–24. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.04.002>
- Schtyns, J. F., ve Hoekstra, A. Y. (2014), The water footprint in Morocco: The added value of Water Footprint Assessment for national water policy. In *Value of Water Research Report Series No. 67*. the Netherlands.
- Sensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, Y., ve Balta, İ. (2008), Türkiye iklimi. In *Turkish State Meteorological Service*. Ankara.
- Soytürk, O. (2019), Tüketim toplumu ve su, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.126.1.78>
- Şahin, B. (2016), Küresel bir sorun: Su kıtlığı ve sanal su ticareti, Yüksek Lisans Tezi, *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- Şahin, H. (2018), Su ayak izi kavramının sürdürülebilir su yönetimi çalışmalarında kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Antalya.
- Şimşek, Ü. (2019), İç Anadolu Bölgesi referans evapotranspirasyon frekans analizi ve evapotranspirasyon hesaplamalarında solar radyasyon parametreleri, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- TAGEM. (2017), Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi. Ankara.
- Tahmiscioğlu, M. S. (2015). Türkiye’de Bitki Su Tüketimi Çalışmaları. İstanbul.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, (2019), *Ürün Masaları*. Retrieved from <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim>
- Taylan, E. D., ve Damçayiri, D. (2016), Isparta Bölgesi yağış değerlerinin IDW ve Kriging Enterpolasyon Yöntemleri ile tahmini. *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, 27(3), 7551–7559.

- Töreyen, G., Özdemir, İ., ve Kurt, T. (2010), *ArcGIS 10 Desktop Uygulama Dokümanı* (ESRI). Ankara: İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd.Şti.
- TÜİK. (2019), Bitki üretim istatistikleri. Retrieved from Türkiye İstatistik Kurumu website: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Tural, S. (2011), Gerçek zamanlı meteoroloji verilerinin toplanması, analizi ve haritalanması, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Usta, A. (2016), Türkiye'nin su potansiyelinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *The Journal of Global Engineering Studies*, 3(2), 01–09.
- Uzunlar, Z. (2006), Türkiye'de yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımının derin kuyu sıcaklık verileri ve variogram analizi ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Van Lienden, A. R., Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y., ve Van Der Meer, T. H. (2010), Biofuel scenarios in a water perspective: The global blue and green water footprint of road transport in 2030. In *Value of Water Research Report Series No.43*. the Netherlands.
- Van Oel, P. R., ve Hoekstra, A. Y. (2010), The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations and quantification. In *Value of Water Research Report Series No.46*. the Netherlands.
- Vanham, D. (2013), An assessment of the virtual water balance for agricultural products in EU river basins \$. *Water Resources and Industry*, 1–2, 49–59. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.002>
- Vanham, D., Hoekstra, A. Y., ve Bidoglio, G. (2013), Potential water saving through changes in European diets. *Environment International*, 61, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.09.011>
- Vanham, D., Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2013), The water footprint of the EU for different diets. *Ecological Indicators*, 32, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.02.020>
- Wang, X., ve Hu, J. (2015), Research on Virtual Water in the Chinese International Grain Trade. *Modern Economy*, 06(06), 735–746. <https://doi.org/10.4236/me.2015.66070>
- WWF. (2014), *Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu: Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi*. Retrieved from [http://d2hawiim0tjbd8.cloudfront.net/downloads/su\\_ayak\\_izi\\_raporweb.pdf](http://d2hawiim0tjbd8.cloudfront.net/downloads/su_ayak_izi_raporweb.pdf)
- Yaprak, S., ve Arslan, E. (2008), Kriging Yöntemi ve Geoit Yüksekliklerinin Enterpolasyonu. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 98, 36–42.
- Yelkara, F. (2015), Türkiye referans evapotranspirasyon değerlerine sıcaklık ve relatif

nem etkilerinin araştırılması ve en uygun Hargrea VES-SAMANI denkleminin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.

- Zeng, Z., Liu, J., Koeneman, P. H., Zarate, E., ve Hoekstra, A. Y. (2012), Assessing water footprint at river basin level: A case study for the Heihe River Basin in northwest China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(8), 2771–2781. <https://doi.org/10.5194/hess-16-2771-2012>
- Zhang, Y. Q., Chiew, F. H. S., Zhang, L., Leuning, R., ve Cleugh, H. A. (2008), Estimating catchment evaporation and runoff using MODIS leaf area index and the Penman-Monteith equation. *Water Resources Research*, 44(10), 1–15. <https://doi.org/10.1029/2007WR006563>
- Zhang, G. P., Hoekstra, A. Y., ve Tickner, D. (2012), Proceedings of the Session ‘Solving the Water Crisis: Common Action toward a Sustainable Water Footprint.’ *Value of Water Research Report Series, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands*, (60).
- Zhang, Y., Huang, K., Yu, Y., ve Yang, B. (2017), Mapping of water footprint research: A bibliometric analysis during 2006 e 2015. *Journal of Cleaner Production*, 149, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.067>
- Zhou, L., Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2013), *Sensitivity And Uncertainty In Crop Water Footprint Accounting*.
- Zhuo, L., Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2016), Water footprint and virtual water trade of China past and future. *Value of Water Research Report Series No. 69*.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Zehra AVANOZ  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Batman / 29.09.1993  
**Telefon** : +90 537 032 01 08  
**Faks** : -  
**e-mail** : zehravanoz@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Nafiye Ömer Şevki Cizrelioğlu Anadolu Lisesi/Diyarbakır	2011
Üniversite	: Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü/Diyarbakır	2016
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü/Batman	2020
Doktora	: -	

### İŞ DENEYİMLERİ

-

### UZMANLIK ALANI

Hidrolik

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

-

### YAYINLAR

-