



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SEYHAN, CEYHAN VE ASİ HAVZALARINDA
TARIMSAL SU AYAK İZİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erkan ERDEM

Danışman

Doç. Dr. Abdullah MURATOĞLU

**Ağustos-2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Erkan ERDEM tarafından hazırlanan “Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarında Tarımsal Su Ayak İzi Analizi” adlı tez çalışması 27/08/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Necati KAYAALP

.....

Danışman

Doç. Dr. Abdullah MURATOĞLU

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Murat BATAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü 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.

Erkan ERDEM
27/08/2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEYHAN, CEYHAN VE ASİ HAVZALARINDA TARIMSAL SU AYAK İZİ ANALİZİ

Erkan ERDEM

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Abdullah MURATOĞLU

2021, 67 Sayfa

Jüri

Danışman: Doç. Dr. Abdullah MURATOĞLU

Doç. Dr. Necati KAYAALP

Dr. Öğr. Üyesi Murat BATAN

Su, yaşamın devamlılığı için en temel ihtiyaç ve en önemli doğal kaynaktır. Canlıların ve toplumun tüm kesimlerinin ihtiyaçları göz önüne alındığında havza bazında suyun etkin ve verimli kullanımı önem taşımaktadır. Suyun sürdürülebilir yönetimine ilişkin yakın zamanda geliştirilen su ayak izi (SA) ve sanal su transferi tatlı su kullanımının en önemli ve kapsamlı göstergesidir. Başka bir deyişle SA ve sanal su transferi insanın su kaynakları üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini göstermektedir. SA ulusal üretim süreçlerinde bireylerin veya sektörlerin tükettiği toplam su hacmini ifade etmektedir. Sanal su transferi ise üretim süreçlerinde tüketilen suyun tamamının ulusal kaynaklı olmadığını gösteren bir parametredir. Ülkemizde havza ölçeğinde su ayak izi ve sanal su transferine yönelik kapsamlı çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bundan dolayı mevcut çalışmada Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarının ilçe bazında tarımsal üretimin (65 tarımsal ürün) su ayak izi detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada iklim, yağış, bitki karakteristikleri, üretim miktarı ve ekilen alan verileri 2008-2018 yılları baz alınarak geniş ölçekte mavi ve yeşil su ayak izi elde edilmiştir. Elde edilen çıktılar sonucunda Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarının toplam su ayak izi sırasıyla 3.53 milyar m³, 6.58 milyar m³, 2.51 milyar m³ olarak saptanmıştır. Ayrıca Seyhan ve Ceyhan Havzalarında üretilen ürünlerin yeşil suya bağlılığı daha yüksekken Asi Havzasında üretilen ürünlerin mavi suya bağlılığı daha yüksek olduğu görülmüştür. Mevcut havzalardaki tarımsal ürünlerin mavi, yeşil ve toplam sanal su muhtevaları değerlendirilmiştir. Mevcut çalışmanın suyu koruma ve kullanma dengesini sağlayarak tatlı su kaynaklarının miktar ve kalitesinin iyileştirip suya akılcı ve bütüncül bir yaklaşımla havza esaslı yönetime yön vermesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Asi havzası, Ceyhan havzası, mavi su, sanal su, Seyhan havzası, su ayak izi, yeşil su

ABSTRACT

MS THESIS

AGRICULTURAL WATER FOOTPRINT ANALYSIS IN SEYHAN, CEYHAN AND ASIAN BASINS

Erkan ERDEM

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Abdullah MURATOĞLU

2021, 67 Pages

Jury

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Abdullah MURATOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Necati KAYAALP

Assist. Prof. Dr. Murat BATAN

Water is the most basic need and the most important natural resource for the continuity of life. Considering the needs of living things and all segments of society, effective and efficient use of water on a basin is important. Water footprint (SA) and virtual water transfer are the most important and comprehensive indicators of freshwater use related to the sustainable management of water in recent years. In other words, WF and virtual water transfer show the direct and indirect effects of people on water resources. WF refers to the total volume of water consumed by individuals or sectors in national production processes. Virtual water transfer is a parameter that shows that not all of the water consumed in production processes from national resources. Comprehensive studies on water footprint and virtual water transfer at basin scale in our country are very limited. Therefore, in the present study, the water footprint of the district-based agricultural production (65 agricultural products) of the Seyhan, Ceyhan and Asi basins has been analyzed in detail. In the study, a large-scale blue and green water footprint has been obtained based on climate, precipitation, plant characteristics, production amount and planted area data for the years 2008-2018. The total water footprint of Seyhan, Ceyhan and Asi Basins was determined as 3.53 billion m³, 6.58 billion m³, 2.51 billion m³, respectively. In addition, it has been observed that the products produced in the Seyhan and Ceyhan Basins have a higher dependence on green water, while the products produced in the Asi Basin have a higher dependence on blue water. Blue, green and total virtual water contents of agricultural products in existing basins were evaluated. It is expected that the current study will improve the quantity and quality of fresh water resources by providing the balance of water conservation and use, and guide watershed-based management with a rational and holistic approach to water.

Keywords: Asi basin, blue water, Ceyhan basin, green water, Seyhan basin, virtual water, water footprint

ÖNSÖZ

Yüksek lisansa başladığım bu uzun ve zorlu süreçte bilgi birikimlerini, tecrübelerini, kıymetli vaktini benimle paylaşmaktan çekinmeyen, akademik ve manevi donanımları ile rol model olarak gördüğüm danışmanım Doç. Dr. Abdullah MURATOĞLU'na minnet ve şükranlarımı borç bilirim.

Yüksek lisans tezimin değerlendirilmesi için değerli vakitlerini ayıran jüri üyelerim; Doç. Dr. Necati KAYAALP'e ve Dr. Öğr. Üyesi Murat BATAN'a teşekkür ederim.

Çalışma sürecim boyunca bilgi ve tecrübelerine başvurduğum Arş. Gör. Muhammed Sungur DEMİR'e, Arş. Gör. İbrahim Özgür DEDEOĞLU'na, Arş. Gör. Ferhat AKKUŞ'a, Arş. Gör. Kübra ÇEVİRİM'e ve Arş. Gör. Gülen ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans süreci boyunca bilgi ve fikir alışverişinde bulunduğum, keyifli vakitler geçirdiğim arkadaşlarım Zehra AVANOZ'a, Emre İRAZ'a ve Mem ÇİFTÇİ'ye teşekkür ederim.

Hayatımın her anında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her kararımın arkasında durarak bana güç veren sevgili aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Erkan ERDEM
BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİL ÇİZELGESİ	xi
TABLO ÇİZELGESİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Konusu ve Amacı.....	3
1.2. Çalışmanın Kapsamı ve Önemi.....	3
1.3. Çalışmanın Yapısı	4
1.4. Tarımsal Su Ayak İzi	4
1.5. Sanal Su.....	6
1.6. Su Ayak İzi.....	7
1.7. Bitki Su Tüketimi (Evapotranspirasyon)	9
1.8. Bitki Karakteristikleri.....	10
1.9. Efektif Yağış ve Sulama Suyu	11
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	13
2.1. Küresel Ölçekli Çalışmalar	13
2.2. Ulusal Ölçekli Çalışmalar	14
2.3. Havza Ölçekli Çalışmalar	17
2.4. Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarında Yapılan Çalışmalar	18
2.4.1. Seyhan havzasında yapılan çalışmalar.....	18
2.4.2. Ceyhan havzasında yapılan çalışmalar	19
2.4.3. Asi havzasında yapılan çalışmalar	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Çalışma alanı.....	21
3.1.1. Seyhan Havzası.....	22
3.1.1. Ceyhan Havzası	23
3.1.2. Asi Havzası	23
3.2. Veri ve Metot	24
3.2.1. Referans evapotranspirasyon tahmini	24
3.2.2. Alansal yağış ve efektif yağış tahmini	28
3.2.3. Bitki karakteristikleri verileri.....	29
3.2.4. Bitkisel evapotranspirasyon tahmini.....	30
3.2.5. Bitki üretim istatistikleri verileri.....	34

3.2.6.	Havza sınırı verileri	34
3.2.7.	Su ayak izi metodu.....	36
4.	BULGULAR.....	39
4.1.	Alansal ortalama yağış ve evapotranspirasyon tahmini	39
4.2.	Tarımsal ürünlerin su ayak izleri.....	43
4.2.1.	Seyhan Havzasının tarımsal su ayak izi.....	54
4.2.2.	Ceyhan Havzasının tarımsal su ayak izi	57
4.2.3.	Asi Havzasının tarımsal su ayak izi	59
4.3.	Tarımsal ürünlerin ekonomik su ve arazi verimliliği	62
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	65
5.1.	TARTIŞMA	65
5.2.	SONUÇ	67
	KAYNAKÇA.....	68
	EKLER	77
	ÖZGEÇMİŞ	90

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Ekilen alan
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerikan Birleşik Devleti
BST	: Bitkisel su tüketimi
BST_{mavi}	: Bitkisel mavi su tüketimi
BST_{toplam}	: Bitkisel toplam su tüketimi
BST_{yeşil}	: Bitkisel yeşil su tüketimi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CWR	: Crop Water Requirement
C_d	: Referans bitki türü ve hesaplandığı süre için sabit payda katsayısı
C_n	: Referans bitki türü ve hesaplandığı süre için sabit pay katsayısı
e_a	: Gerçek buhar basıncı
e_s	: Doygun buhar basıncı
DSİ	: Devlet Su İşleri
ET₀	: Referans evapotranspirasyon
ET_C	: Bitkisel evapotranspirasyon
ET_{mavi}	: Mavi evapotranspirasyon
ET_{yeşil}	: Yeşil evapotranspirasyon
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
G	: Zemin ısı değişim yoğunluğu
GTİP	: Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu
i	: Gözlem nokta sayısındaki değerler
K_C	: Bitki katsayısı
K_{C1}	: Başlangıç dönemi bitki katsayısı
K_{C2}	: Mevsim ortası bitki katsayısı
K_{C3}	: Mevsim sonu bitki katsayısı
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
N	: Nokta sayısı
N_i	: Kriging'de kullanılan noktaların değeri
N_P	: Kriging değeri
OMGİ	: Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
P	: Üretim miktarı
P_{eff}	: Efektif yağış
P_i	: Kriging'de kullanılan noktaların ağırlık değeri
R_n	: Bitki yüzeyindeki net radyasyon
SA	: Su ayak izi
SA_{endüstriyel}	: Endüstriyel su ayak izi
SA_{evsel}	: Evsel su ayak izi
SA_{gri}	: Gri su ayak izi
SA_{hayvansal}	: Hayvansal su ayak izi
SA_{mavi}	: Mavi su ayak izi
SA_{tarımsal}	: Tarımsal su ayak izi
SA_{yeşil}	: Yeşil su ayak izi
SSM	: Sanal su muhtevası

SSM_{mavi}	: Mavi sanal su muhtevası
$SSM_{toplaml}$	: Toplam sanal su muhtevası
$SSM_{yeşil}$	: Yeşil sanal su muhtevası
T	: Hava sıcaklığı
$TAGEM$	: Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
$TÜİK$	: Türkiye İstatistikleri Kurumu
$USDA$	: Amerika Bileşik Devletleri Toprak Muhafaza Servisi
V	: Verim
WWF	: World Wide Fund
WFN	: Water Footprint Network
u_2	: Rüzgâr hızı
γ	: Psikrometrik sabiti

ŞEKİL ÇİZELGESİ

Şekil 1.1. Su ayak izi bileşenleri.....	8
Şekil 1.2 Bitki su tüketimini etkileyen değişkenler	10
Şekil 1.3. Bitki katsayısı gelişim periyotları	11
Şekil 3.1. Çalışma alanı	21
Şekil 3.2. Çalışma alanına dahil olan ilçeler	21
Şekil 3.3. New_LocClim yazılımı arayüzü.....	26
Şekil 3.4. ArcGIS programının arayüzü	27
Şekil 3.5. Havzalarda kullanılan istasyonlar ve noktasal yağış değerlerinin haritası	28
Şekil 3.6. Etketif yağış hesaplama seçenekleri	29
Şekil 3.7. İklim/ET0 hesaplama seçenekleri	31
Şekil 3.8. Alansal yağış verilerinin girilmesi	32
Şekil 3.9. Bitki karakteristiklerinin girilmesi	32
Şekil 3.10. Toprak verilerinin işlenmesi	33
Şekil 3.11. CROPWAT çıktı ekranı	33
Şekil 3.12. Havzalara dahil olan ilçelerin haritası	36
Şekil 3.13. Su ayak izi metodu akış diyagramı	37
Şekil 4.1. Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarının aylık alansal evapotranspirasyon haritaları	40
Şekil 4.2. Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarının 2008-2018 yılları arası yıllık ortalama alansal yağış haritası	41
Şekil 4.3. Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarının aylık alansal yağış haritaları	42
Şekil 4.4. Havzaların üretim miktarı (a) ve ekilen alan oranları (b)	43
Şekil 4.5. Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarının su ayak izi miktarlarının grafiği ve tablosu	44
Şekil 4.6. Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında kişi (a) ve alan başı (b) toplam su ayak izi miktarları	45
Şekil 4.7. Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarındaki bazı tarımsal ürünlerin sanal su muhtevaları	46
Şekil 4.8. Havzaların ilçe bazında su ayak izi haritaları	47
Şekil 4.9. Havzalardaki en yüksek 24 tarımsal üründen ilk 12'sinin toplam su ayak izleri (milyon m ³)	49
Şekil 4.10. Havzalardaki en yüksek 24 tarımsal üründen son 12'sinin toplam su ayak izleri (milyon m ³)	50
Şekil 4.11. Havzalardaki en yüksek 24 tarımsal üründen ilk 12'sinin toplam sanal su muhtevaları (m ³ /ton).....	52
Şekil 4.12. Havzalardaki en yüksek 24 tarımsal üründen son 12'sinin toplam sanal su muhtevaları (m ³ /ton).....	53
Şekil 4.13. Seyhan havzasındaki ilçelerin mavi ve yeşil (a) ile toplam (b) su ayak izleri	55
Şekil 4.14. Seyhan havzasındaki ilçelerde kişi başına ve alan başına düşen toplam su ayak izleri	55
Şekil 4.15. Seyhan havzasında üretilen tarımsal ürünlerin mavi ve yeşil sanal su muhtevası	56
Şekil 4.16. Ceyhan havzasındaki ilçelerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri	58
Şekil 4.17. Ceyhan havzasındaki ilçelerde kişi başına ve alan başına düşen su ayak izleri	58
Şekil 4.18. Ceyhan havzasında üretilen tarımsal ürünlerin mavi ve yeşil sanal su muhtevası	59

Şekil 4.19. Asi havzasındaki ilçelerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri	60
Şekil 4.20. Asi havzasındaki ilçelerde kişi başına ve alan başına düşen su ayak izleri .	60
Şekil 4.21. Asi havzasında üretilen tarımsal ürünlerin mavi ve yeşil sanal su muhtevası	61
Şekil 4.22. Ekonomik su verimliliği	63
Şekil 4.23. Ekonomik arazi verimliliği	63

TABLO ÇİZELGESİ

Tablo 1.1. Su kıtlığı indeksleri.....	5
Tablo 1.2. Bazı ürünlerin sanal su içerikleri	7
Tablo 3.1. Çalışma havzalarındaki bazı ilçelerin enlem, boylam ve rakım değerleri.....	26
Tablo 3.2. Havzalarda bazı ilçelerin noktasal yağış değerleri	29
Tablo 3.3. Havzalarda su ayak izleri hesaplanan tarımsal ürünler	34
Tablo 4.1. Alansal referans evapotranspirasyon ve alansal yağış tahminlerinin hata oranları	39
Tablo 4.2. Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarının tarımsal su ayak izi miktarları tablosu	44
Tablo 4.3. Seyhan Havzasındaki ilçelerin su ayak izi sonuçları.....	54
Tablo 4.4. Ceyhan Havzasındaki ilçelerin su ayak izi sonuçları	56
Tablo 4.5. Asi Havzasındaki ilçelerin su ayak izi sonuçları.....	58
Tablo 4.6. Havzalardaki bazı tarımsal ürünlerin 2008-2018 yılları ortalama ithalat ve ihracat verileri	61

1. GİRİŞ

Yeryüzünün ve canlıların en önemli kaynağı olan su, yerine başka bir şey ikame edilemeyen en kritik doğal kaynaktır. Bu doğal kaynağa yakınlık ve erişim eski çağlardan beri medeniyetler için büyük bir öneme sahip olmuştur (Ünver, 2016). Tarihler boyunca medeniyetler için suya duyulan gereksinim nüfusun artması, endüstrinin gelişmesi, iklim değişikliğinin yaşanması ve su kaynaklarının aşırı kirlenmesi gibi nedenlerden ötürü günden güne artmaktadır (Meriç, 2004). Bu bağlamda artan su ihtiyacı, sınırlı olan su kaynakları üzerinde ciddi derecede baskı oluşturmaktadır (Solak ve ark., 2019). Mevcut baskının azaltılması noktasında sınırlı su kaynaklarının sürdürülebilir bir yaklaşımla ele alınarak yönetilmesinin sağlanması gerekmektedir (Akyol ve Tolunay, 2011).

Su kaynaklarının akılcı ve bütüncül şekilde korunması, kullanılması ve yönetilmesi kapsamında etkili ve verimli su yönetim politikaları oldukça değerlidir. Su yönetimi politikaları kapsamında sınırlı su kaynaklarının iyileştirilmesi, optimum kullanımının sağlanması, dağıtımı, su haklarının ve su tahsislerinin sağlanması gibi konular bulunmaktadır (Ünlü, 2017). Tüm bu konular bağlamında ulusal ve uluslararası ölçekte suyun tüm paydaşlarla birlikte yöntemi olarak tanımlanan su yönetişimi kavramı ön plana çıkmaktadır (Bilbay, 2020). Su yönetişimi sınırlı su kaynaklarını miktar ve kalite açısından yani nitel ve nicel yönden korunması olarak tanımlanan su güvenliğini sağlamaktadır (Ochqun, 2015). Su güvenliği tarım, mühendislik, çevre bilimi, politika, su kaynakları, ekonomi bilimi, jeoloji, balıkçılık, antropoloji bilimi ve kamu sağlığı gibi konuları geniş yelpazede odaklanarak ele almaktadır (Dışkaya, 2018). Bu bağlamda su güvenliği havza yönetimi, bütünleşik, entegre ve sürdürülebilir su yönetimi gibi kavramlarla yakından ilişkilidir. Havza yönetimi belirli bir su havzasında su kaynaklarının ve diğer çevresel kaynakların (toprak, bitki ve insan) sürdürülebilir kullanımına yardımcı olan etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Yüksek, 2004). Diğer etkili yöntemler olan bütünleşik ve entegre su yönetimi suyu nicel yönden değerlendirilmesinin yanı sıra sosyal, ekonomik ve çevresel yönlerini de kapsamaktadır (Demirel, 2016). Suyun sürdürülebilir yönetimi ise mevcut sınırlı su kaynaklarını ilk önce miktar ve kalitesinin korunması daha sonra gelecek nesillerin kullanımı göz önünde bulundurularak su kaynaklarının tüketilmesinin ve iyileştirilmesinin

sağlanmasıdır (Yıldız, 2019). Bu bağlamda su yönetimleri sınırlı su kaynakları üzerinde son derece ciddi bir öneme sahip olmaktadır.

Su kaynakları üzerinde fiziksel altyapı eksikliği, su kayıplarının fazlalığı, su kirliliğinin artması gibi sorunların yanı sıra etkin su yönetimlerinin uygulanmaması su sorunlarının esas nedenlerini oluşturmaktadır (SUEN, 2014). Bu su sorunları da doğrudan veya dolaylı olarak su krizlerinin yaşanmasına zemin hazırlamaktadır. Su krizi antropojenik faaliyetlerin etkilediği fiziksel, biyolojik, politik, sosyal ve ekonomik gibi etkenlerin yanında çölleşme ve kuraklık gibi iklim değişikliğinin etkileri sonucu oluşmaktadır (Bilbay, 2020). Su krizlerinin ülkelerin suya erişimi ve suyu kullanımı açısından oldukça büyük bir önemi olduğu görülmektedir (Omar, 2019). Bu bağlamda su krizlerinin etkisinin azaltılması için su tasarrufu sağlayan etkili su yönetim planlamaları oluşturularak su farkındalığına dikkat çekilmelidir.

Su farkındalığı kapsamında su yöntemlerine alternatif olarak sanal su, sanal su transferi ve su ayak izi kavramları geliştirilmiştir. Bu kavramlar birbirlerine yakın kavramlar olarak kabul edilmektedir. Sanal su bir mal veya hizmeti üretmek için gereken su hacmi iken su ayak izi bu suyun türünü, nerede ve ne zaman kullanıldığını da göstermektedir (Hoekstra ve Chapagain, 2007). Sanal su transferi ise herhangi bir mal ve hizmetin üretim veya tedarik sürecindeki toplam tüketilen suyun ihracat ve ithalat aracılığıyla transfer edilmesi olarak ifade edilmektedir (Hoekstra ve Hung, 2002). Bu bağlamda sanal su transferi ulusal ve uluslararası ölçekte önem kazanarak ekonomik bir ölçüt haline gelmiştir (Muratoğlu ve ark., 2019). Sınırlı su kaynaklarının dengeli olarak dağılmamasından dolayı sanal su transferlerinin gelecek zamanlarda daha çok dikkate alınacağı öngörülmektedir.

Sınırlı olan su kaynaklarımız yerküremizi %70 oranında çevrelerken bu oranın sadece %0.3'ü kullanılabilen tatlı su formunda bulunmaktadır (DSİ, 2014). Tarım, hayvancılık, sanayi, turizm, ticaret başta olmak üzere başka birçok sektörde kullanılabilen suyun bu tatlı formudur. Az miktarda bulunan tatlı su formu yapılan araştırmalara göre dünyada %90'a varan oranlarda en çok tarım sektöründe kullanılmaktadır (Muratoğlu, 2018). Bu bağlamda tarım sektöründe kullanılan suyun kontrollü, verimli ve etkin kullanımı yanı sıra su ayak izi hesaplamalarının da yapılması oldukça hayati bir meseledir.

1.1. Çalışmanın Konusu ve Amacı

Mevcut çalışma Türkiye’deki Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında tarımsal üretimin mavi, yeşil ve toplam su ayak izi ile mavi, yeşil ve toplam sanal su muhtevasını konu almıştır. Ülkemizde havza ölçekli sanal su ve su ayak izi analiz çalışmaları yok denecek kadar azdır. Su politikalarına yön vermesi açısından ülkemizde havza ölçekli su ayak izi ve sanal su çalışmalarının arttırılması gerekmektedir. Bu çalışmada temel amaç Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında 2008-2018 yılları arasındaki (11 yıllık ortalaması) yağış, iklim, ekilen alan ve üretim miktarlarının ilçe bazında (72 ilçe) verileri kullanılarak havzalardaki tarımsal üretimin (65 tarımsal ürün) mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri ile mavi, yeşil ve toplam sanal su muhtevalarının doğru ve kapsamlı şekilde hesaplanmasıdır. Çalışmada ayrıca havzalarda mavi ve yeşil su ayak izleri yüksek olan ürünlerin belirlenmesi, ürünlerin farklı ilçelerde su tüketimlerinin karşılaştırılması ve bu konuda tavsiyelerde bulunulması, düşük su tüketimleri ile yüksek verimli ürünler elde etmek için alınması gereken tedbirler ve su yönetim çalışmalarına ışık tutulması hedeflenmiştir. Mevcut çalışma su tüketim değeri yüksek olan ürünlerin başka bölgelerde üretimi veya doğrudan ithal edilmesi durumunda sağlanacak faydaları belirleyerek bu konuda yapılan sanal su transferi çalışmalarına yol gösterici bir rol üstlenmesi beklenmektedir. Elde edilen hesaplamalar sonucunda suyun etkili ve verimli kullanılması ile ilgili yapılacak tedbir ve tasarruf çalışmalarına ağırlık verilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu sayede çalışma konusu havzalarda üretilen ürünlerden kaynaklı birim su tüketiminin azaltılarak ülkedeki su varlığının korunabileceği öngörülmektedir.

1.2. Çalışmanın Kapsamı ve Önemi

Su kaynaklarının yönetimi noktasında hidrolojik havza bazlı çalışmalar oldukça önemli kabul edilmektedir (Öztürk ve ark., 2014). Yönetim konusunda hemen hemen bütün hidrolojik havzalarda kritik problemler mevcuttur. Özellikle kurak ve yarı kurak iklime sahip ülkeler için yağış azlığı ve aşırı buharlaşma gibi kritik problemler oldukça önem taşımaktadır. Bundan dolayı havza düzeyinde su ayak izi ve sanal su çalışmaları ülkemizdeki mevcut su kaynaklarının kontrollü kullanılması açısından fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda su ayak izi çalışmalarıyla su ihtiyacı yüksek olan ürünler belirlenerek sanal su transferleriyle su kaynaklarımız kontrol altına alınabilmektedir. Mevcut çalışma ülkemizde su ayak izi ve sanal su muhtevası

konularında havza ölçekli ilk çalışmalardan biri olduğu için önem arz etmektedir. Öte yandan ülkemizde havza ölçeğinde kapsamlı su ayak izi ve sanal su muhtevaları çalışmalarından mevcut veri eksikliği nedeniyle oldukça sınırlıdır. Mevcut çalışmayla Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarının tarımsal üretimde su ayak izi ve sanal su muhtevası yüksek ürünler belirlenerek su yönetimlerine katkı sağlaması beklenmektedir.

1.3. Çalışmanın Yapısı

Bu çalışma aşağıdaki şekilde bölümlere ayrılmıştır. Birinci bölüm teze giriş bölümü olup su, suyun önemi, su yöntemi, su politikalarının önemi, su güvenliği ve su yönetimi hakkında bilgi vermektedir. Giriş bölümünün alt başlıklarında çalışmanın konusu, amacı, kapsamı ve su ayak izi, sanal su, sanal su muhtevası, sanal su transferi ve bitki su tüketimi kavramları detaylı olarak açıklanmıştır. İkinci bölümde ulusal ve uluslararası literatürler detaylı bir şekilde taranarak ulusal ve küresel ölçekteki su ayak izi çalışmaları ile Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarındaki çalışmalar geniş bir şekilde ele alınmıştır. Üçüncü bölüm Seyhan, Ceyhan ve Asi havzaların tarımsal su ayak izi hesabı için gerekli verileri, kullanılan yöntem ve yazılım ile su ayak izi metodu kapsamlı biçimde verilmiştir. Dördüncü bölümlerde elde edilen bulgulara yer verilerek sonuçlar tablolara ve grafiklere dökülmüştür. Son bölüm olan tartışma ve sonuç bölümünde ise mevcut tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar baz alınarak diğer çalışma sonuçlarıyla önemli ölçüde tartışılarak önerilerde bulunulmuştur.

1.4. Tarımsal Su Ayak İzi

Dünya nüfusundaki hızlı artış, yaşanan iklim değişiklikleri, yüksek kentleşme oranları ve tatlı su kaynaklarının kirletilmesi gibi başlıca etkenlerden dolayı küresel bir su krizinin yaşanacağı düşünülmektedir (Şahin, 2016). Buna ek olarak yapılan araştırmalar sonucunda 1950 yılında dünya nüfusunun sadece %3'lük kısmı su stresi çekerken 2025 yılında bu oranın %26'ya çıkacağı ve bu oranın %10'luk kısmının su kıtlığı ile karşı karşıya kalacağı beklenmektedir (Kalaycı, 2013).

Ülkelerin sosyo-ekonomik kalkınmaları su varlıkları ile bağlantılı olduğuna dayanarak bir sınıflandırma ihtiyacı doğmuş olup farklı su kıtlığı sınır değerleri belirlenmiştir. Ülkelere göre değişiklik gösteren bu farklı sınırlamalar bilgi karmaşıklığına ve ortak bir doğruya ulaşılamamasına neden olmuştur. Bu karışıklığın çözümü için referans bir değere ihtiyaç duyulmuştur (Kalaycı, 2013). Bu doğrultuda

belirli göstergeler geliştirilerek ortak sınıflandırmalar yapılabilmesine imkân tanınmıştır. Bu konuda Tablo 1.1’de gösterilen su kıtlığı indeksleri olan Falkenmark Göstergesi ve Shiklomanov Göstergesi en çok tercih edilen indekslerden olmuştur. (Kalaycı, 2013). Tablo 1.1’deki Falkenmark Göstergesine göre su varlığının 1700 m³/kişi/yıl’dan fazla olması durumunda su sıkıntısının olmadığı, 1000-1700 m³/kişi/yıl arasında olması durumunda su stresinin başladığı, 500-1000 m³/kişi/yıl aralığında su sıkıntısının yoğun bir şekilde yaşandığını, 500 m³/kişi/yıl’dan küçük olması durumunda ise yoğun su sıkıntısından dolayı sorunların yaşanacağını ifade etmektedir (Falkenmark, 1989). Tablo 1.1’deki Shiklomanov Göstergesine göre ise su varlığı, 2000 m³/kişi/yıl’dan az olması durumunda çok az, 2000-2500 m³/kişi/yıl arasında az, 5000-50000 m³/kişi/yıl aralığında orta, 50000 m³/kişi/yıl’dan büyük olması durumunda ise yüksek olarak sınıflandırılmıştır (Shiklomanov, 1997). Mevcut durumda Falkenmark Göstergesine göre ülkemizde su baskısının başladığı, Shiklomanov Göstergesine göre de su varlığının çok az olduğu sonucuna varılabilmektedir. Mevcut araştırmalar ışığında ülkemizin su fakiri olan ülkeler sınıfına girmesi kaçınılmaz bir sonuç olacağı öngörülmektedir (Başaran, 2015).

Tablo 1.1. Su kıtlığı indeksleri (Kırtorun ve Karaer, 2018; Shiklomanov, 1997)

Falkenmark Göstergesine Göre Sınıflandırma	Su miktarı (m ³ /kişi/yıl)	Shiklomanov Göstergesine Göre Sınıflandırma	Su miktarı (m ³ /kişi/yıl)
Su baskısı yok	> 1700	Çok az	<2000
Su baskısının başlaması	1000-1700	Az	2000-2500
Yoğun su baskısı	500-1000	Orta	5000-50000
Yoğun su sorunlarının yaşanması	<500	Yüksek	> 50000

Su fakiri ülkeler sınıfına dahil olmak üzere olan ülkemizde sınırlı olan su kaynaklarının büyük bir kısmı gıda güvenliğine bağlı olarak tarım sektöründe kullanılmaktadır. Bu açıdan tarımda kullanılan sudan verimlilik sağlamak gerekmektedir. Kurak ve yarı kurak iklime sahip olan ülkemizde yağışın zaman ve mekan olarak dengeli dağılmamasından dolayı tarımdan kazanılan verimde büyük farklılıklar meydana gelmektedir (Çakmak ve Gökalp, 2013). Ulusal veya uluslararası sanal su transferleriyle bu farklılıklardan yararlanılabilir. Ayrıca tarım sektöründe üretilen ürünlerin su ayak izlerinin mavi ve yeşil bileşenleri dikkate alınarak hangi ürünlerin su kaynaklarımızı tehdit ettiği belirlenebilmektedir. Mevcut kaynakların korunması ve etkin kullanımının sağlanması açısından tarımda kullanılan suyun havza

düzeyinde mavi ve yeşil su ayak izinin analiz edilmesi ülkemizin su yönetim politikalarına katkı sağlaması açısından önemli olmaktadır.

Tarımsal üretimin mavi ve yeşil su ayak izi analizlerinde temel öncelikli parametre tarımsal ürünlerin bitki su tüketimi yani evapotranspirasyon değerleridir. Öncelikle tarımsal ürünlerin su ayak izi bileşenleri olan mavi ve yeşil evapotranspirasyon değerleri efektif yağış ve sulama suyu miktarıyla karşılaştırılarak bitki su tüketimi yani mavi ve yeşil evapotranspirasyon değerleri elde edilmektedir. Daha sonra mevcut çalışma kapsamında ele alınan her bir tarımsal ürünün sanal su muhtevaları ve üretim miktarları dikkate alınarak mavi, yeşil ve toplam sanal su muhtevaları ile mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri belirlenmiştir.

1.5. Sanal Su

Dünya üzerindeki ekonomik faaliyetler dolaylı veya dolaysız olmak üzere suya bağımlı bir şekilde ilerlemektedir. Ülkelerin azalan su varlıkları insanları bu konuda çalışmalar yapmaya teşvik etmiştir (İncecik Ceylan, 2019). Bu bağlamda su kaynaklarının az olduğu ülkelerin su yokluğunun üstesinden gelmesi için 1990'lı yıllarda J.A. Allan tarafından bir ürünün üretimi veya hizmet için gerekli olan temiz su miktarını ifade eden sanal su kavramı ortaya atılmıştır (Allan, 2002). Bu kavram ürünlerin veya hizmetlerin içinde barındırdığı gömülü suyu yani görünmeyen su miktarını ifade etmektedir (Williams ve Al-Hmoud, 2015).

Farklı ürünlerin üretim süreçlerinde Tablo 1.2'de gösterildiği gibi farklı miktarlarda görünmeyen su bulunmaktadır (Anaç ve ark., 2011; Chapagain ve Hoekstra, 2004). Görünmeyen su ifadesi Tablo 1.2'de gösterilen bazı ürünlerin üretim aşamasından tüketim aşamasına gelen kadar kullanılan yağmur suyu veya yer üstü ve yer altı suları ifade etmektedir (Hoekstra, 2002). Bu bağlamda her ürünün sanal su içeriğinin farklılık gösterildiği fark edilmektedir. Bazı ürünlerin Tablo 1.2'deki sığır eti gibi, sanal su içeriği oldukça yüksekken bazı ürünlerin sanal su içerikleri düşük miktarlardır. Bir ürünün sanal su içeriğine bakılarak su isteğine göre hangi bölgede veya ülkede üretilmesinin belirlenmesi, su yönetimine katkı sağlamaktadır (Arabi ve ark., 2012). Bu bağlamda her ürünün sanal su içeriğinin bilinmesi ülkemizde su yönetimi konusunda yöneticilere destek sağlayacağı düşünülmektedir.

Tablo 1.2. Bazı ürünlerin sanal su içerikleri (Anaç ve ark., 2011; Chapagain ve Hoekstra, 2004)

Ürünler	Kahve	Deri	Sığır eti	Çay	Koyun eti	Peynir	Tavuk eti	Yumurta	Hindistan cevizi	Süt
Sanal su içerikleri (m ³ /ton)	17373	16656	15497	9205	6143	4914	3918	3340	2545	990

Ülkelerin veya bölgelerin bazılarında su kıtlığı yani suya olan talebin yüksek olduğu bazılarında ise su bolluğu yani suya olan talebin düşük olduğu bilinen bir durumdur (El-Sadek, 2011). Sanal su kavramının geliştirilmesi ve etkin kullanımıyla bu duruma sanal su transferleriyle ulusal ve küresel su tasarruflarına ve suyun sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır (Chapagain ve Hoekstra, 2003). Sanal su transferi bölgeler veya ülkeler arasında, özellikle de su zengini bölgelerden su fakiri bölgelere sanal su akışını ifade etmektedir (Wang ve Hu, 2015). Buna bağlı olarak sanal su transferleriyle ülkelerin veya bölgelerin yoğun su tüketimine sahip olan ürünleri ithal ve ihraç edilerek birbirlerinin su gereksinimleri giderilmeye çalışılmıştır (Mohammadi-Kanigolzar ve ark., 2014). Dolayısıyla ülkelerin ürün veya hizmeti için daha düşük tüketim değerlerine sahip olan bölgelerden ithal etmesi durumunda hem daha ekonomik olacağı hem de eldeki su varlığının korunacağı öngörülmektedir.

1.6. Su Ayak İzi

Sanal su kavramına benzer şekilde ortaya atılan su ayak izi kavramı ilk kez Arjen Hoekstra öncülüğünde kullanılmaya başlanmıştır (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Bu kavram tek boyutlu bir gösterge olan sanal su kavramı gibi sadece su hacmini göstermemektedir (Turan, 2017). Su hacmiyle birlikte suyun türünü, nerede ve nasıl kullanıldığını da belirtmektedir (Muratoğlu, 2018). Bu bağlamda su ayak izi çok boyutlu bir parametre olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte su ayak izi en genel ifade ile doğrudan kullanılan su dışında, dolaylı olarak tüketilen suyun da hesaba katılmasını öngören bir kavram olarak geleneksel yöntemlerden farklı olarak ele alınmaktadır (Dumont ve ark., 2013). Terim olarak su ayak izi bir mal ve hizmetin üretiminden son tüketiciye ulaşana kadar (tedarik zinciri boyunca) tüketilen toplam su miktarı olarak tanımlanmaktadır (Mekonnen, 2011). Su ayak izi toplam su miktarını belirlemenin yanı sıra suyun kullanım ve kalitesine göre kullanılan suyun türünü de göstermektedir (Muratoglu, 2020a). Kullanılan suyun nitel ve nicel özellikleri değerlendirilerek Şekil 1.1’de gösterildiği gibi mavi su ayak izi, yeşil su ayak izi ve gri su ayak izi olmak üzere üç bileşene ayrılmıştır.



Şekil 1.1. Su ayak izi bileşenleri

Mavi su ayak izi bir ürünün veya hizmetin üretim aşamasından tüketiciye ulaşana kadar kullanılan yüzey veya yer altı sularını ifade etmektedir. Yüzey ve yer altı suları sınırlı su kaynakları olarak kabul edildiği için kullanılan mavi su miktarının fazla olması sınırlı su kaynaklarını tehdit etmektedir. Öte yandan mavi su kullanımını sağlamak için sulama şebekeleri, işletme ve bakım giderleri gibi maliyetler olduğundan dolayı mavi su kullanımı masraflı olmaktadır (Engin, 2019). Yeşil su ayak izi bir ürünün veya hizmetin üretim aşamasında kullanılan yağmur suyu miktarını belirleyen bir kavramdır. Bu bağlamda yeşil su yalnızca tarımsal üretimde kullanılırken mavi suyun kullanımı daha geniş kapsamda olmaktadır. Ayrıca yeşil su sadece toprak nemi olarak bulunan yağmur suyu olduğundan yeşil suya erişim mavi suya erişimden daha kolay olmaktadır (Avanoz, 2020). Bu bağlamda hem ekonomik olarak hem de kaynakları korumak için mavi su ayak izi ve yeşil su ayak izi kullanımına dikkat edilmelidir. Gri su ayak izi ise bir ürünün veya hizmetin üretimi sonucu meydana gelen kirliliğin elimine edilmesi için harcanması gereken su miktarını belirtmektedir (Muratoglu, 2020b). Kirlilik göstergesi olarak kabul edilen gri su ayak izi ile ilgili mevcut veriler eksik ve yetersiz olup gri su ayak izi toplam su ayak izi miktarı içerisinde düşük bir orana sahip olduğu tespit edilmektedir (Muratoğlu, 2018). Bu bağlamda tarımsal su ayak izi analizleri yapılırken bölgenin gri su ayak izinin ihmal edilerek mavi ve yeşil su ayak izlerinin toplamı yeterli olacaktır (Hoekstra ve ark., 2011; Muratoğlu, 2018). Dolayısıyla mevcut çalışmada su ayak izi tahmininde bulunurken mavi ve yeşil su ayak izlerinin toplamı hesaplanarak gri su ayak izi göz ardı edilmiştir.

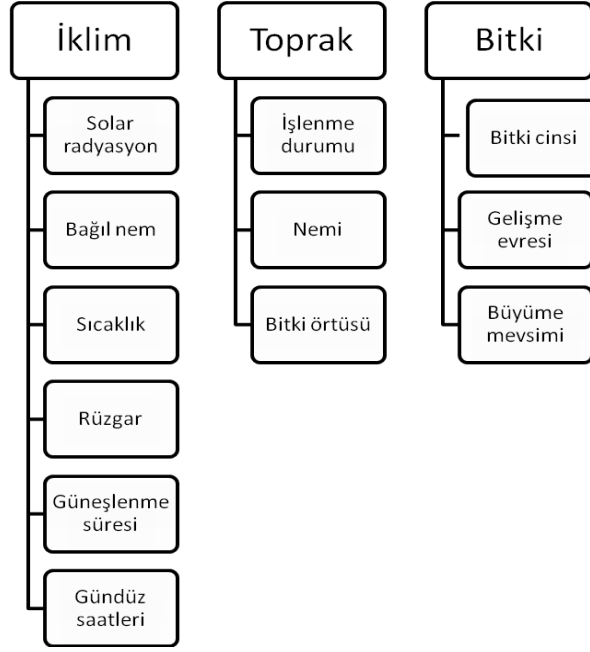
1.7. Bitki Su Tüketimi (Evapotranspirasyon)

Buharlaşma (evaporation) ve terleme (transpiration) kelimelerinden türetilen bitki su tüketimi yani bitkisel evapotranspirasyon (ET_C) bitkinin buharlaşma ve terleme yolu ile kaybettiği toplam su miktarını ifade etmektedir. Toprak yüzeyinden buharlaşma yolu ile daha fazla su kaybeden bitkinin zamanla büyüyen gövdesinin toprağı gölgelemesi sonucu terleme yolu ile kaybettiği su miktarı artış göstermektedir (Dagdelen, 2015). Bitkinin ekim döneminde oluşan bitkisel evapotranspirasyonun (ET_C) %100'ü buharlaşmadan meydana gelmektedir. Bitkinin olgunlaşma döneminde ise bitkisel evapotranspirasyonun (ET_C) %90'ından fazlası terleme sonucu oluşmaktadır (Allen ve ark., 1998).

Referans Evapotranspirasyon (ET_0) ise boyu 12 cm, yüzey direnci 70 s/m, yansıtabilirliği 0.23 gibi ortalama değerlere sahip çim bitkisinin su tüketim değerlerinin referans kabul edilmesidir (Dagdelen, 2012). Referans evapotranspirasyon (ET_0) yalnızca iklimsel değişikliklerden etkilendiğinden hava verileri kullanılarak da elde edilebilmektedir. Çalışma alanı üzerinde belirli bir zaman diliminde atmosferin buharlaşma gücünü gösteren referans evapotranspirasyon (ET_0) hesabı için en çok önerilen yöntem Penman-Monteith metodudur (Kırtan, 2019). Ayrıca Denklem 1.1'de gösterildiği gibi her bir bitkinin su tüketimi (ET_C) referans evapotranspirasyon (ET_0) değerinin, bitki katsayısı (K_C) ile çarpılması sonucu elde edilmektedir (Allen ve ark., 1998).

$$ET_C = ET_0 \times K_C \quad (1.1)$$

Şekil 1.2'de gösterildiği gibi bitki su tüketiminin etkileyen belirli parametreler bulunmaktadır. Bitki su tüketimi solar radyasyon, sıcaklık, rüzgâr, güneşlenme süresi, gündüz saatleri gibi faktörlerle doğru orantılı olarak artmaktadır. Ancak bağıl nemin artmasıyla azalmaktadır. Toprak yüzeyindeki nem miktarı arttıkça buharlaşma miktarı da artmakta ve dolayısıyla bitki su tüketiminde de artış gözlenmektedir. Bitkinin gelişmesiyle su tüketimi artıp toprak yüzeyindeki buharlaşma azalmaktadır (Dagdelen, 2015).



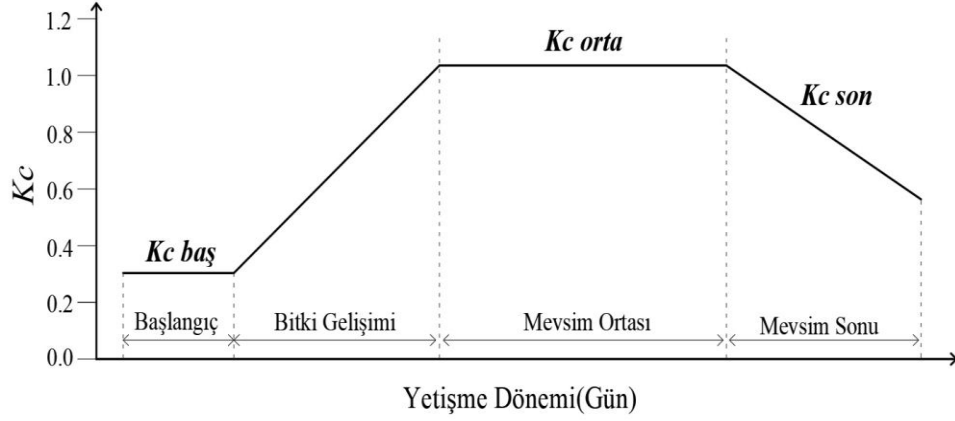
Şekil 1.2 Bitki su tüketimini etkileyen değişkenler

1.8. Bitki Karakteristikleri

Bitki katsayısı (K_C), standart şartlar altındaki bitki su tüketimi (ET_C) değerinin referans bitki su tüketimine (ET_0) oranı olarak Denklem (1.2) ile elde edilen boyutsuz bir parametredir (Jensen, 1968). Bu katsayı bitki su tüketimine (ET_C) bağlı olduğundan yaşanan iklimsel değişikliklerden bitkisel evapotranspirasyon (ET_C) ile doğru orantılı bir şekilde etkilenmektedir (TAGEM, 2017). Her bir bitki katsayısı (K_C) deneysel olarak hesaplanarak her bir bitkinin fizyolojik yapısını, örtü kalınlığını ve yetiştiği bölgeyi yansıtmaktadır (Karaca ve ark., 2017). Bu bağlamda bitki katsayısı (K_C) değerleri her bitki için farklı olmaktadır. Ayrıca bitki katsayısı (K_C) değerleri bitkinin gelişiminden kaynaklı günlük olarak da değişiklik göstermektedir.

$$K_C = \frac{ET_C}{ET_0} \quad (1.2)$$

Bitki katsayılarının belirli sürelerle göre tanımlanmasıyla Şekil 1.3'te gösterildiği gibi bitki katsayı eğrileri oluşmaktadır (Kaya, 2010). Su tüketimi tahminlerinde bulunurken yapılacak hesaplamaların kolaylaştırılması amacıyla K_C değeri bitkinin dört farklı gelişim dönemi için genelleştirilmiştir (TAGEM, 2017):



Şekil 1.3. Bitki katsayısı gelişim periyotları (TAGEM, 2017)

- **Başlangıç dönemi:** Tek yıllık bitkilerde ekim veya dikim işlemi ile başlayıp toprağın örtünmeye başlaması ile sona eren, ağaçların ise yaprak tomurcuklanması ile başlayıp yaprakların belirginleşmesi ile sona eren dönem olarak kabul edilmektedir. Bu dönemde K_C değerinin sabit olduğu kabul edilmektedir.
- **Gelişme dönemi:** Bitkinin başlangıç dönemi ile gelişiminin sona ermeye başladığı dönemi kapsamaktadır. K_C değerinin gün geçtikçe arttığı varsayılmaktadır.
- **Orta dönemi:** Bitkinin gelişme döneminin sona ermesiyle başlayan ve yapraklardaki ilk yaşlanma belirtisiyle son bulan dönemdir. Çiçeklenme, olgunlaşma meyve verme gibi özelliklerin yaşandığı evredir. Bu evrede K_C değerinin sabit olduğu kabul edilmektedir.
- **Son dönem:** Orta dönemin bitmesiyle başlayıp hasat dönemi ile son bulan dönemdir. Yaprakların dökülmesi, yeşil rengin azalması gibi olayların yaşandığı evrede K_C değerinin gün geçtikçe azaldığı kabul edilmektedir.

1.9. Efektif Yağış ve Sulama Suyu

Tarımsal üretimin sağlanması için sulama suyu kullanımı, tarımsal ürünlerin evapotranspirasyonu (ET) belirleyen iklim parametrelerinin ve yağıştan gelen su miktarının etkileşimine bağlıdır (Ali ve Mubarak, 2017). Yağıştan gelen suyun doğrudan veya dolaylı olarak tarımsal ürünler tarafından faydalı şekilde kullanılan kısmı efektif yağış (P_{EFF}) olarak ifade edilmektedir (Adnan ve Khan, 2009). Doğal olarak yeryüzüne düşen yağışlar insan ve hayvanların yanı sıra tarımsal üretim için de

oldukça önemli katkılar sağlayabilmektedir (Patwardhan ve ark., 1990). Bu bağlamda tarımsal ürünlerin tüketimi amacıyla gereksinimlerinin sağlanması için oldukça öneme sahiptir. Efektif yağış (P_{EFF}) yağmur suyu olduğu için su ayak izi bileşenlerinden yeşil su ayak izinin hesabında kullanılmaktadır (Avanoz, 2020). Bitki su tüketim miktarı (ET_C) ile efektif yağış (P_{EFF}) miktarının karşılaştırılarak birbirine eşit veya bitki su tüketiminin büyük olması durumunda yeşil su ayak izi efektif yağışın tamamına denk gelmektedir (Muratoglu, 2020a).

Sulama suyu tarımsal ürünlerin gelişebilmeleri ve üretilebilmeleri amacıyla gereksinimleri olan zamanda ve miktarda sağlanması gerekmektedir (Çakmak ve Aküzüm, 2006). Tarımsal ürün çeşitliliğine göre değişen sulama suyu ihtiyacı tarımsal ürünlerin yağmur sularıyla elde edilemeyen su ihtiyacını belirtmektedir (Engin, 2019). Bu bağlamda su ayak izi bileşenlerinden mavi su ayak izine karşılık gelmektedir. Mavi su ayak izi miktarını bitki su tüketimi (ET_C) ve efektif yağış (P_{EFF}) miktarları belirlemektedir. Bitki su tüketiminin efektif yağıştan küçük olması durumdan tarımsal ürünlerin yağışlarla üretilebileceğinden dolayı yani tarımsal ürünlerin sulanmaya ihtiyacı olmayacağından dolayı sıfır alınabilmektedir. Aksi halde mavi su ayak izi bitki su tüketimi ile efektif yağış miktarları arasındaki değerlere karşılık gelmektedir (Muratoğlu, 2018).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Küresel Ölçekli Çalışmalar

Ameri ve ark. (2014) tarafından çalışma yaptıkları bölge olan İran için tarım sektörü büyük bir önem arz etmektedir. Dolayısıyla fazlasıyla çalışma yapılan bu alanda mevcut çalışma kapsamında 34 önemli tarım ürününün su ayak izi tahminlerinde bulunularak sanal su miktarları hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken 2001-2008 yılları arasındaki verilerden faydalanılmıştır. Çalışma sonucunda yaklaşık 12.7 milyar m³ su ithalatı yaparak ülkenin su varlığını belli miktarda koruduğu görülmüştür. Su ayak izinin küçültülmesi için ürün etiketlerinde teşvik edici bilgilerin olmasının gerektiği söylenmektedir. Mekonnen ve Hoekstra (2010b) tarafından yapılan mevcut çalışmada buğday üretiminin su ayak izi, buğday bitkisinin buharlaşma miktarını verime oranlanarak hesaplanmıştır. Hesaplama için gerekli olan datalar 1996-2005 yılları bitki üretim istatistikleri Bileşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'ünden alınmıştır. Hesaplama sonucu buğdayın su ayak izi 1088 Gm³ olarak tahmin edilmiştir. Bu miktarın %70'i yeşil su ayak izi, %19'u mavi su ayak izi, %11'i ise gri su ayak izine ait olduğu görülmüştür. Buğday üretimi için gerekli yeşil su ayak izinin mavi su ayak izine kıyasla çok daha büyük olduğu görülmüştür. Tandon ve ark. (2014)'nın yaptığı çalışmada Hindistan'da bir litre şişe suyun üretimindeki su ayak izi tahmininde bulunmuşlardır. İki farklı veri toplama şekli sekiz ayrı su üretim tesisinden veriler toplanmıştır. Malzeme üretimi, nakliye ve işleme gibi süreçlerde tüketilen suyun hesaplanması sonucu bir litrelik şişe suyun sanal su içeriğini 17.41 litre olarak hesaplanmıştır. Arabi ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada, İran'ın 2005 ve 2006 yılında tarımsal üretimin su ayak izi tahmin edilerek karşılaştırma yapılmıştır. Hesaplama, seçilen 31 farklı tarım ürünü için yapılmıştır. Ürünlerin net su ihtiyacı m³/ton bazında FAO'nun Penman-Monteith denklemine göre hesaplanmıştır. Çalışma sonucu 2005 yılında 103.6 Gm³ olan tarımsal su ayak izinin, 2006 yılında 110.2 Gm³'e yükseldiği görülmüştür. Ancak yapılan su ithalatı çalışmaları sonucu artan su ayak izine rağmen ülkede 20,78 Gm³'lük bir iç su kaynak tasarrufu sağlanmıştır. Sonuç olarak su ayak izi ve sanal su ticareti gibi konularda yapılan çalışmaların arttırılarak büyük su tasarrufları yapılabileceği yorumu yapılmıştır. Mekonnen ve Hoekstra (2010a) yaptıkları çalışmada 1996-2005 yılları arasındaki verileri kullanarak sekiz kategoriye ayrılmış çiftlik hayvanlarının su ayak izlerini tahmin ederek değerlendirmişlerdir.

Çalışma sonucunda sığır etinin 15,400 m³/ton'luk değer ile çok yüksek bir su ayak izine sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi sığırların daha fazla yem tüketmesidir. Bu değer ile kalori bazlı karşılaştırıldığında sığır etinin, tahıl ve nişastalı ürünlerden 20 kat daha büyük bir su ayak izine sahip olduğu görülmüştür. Dünya genelinde hayvan üretimi için gerekli olan 2.422 Gm³'lük su miktarının üçte biri sığır üretimi için kullanılmaktadır. Hayvansal üretimde otlatmaya olan ihtiyaçtan dolayı hesaplanan yeşil su ayak izinin mavi ve gri su ayak izine göre çok yüksek olduğu görülmüştür. Omar (2019) yaptığı çalışmada su ayak izini eleştirel bir yaklaşımla ele alarak kuraklık ve su kıtlığının yaşandığı bir ülke olan Libya'da üç farklı metot ile araştırma yapmıştır. Birincisi deneyimli çiftçiler ile yapılan anket çalışması, ikincisi resmî kurumlarla yapılan görüşmeler, üçüncüsü ise yapılan su ayak izi hesaplamaları referans almıştır. Ülkede tüketilen suyun ortalama %85'i tarım sektörüne ait olduğundan mevcut çalışma da bu alanda yapılmıştır. 2001-2009 yılları arasındaki verileri kullanarak ülkenin iç su ayak izi 19 milyar m³, dış su ayak izi (ithal edilen ürünler) 6-12 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler sonucunda ülkenin dış su ayak izinin küçük olduğunun ve iç su ayak izine göre hesabının göz ardı edilebileceği yorumu yapılmıştır.

2.2. Ulusal Ölçekli Çalışmalar

WWF (2014) Türkiye'de üretimin ve tüketimin su ayak izinin kapsamlı bir şekilde anlatıldığı raporda su ayak izi göstergesinin önemini vurgulanarak su ayak izinin azaltılması yönünde yapılacak uygulamalar anlatılmıştır. Çalışma WFN'nin 1996-2005 yılları arasında hesaplanan verileri kullanarak yapılan çalışma sonucu üretimin ve tüketimin su ayak izi sırasıyla 139.6 milyar m³ ve 140.2 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Ülkedeki toplam su ayak izinin %89'unun tarım sektörüne ait olup yapılacak su ayak izi çalışmalarının da öncelikli olarak bu alanda yapılmasının gerekliliği görülmüştür. Muratoglu (2021) tarafından yapılan çalışma ülkemizde ilk kez kapsamlı bir şekilde su ayak izinin temel kavramlarını ve metodolojisini işleyerek tanımları, bileşenleri ve hesaplama süreçlerini detaylı bir şekilde sunan bir ansiklopedi niteliğinde bir çalışma olup ürünlerin, süreçlerin ve bölgelerin su ayak izi analizlerine yol göstereceği ön görülmektedir. Muratoglu (2020)'nun yaptığı çalışmada ülkemizde 2008-2019 yılları arasındaki veriler kullanılarak buğday ürününün üretiminin ve tüketiminin su ayak izi bileşenleri ve sanal su ticareti değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre buğday üretiminin ve tüketiminin su ayak izleri sırasıyla 39.3 ve 48.1

Gm³/yıl olarak tespit edilmiştir. Ülkemizde üretilen buğdayın mavi ve yeşil sanal su içerikleri ise sırasıyla 1161 ve 748 m³/ton olduğu ve ayrıca uluslararası buğday ticaretinden kaynaklanan küresel sanal su açığının 1.76 Gm³/yıl olduğunu belirtmiştir. Muratoglu (2020b) yaptığı çalışmada ülkemizde 2007-2011 yılları arasında il ölçeğinde (81 il) ve hidrolojik havza bazında (25 hidrolojik havza) nitrat yükleri ve gri su ayak izi miktarlarını belirleyerek su kirliliği seviyesi değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ülkemizde gri su ayak izi tarım arazisi başına 114 mm/ha, kişi başına 340 m³/kişi ve ortalama 24.7 Gm³/yıl olarak saptanmıştır. Analizler sonucunda ulusal ve uluslararası su kirliliği azaltmak için yapılan çalışmalara katkı sağlayacağı ön görülmektedir. Muratoğlu (2020) yaptığı çalışmada Diyarbakır ilinin 2008-2019 yılları arası tarım, hayvancılık, endüstriyel üretim ve evsel tüketimden kaynaklı oluşan mavi ve yeşil su ayak izlerini Hoekstra ve ark. (2011) tarafından geliştirilen su ayak izi metodu kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmaya konu olan 11 yıllık dönem için ortalama 3.4 milyar m³'lük bir su ayak izi tahmininde bulunulmuştur. Hesaplanan bu su ayak izi hacmin %86'sının tarım üretime ait olduğu görülmüştür. Mavi su tüketiminin kurak dönemde sulak döneme göre iki katına kadar yükselebildiği ve dolayısıyla bölgede mavi su ayak izinin düşürülmesi ile ilgili çalışmalar yapılmasının ve tarımsal su politikalarının geliştirilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır. Ayrıca elde edilen verilerin yapılacak olan çalışmalara büyük katkı sağlayacağını ön görülmüştür. Avanoz (2020) tarafından yapılan çalışma ilk kez ülkemizde ulusal ölçekte tarımsal üretimin su ayak izi kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada ülkemizde 2008-2018 yılları arasında üretimi yapılan 97 tarımsal ürünün mavi ve yeşil su ayak izi bileşenleri incelenip sırasıyla 59.84 milyar m³ ve 47.01 milyar m³ olduğu saptanmıştır. Gri su ayak izinin tarımsal üretime etkisinin düşük olduğu göz önüne alınarak bu çalışmada ihmal edilmiştir. Ayrıca ülkemizde üretilen önemli ürünlerin sanal su muhtevaları da hesaplanarak uluslararası ticarete katkı sağlanacağı ön görülmüştür. Alper (2015) yaptığı çalışmada 2008-2013 yılları arasında dünyadaki pamuk üretim verilerini ele almıştır. Mevcut veriler ışığında pamuk için dünyadaki mavi su ayak izinin yeşil su ayak izinden büyük olduğu sonucuna varmıştır. Ülkemizde pamuk üretimi için karşılaştırma yaptığı iller arasında 5.13 ton/ha ile en yüksek verime ve en düşük su ayak izine sahip olan ilin Adana olduğu görülmüştür. Her bir ürün için su ayak izi tahminlerine bakılarak uygun bölge seçimi ile %14-%23 arası bir su tasarrufu elde edilebileceğini söylemiştir. Başoğlu Acet (2017)'in yaptığı çalışmada 1961-2013 yılları arasındaki diyet senaryoları kullanılarak 2050 yılı için diyet senaryoları tahmininde

bulunulmuştur. Türkiye’de 2013 yılı su ayak izi 1526 m³/kişi olarak hesaplanmıştır. Mevcut çalışmada kullanılan diyet senaryosu ile oluşturulan diyetin su ayak izi 1.13 L/kcal hesaplanmıştır. Akdeniz Diyet önerilerinden faydalanılarak hazırlanan diyet senaryosu ile sağlık açısından ikinci sırada yer almakta ve daha düşük sera gazı emisyonuna, su ayak izine sahip olmuştur. Bu değer ile AB standartlarından en az %20 daha düşük bir oran yakalandığı söylenmektedir. Ancak oluşturulan diyet senaryosuna rağmen 2050 yılı için su tüketiminin %0.7 seviyelerinde bir artış ön görülmektedir. Şahin (2018) tarafından yapılan çalışmada Dünya, Türkiye ve Antalya bazında 20 tarım ürününün su ayak izi ve on tarım ürünün sulama suyu ihtiyacı karşılaştırılmış ve ilk kez turizm sektörünün dolaylı ve doğrudan su ayak izi hesaplanmıştır. Turizm işletmesi olarak seçilen konaklama tesisinin doğrudan ve dolaylı (yiyecek, içecek ve elektrik) su ayak izinin toplamı 11900 litre/geceleme olarak tahmin edilmiştir. Çankaya (2019)’nın Bor çelik atık su arıtma tesisinde yaptığı çalışmada tesisin su ayak izinin %71’ini gri su ayak izi, %29’unu mavi su ayak izinin oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan değerlendirmede yeşil su ayak izinin miktarının (%0,35), Morera ve ark. (2016) tarafından da belirtildiği gibi ihmal edilecek seviyede olduğu görülmüştür. Bu çalışma sonucunda da su ayak izinin, su ile ilgili risk değerlendirmeleri ve su yönetimi için çok önemli bir gösterge olduğu sonucuna varılmıştır. Turan (2017) yaptığı çalışmada, su ayak izinin tatlı su kaynakları üzerine olan ilişkisini incelemiştir. Türkiye’de üretimin su ayak izi yaklaşık olarak 139.6 milyar m³/yıl, tüketimin su ayak izi 140.2 milyar m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ancak et, süt, şeker ve pamuk gibi tatlı su ihtiyacı yüksek olan ürünlere olan talepten dolayı su ayak izleri giderek artmaktadır. Bu bağlamda yazar su kaynaklarının korunması amacıyla karar vericiler, iş dünyası temsilcileri ve bireyler tarafından gerekli olan tedbirlerin bir an önce alınmasının gerekliliğinin vurgulamaktadır. Erdoğan (2019) Türk Mutfağı kültüründe bulunan yemeklerdeki besinlerin sera gazı emisyonunu ve su ayak izini hesaplamıştır. 284 yemek çeşidinin 13 farklı grupta incelendiği çalışmada büyük parça et yemeklerinin 3.379 CO₂ eşdeğeri/kg değer ile en yüksek sera gazı emisyonuna sahip olduğu görülmüştür. En yüksek su ayak izine sahip yemek grubunun ise 1.1303 m³/ton değeri ile kebaplar olmuştur. Toplam tüketim içerisinde %20-30’luk bir orana sahip olan besin tüketiminin su ayak izinin küçültülmesi amacıyla yapılan diyet programlarının önemi vurgulanmıştır. Elde edilen verilerle hazırlanacak programlara katkı sağlayacağını öngörülmüştür. Soytürk (2019) yaptığı çalışma ile toplumların mevcut su tüketimlerini devam ettirmeleri halinde 2050 yılında karşılaşılabilecek senaryoları göstermeye çalışmıştır. Çalışmasını yaparken konu

ile ilgili yapılan çalışmalardan, kitaplardan ve diğer kaynaklardan faydalanarak sonuçlar çıkarmıştır. Nüfus artışı, ekonomik büyüme, tüketim tercihleri, teknolojik faaliyetler gibi etkenler sonucunda dört farklı senaryo belirlemiştir. Bu senaryolara göre 2050 yılında üretim ve tüketimden kaynaklı su ayak izinin %30'a varan oranlarda artabileceği ön görmüştür. Bu sebeple su ayak izi ile ilgili farkındalık eğitimlerinin ve üretim kaynaklı oluşan su ayak izinin küçültülmesi ile ilgili teşvik çalışmalarının gerekliliğini vurgulamıştır. Kayhan (2020) yaptığı çalışmada Eşen Çayındaki alabalık çiftlik işletmesinde doğrudan ve dolaylı su ayak izi hesaplarını Su Ayak İzi Ağı yöntemiyle analiz etmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla 1,345 m³/ton ve 1,898 m³/ton olarak tahmin etmiştir. Dolaylı su ayak izini 398 m³/ton'u elektrikten ve 1,500 m³/ton'u ise besinden elde edildiği saptanmıştır.

2.3. Havza Ölçekli Çalışmalar

Muratoğlu (2018) yaptığı çalışmada ürünlerin evapotranspirasyon değerinin hesaplayarak Dicle Havzası'nın mavi ve yeşil su ayak izlerini tahmin etmiştir. Hesaplamalar için bölgenin 11 yıllık (2008-2018) dataları kullanılarak elde edilen veriler CROPWAT yazılımı (Penman-Monteith yöntemi) ile işlenmiştir. Havzada en çok üretimi gerçekleştiren tarım ürünleri olan buğday, fıstık, mercimek, mısır, pamuk ve üzüm değerlendirmeye alınmıştır. Hesaplamalar sonucunda havzanın yıllık su ayak izi miktarı 6.6 milyar m³ olarak tahmin edilmiştir. Bu değer yaklaşık olarak %77'sinin tarımsal su ayak izine ait olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda benzer çalışmaların bölgelerdeki su ayak izinin en büyük birleşenin tarımsal su ayak izi olduğu görüşünü destekleyici bir sonuç olmuştur. İraz (2021) tarafından yapılan çalışmada ilk kez ulusal ölçekli havza bazında su ayak izinin detaylı analizi yapılmıştır. Çalışmada Fırat Havzasında 2008-2019 yılları arasında tarımsal, hayvansal, endüstriyel ve evsel su ayak izlerinin mavi, yeşil ve gri bileşenleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre Fırat Havzasının toplam su ayak izi 28.01 milyar m³ olup bu miktarın %90'ının tarımsal su ayak izinin oluşturduğu saptanmıştır. Havzanın hayvansal su ayak izi 2.51 milyar m³ olarak tespit edilirken en düşük su ayak izi miktarına sahip evsel ve endüstriyel su ayak izi ise 0.51 milyar m³ olarak tespit edilmiştir. Tingting ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada Çin'de bulunan Dianchi Gölü Havzası'nın su ayak izini tahmin etmişlerdir. 2000-2011 yılları arasında yapılan çalışmada ürün miktarlarının sanal su içerikleri çarpılması sonucu havzanın su ayak izi 2.818 milyar m³/yıl olarak tahmin edilmiştir.

Elde edilen miktar değerlendirildiğinde su ayak izinin %74.1'i tarımsal üretime ait olduğu görülmüştür. Tarımsal üretimde 169 m³/ton değeri ile en yüksek su ayak izine sahip ürün buğday olmuştur. Çalışma sonucunda yüksek iç su ayak izi değerinin ve tarımsal üretimden kaynaklı oluşan su baskısının azaltılması için çalışmalar yapılmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Tarımsal üretimdeki ekim ve dikim işlemlerinin yapısının incelenerek değişikliğe gidilmesinin tasarruf çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Novoa ve ark. (2019) tarafından Şili'de bulunan Cachapoal Nehri Havzası'nda tarımsal su ayak izi Hoekstra ve ark. (2011) tarafından geliştirilen su ayak izi metodu kullanılarak sürdürülebilirliği incelenmiştir. Sonuç olarak su ayak izinin sürdürülebilirliği açısından su kaynaklarının verimli şekilde kullanılmasının gerekliliğinden söz edilmiştir. Ding ve ark. (2019) Heilongjiang bölgesindeki bitkisel üretimin su ayak izi hesaplamışlardır. 13 farklı bitkinin su ayak izinin tahmin edildiği çalışmada çimen bitkisinin en yüksek su ayak izine sahip olduğu görülmüştür. Çalışma konusu bitkilerin su tüketimleri incelendiğinde yeşil su tüketimlerinin mavi ve gri su tüketimlerine oranla daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. D'Ambrosio ve ark. (2018)'nin yaptığı çalışmada Celone Havzası'nda tarımsal üretimin su ayak izini hesaplanmıştır. Bitki su tüketimi incelendiğinde en yüksek tüketimine sahip ürünün domates olduğunu belirtilmiştir. Havzada 79.9 milyon m³/yıl olan su ayak izi değerinin %69.2'si gri su ayak izinin oluşturduğunu saptamıştır. Sonuç olarak gri su ayak izini düşürmek için yapılacak çalışmalara ve su kullanımının sürdürülebilirliği açısından bölgeye uygun olan tarım ürünlerinin seçimi için karar vericilere çalışmasının büyük katkı sağlayacağını öngörmektedir.

2.4. Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarında Yapılan Çalışmalar

2.4.1. Seyhan havzasında yapılan çalışmalar

Gürkan (2005) yaptığı çalışmada Seyhan havzasındaki iklim değişikliklerinin yüzeysel su kaynaklarına olan etkisini araştırmıştır. Sıcaklık ve yağış parametrelerini değiştirerek iki farklı senaryoyu matematiksel bir modelleme vasıtasıyla gerçekleştirmiştir. Sıcaklığın artması yüzey sularını doğrudan etkilediği görülmüştür. Havzada bitki su ihtiyacının büyük bir kısmı yüzey sularından karşılandığından bu durumun büyük sorunlara yol açabileceğini ifade etmektedir. Dolayısıyla tarımsal sulama ilgili tasarruf çalışmalarının öncelikli olarak yapılmasının gerekliliğini vurgulamıştır. Kuzucu (2016) yaptığı çalışmada Seyhan havzasının 40 yıllık kuraklık

analizini Kriging metodunu kullanarak yapmıştır. Çalışma yılları arasında aşırı kuraklığın yaşanmış olduğu havzada toprağın aşırı nem kaybettiği gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda oluşan tarımsal kuraklığın önlenmesi amacıyla yapılacak olan tarımsal kuraklık analizlerinin önemini vurgulamıştır. Ayrıca yazar Seyhan havzasının içinde bulunduğu Akdeniz Bölgesinin, küresel ısınmaya karşı en hassas ve savunmasız bölge olduğunu belirtmiştir. Dolayısıyla havza ile ilgili iklim değişikliği ile ilgili olan çalışmalara önem verilmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. Sönmez Erdoğan (2019) yaptığı çalışmada Seyhan Havzası'nda tarımsal üretim üzerindeki çevresel faktörleri ve çevresel risk süreçlerini değerlendirmiştir. Gerekli olan datalar Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'nin yardımıyla elde edilmiştir. Yaptığı çalışma sonucunda tarım alanlarının yanlış kullanıldığı sonucuna varmıştır. Çiftçilerin tarımsal bilgi eksikliği sonucu yapılan yanlış zirai uygulamaları toprağın tahrip olmasına neden olduğunu görmüştür. Havza ile ilgili tarımsal yönetim planlarının yapılarak bu sorunların önüne geçilmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. Keskiner ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada Seyhan Havzası'nın iki ve on yıl periyotlu kuraklık haritalarını oluşturarak riskli olan bölgeleri belirlemişlerdir. Analizler için gerekli olan veriler 41 farklı meteoroloji istasyonundan elde edilmiştir. Çalışma sonucunda havzada on yılda bir 'Şiddetli Kuraklık' eşik değerine yakın bir düzeyde 'Orta Düzey Kuraklık' beklendiği söylenmektedir. Kuraklığın zamanla geniş bir alana yayılacağı öngörülmüştür. Şen ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada Seyhan Havzası'nda iklim değişikliklerinin tarımsal su kullanımına olan etkilerini incelemişlerdir. Havza ile ilgili geçmiş yılların verileri kullanılarak 2071-2100 yılları arasında olası bir senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryoda sıcaklık değerinde ortalama 3.2°C ile 4.6°C arasında bir artış oluşacağı ve yağış değerinde ortalama 15-254 mm arasında bir azalma oluşacağı varsayılmıştır. Bu değişimlerden etkilenecek olan başlıca alanın tarım sektörü olduğunu dolayısıyla yapılacak olan uyum stratejilerinin öncelikli olarak bu alanda yapılmasının gerekliliğinden söz edilmiştir. Bu bağlamda yapılacak olan çalışmaların havza ölçekli olarak yapılmasıyla daha etkin sonuçlar elde edilebileceğini savunmuşlardır.

2.4.2. Ceyhan havzasında yapılan çalışmalar

Korkut (2008) yaptığı çalışmada yer altı sularının ve yüzey sularının birlikte kullanımını incelemiştir. Çalışma alanı olarak Ceyhan Havzası'nı seçen yazar bölgede bulunan sıralı beş baraj üzerinde inceleme yapmıştır. Çalışma sonucunda sulama ve

içme suyu miktarının artmasıyla sulama faydasının arttığı ancak enerji faydasının azaldığı görülmüştür. Aldemir (2016) çalışmasında Ceyhan havzasının hidrojeolojik yapısını incelemiştir. Havzanın 2012 yılından itibaren kurak bir döneme girdiğini belirtmiştir. Yazar çalışma yaptığı alanda bazı kuyuların NO_2^- ve NO_3^- değerlerinin yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Bu alandaki tarımsal faaliyetlere dikkat edilmesi gerektiğini ve organik tarım ile ilgili teşvik çalışmalarının gerekliliğini vurgulamıştır. Uzunkol ve Kızılelma (2016) yaptıkları çalışmada Ceyhan Havzası'nın kuraklık durumunu incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda havzanın Thornthwaite İklim Sınıflandırmasına göre yarı kurak ve az nemli kategorisinde yer aldığını söylemiştir. Yağış indislerini inceleyen yazarlar yağış verilerinin negatif eğilim gösterdiğini ifade etmiştir. İklim değişiklikleri sonucu gelecekte havzanın çölleşmeye karşı savunmasız olduğunu belirtmişlerdir.

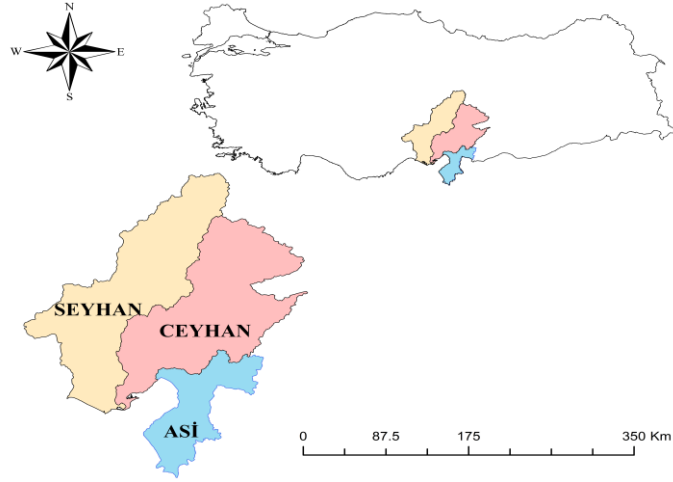
2.4.3. Asi havzasında yapılan çalışmalar

Dikici (2018) yaptığı çalışmada Asi Havzası'nın kuraklık analizini gerçekleştirmiştir. 46 yıllık havza verilerinin kullanılarak hesaplama yapılan çalışmada havza sıcaklık ortalamalarının arttığını, yer altı su seviyelerinin azaldığını söylemektedir. Nalcıoğlu (2019) çalışmasında Asi havzasında hidrometeorolojik faktörler ve akım arasındaki ilişkiyi modellemiştir. DataFit modeli ile regresyon analizi yaptığı çalışmada %85 güven aralığı testi sonucu akım, nem, rüzgâr ve buharlaşma parametrelerinde azalan bir eğilim gözlemlerken sıcaklık parametresinde artan bir eğilim gözlemlemiştir. Çiftçi (2019) yaptığı çalışmada Asi Havzası'nın sulama birliklerinin performansını TOPSİS yöntemi ile değerlendirmiştir. Dört birlik üzerine yaptığı analiz sonucunda su dağıtım başarı oranının %4-%74 arasında değişkenlik gösterdiği sonucuna varmıştır. Yazar, su israfını önlemek ve yüksek oranlarda verim elde etme amacıyla su tüketicilerin, suyun doğru zamanda kullanılması ile ilgili bilinçlendirilmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. Gümüş (2017) yaptığı çalışmada Asi Havzası'nın hidrolojik kuraklık analizini yapmıştır. 52 yıllık akım verilerini kullanan Gümüş havzada kuraklığın yaşanma olasılığın nemliliğin yaşanma olasılığından çok daha yüksek olduğunu söylemektedir. Kuraklığın etkilerinin azaltılması ve su kaynaklarının etkin kullanılması gibi çalışmaların gerekliliğinden söz etmiştir.

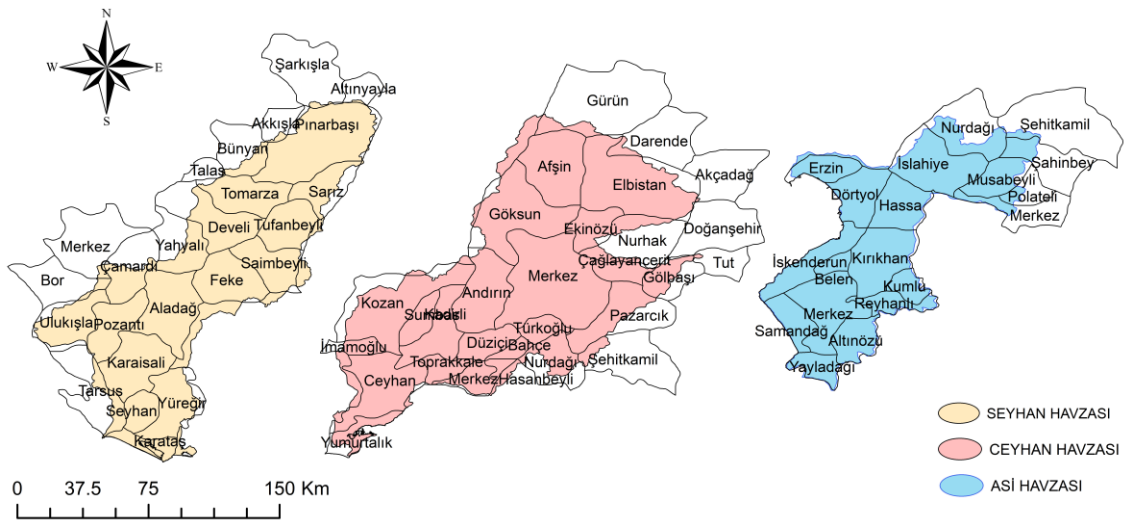
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma alanı

Bu çalışmada tarımsal üretimin yoğun bir şekilde gerçekleştiği ve bünyesinde önemli su kaynaklarının bulunduğu ülkemizin önemli alanlarından olan Seyhan, Ceyhan ve Asi havzaları ele alınmıştır. Havza sınırları içerisinde bulunan 72 ilçe çalışma konusu olmuştur. Bu bağlamda mevcut ilçelerde üretilen 65 tarımsal ürün değerlendirilmeye alınmıştır. Şekil 3.1’de mevcut çalışma kapsamındaki Seyhan, Ceyhan ve Asi havzaları gösterilmektedir. Şekil 3.2’de Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarının çalışmaya dahil olan ilçeleri gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı



Şekil 3.2. Çalışma alanına dahil olan ilçeler

3.1.1. Seyhan Havzası

Havza Türkiye'nin güneyinde 36°30'-39°15' kuzey enlemleri ile 34°15'-36°55' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Gürkan, 2005). Seyhan havzası 24,000 km²'lik alanı ile ülkemizin toplam alanının %2.4'lük kısmını oluşturmaktadır. Seyhan Havzası bünyesinde Adana, Kayseri, Niğde, Sivas, Mersin ve Kahramanmaraş illerinin bazı ilçe, köy ve beldelerini barındırmaktadır. Su kaynakları bakımından önemli olan 560 km uzunluğundaki Akdeniz'e dökülen en büyük akarsu olan Seyhan Nehri bulunmaktadır. (Kuzucu, 2016). Falkenmark Su Stres İndeksine göre su azlığı görülen havza nüfusu 1,899,117 kişi ve kişi başına düşen su miktarı ise 1,475 m³/yıl'dır (Karşılı, 2011). Çalışma alanı yıllık ortalama yağış değeri 650 mm olup maksimum 46°C, minimum -8°C ve 18°C'lik bir ortalama sıcaklık değerine sahiptir. Havzanın güneyinde Akdeniz ikliminin etkileri görülürken kuzeyinde karasal iklim hâkimdir. Genellikle dağlık ve tepelik bir alana sahip olan bölge Akdeniz kıyılarından Toros Dağları'nın 3500 m kotlarına kadar uzanmaktadır. Havzanın %56.8'lik kısmı orman ve yarı doğal alanlardan oluşurken %40.49'luk alanı tarımsal arazilerden oluşmaktadır. Geriye kalan kısmında ise su alanları bulunmaktadır (Kuzucu, 2016). Havza bünyesinde bulunan Seyhan Nehri, Toros Dağları'nın 3500 m'lik kotundan başlayarak ülkemizde Akdeniz'e dökülen en büyük ırmaklardan biridir. Nehir Zamantı Irmağı ve Göksu Nehri'nin kollarından beslenmektedir. Adana il sınırlarından oluşturduğu mendereslerle devam eden nehir Deliburun'dan Akdeniz'e dökülmektedir. Seyhan Nehri dışında havza bünyesinde Çakıt, Körükün Çayları ve Eğlence, Üçürge Dereleri gibi önemli akarsular bulunmaktadır. Ayrıca havza üzerinde Tuza gölü, Seyhan Baraj Gölü, Çatalan Baraj Gölü ve Akyatan Gölü bulunmaktadır. Havzanın yıllık ortalama akış değeri 211.07 m³/s olup havzadaki yağışın akışa olan oranı 0.51'dir. Ayrıca Seyhan Nehri üzerinde Yedigöze, Çatalan ve Seyhan Hidroelektrik Santralleri güç üretmektedir (Turhan, 2012).

Bölgenin yapısı dağlık olduğundan ulaşım ve toprak kaynaklarının yetersizliğinden dolayı ekonomik gelişmişlik düzeyi düşük kalmıştır. Tarıma ve hayvancığa elverişli olan toprak yapısı bölge halkının başlıca geçim kaynağı olmuştur (Gürkan, 2005). Bu arazilerden sene içerisinde birden fazla ürün elde edilebilmektedir. Tarım sektöründeki bu gelişmişlik ve yoğunluk dışarıdan mevsimsel işçi göçlerine neden olmuştur. Bu gelişmelerin bölgedeki sanayileşmeye olumlu yansımaları olmuştur. Sanayileşmenin oluşmasındaki en büyük etken tarım ürünü olan pamuk olmuştur

(Aldemir, 2016). Havzanın güneyinde özellikle kavun, karpuz, pamuk, turunçgiller, buğday, mısır gibi tarımsal ürünlerin üretimi yapılmaktadır. Kuzey kesimine doğru ise tahıl, nohut, patates, soğan, fasulye, şeker pancarı gibi tarım ürünlerinin üretimi görülmektedir (Gürkan, 2005).

3.1.1. Ceyhan Havzası

Şekil 3.2’de ilçeleri gösterilen ikinci çalışma alanı olan Ceyhan Havzası ülkemizin Akdeniz Bölgesi’nde 36°33’-38°43’ kuzey enlemleri ile 35°36’-37°47’ doğu boylamları arasından yer almaktadır. Ceyhan havzası 21,487 km²’lik alana sahip olan havzamız ülkemizin toplam alanın %2.74’lük kısmını oluşturmaktadır. Ceyhan Havzası Sivas, Osmaniye, Kayseri, Adıyaman, Adana, Gaziantep, Malatya, Hatay, Kahramanmaraş illerinin belirli kısımlarını bünyesinde barındırmaktadır. Havzanın sulama ihtiyacının büyük kısmı üzerinde bulunan 425 km uzunluğunda ve yıllık 82.9 m³/sn’lik bir debiyle Ceyhan Nehri’nden karşılanmaktadır (Gümüş, 2018). Nehir 7.180 milyar m³’lük yıllık akım değeri ile ülkenin tatlı su hacminin %4’lük kısmını bünyesinde barındırmaktadır. Batıda Göksun Çayı, kuzeybatıda Hurman Çayı, kuzeyde Sarsap Çayı, kuzeybatıda Söğütlü Çayı’nın kollarında beslenen Afşin-Elbistan ovasının sularını toplamaktadır. Nehir üzerinde sırasıyla birbirlerine bağlı Menzelet, Kılavuzlu, Sır, Berke ve Aslantaş Barajları bulunmaktadır (Korkut, 2008). Ceyhan Nehri Kahramanmaraş Pınarbaşı mevkiinden toplamaya başladığı suyu baraj sıralamasını takip ederek Ağyatan Gölünün batısından Akdeniz’e dökülmektedir (Aldemir, 2016). Seyhan havzasının batı komşusu olan Ceyhan havzası arazi yapısı olarak da Seyhan Havzası gibi iç kısımları dağlık bir yapıya sahiptir. Bunun dışında iklim özellikleri, sosyoekonomik durumu, geçim kaynağı, nüfus yapısı gibi özellikler Seyhan Havzası ile benzerlik göstermektedir.

3.1.2. Asi Havzası

Diğer bir çalışma havzalarımızdan olan Asi Havzası, Ceyhan Havzasının batısında ve Seyhan Havzasının güneyinde bulunmaktadır (Uzunkol, 2017). Asi Havzası 24,660 km² alana sahip olup bu alanın %69’u Suriye’de, %23’ü Türkiye’de ve %8’i Lübnan sınırları içerisinde kalmaktadır (Maden, 2011; Nalcıoğlu, 2019). Ülkemiz sınırları içerisinde kalan kısmında Adana, Gaziantep, Kilis, Hatay, Osmaniye illerinin bazı ilçe, köy ve beldeleri bulunmaktadır (Dikici, 2018). Bu havza üzerinde 556 km

uzunluğa sahip olan Asi Nehri bulunmaktadır. Bu uzunluğun 98 km'lik bir kısmı ülkemiz topraklarında bulunup 52 km'lik kısmı ile de Türkiye-Suriye sınırını oluşturmaktadır (Kılıç, 2017). Havza üzerinde kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı ise $2,239 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır (Karşılı, 2011). Asi Havzasının ülkemiz sınırlarında kalan kısmında Akdeniz ikliminin etkisi görülmektedir (Özbay, 2012). Yıllık ortalama 836.9 mm yağış değerine sahip olan havzada; en düşük yağış 8.6 mm ile temmuz ayında, en yüksek yağış ise 129.6 mm 'lik değer ile aralık ayında yaşanmaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 18.7°C , en sıcak ay 28.3°C ağustos, en soğuk ay ise 8.8°C ile ocak ayında yaşanmaktadır. Havza üzerinden kaynağı ülke dışında olan Asi Nehri geçmektedir. Asi Nehri Lübnan'ın El-Bekaa vadisinde Res'ul-Ayn ve el-Labve akarsularından beslenmektedir. Kuzeye doğru ilerleyen nehir Hermel Nehri'nin sularını da alarak Suriye sınırına kadar 35 km yol kat etmektedir. Suriye topraklarında Kadeş'te hacmini büyütürken Hums Gölü'ne ulaşır. Buradan sırasıyla el-Restan, Hama, Şeyzar bölgelerini geçtikten sonra Suriye'nin önemli tarım topraklarına sahip olan Gâp Ovası'na ulaşır. Suriye topraklarındaki 263 km'lik yolunu Derküş'te bitirerek 22 km'lik Suriye-Türkiye sınırını oluşturmuştur (Özbay, 2012). Ülkemiz sınırlarında 88 km'lik uzunluğa sahip olan nehir Amik Ovası'nı suladıktan sonra Hatay ilinin Samandağ ilçesinden Akdeniz'e dökülmektedir (Nalcıoğlu, 2019).

3.2. Veri ve Metot

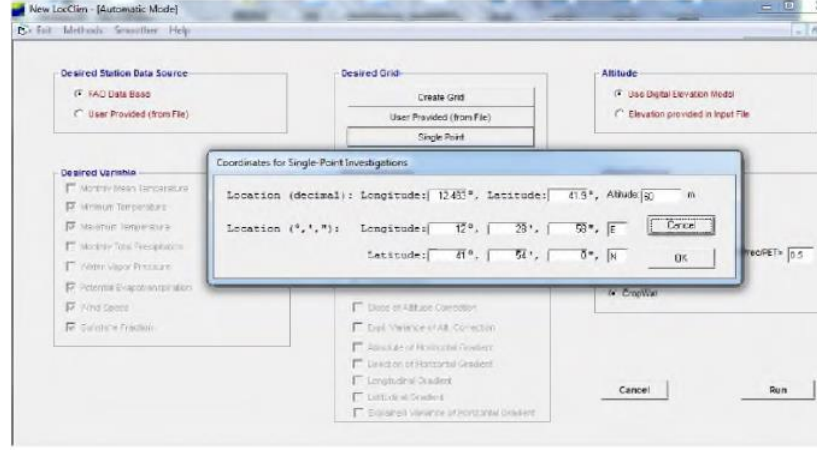
3.2.1. Referans evapotranspirasyon tahmini

Tarımsal su ayak izi hesabının önemli ilk adımı referans evapotranspirasyon (ET_0) değerlerinin belirlenmesidir. Referans evapotranspirasyon (ET_0) tahmininde birçok yöntem kullanılmaktadır. Penman-Monteith yöntemi çeşitli referans evapotranspirasyonu (ET_0) belirleyen yöntemlerden en doğru ve güvenilir yöntem olarak kabul edilmektedir (Chen ve ark., 2005). 1948'de Penman'ın geliştirdiği evapotranspirasyon denklemine 1976'da Monteith tarafından yüzey direnci özelliği de eklenerek 1990'larda formüller FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) tarafından birleştirilmiştir (Koç ve Güner, 2005) Mevcut çalışmada referans evapotranspirasyon (ET_0) Penman-Monteith yöntemiyle Denklem 3.1 kullanılarak tahmin edilmiştir:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (3.1)$$

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 ($^{\circ}\text{C}$); u_2 , rüzgâr hızı (m/s); e_s , doymuş buhar basıncı (kPa); e_a , gerçek buhar basıncı (kPa); Δ , buhar basıncı eğrisinin eğimi ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$); 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 ($C_d=0,34$); γ , psikrometrik sabiti ($6.65 \times 10^{-4} \text{ kPa}/^{\circ}\text{C}$) olarak tanımlanmaktadır (TAGEM, 2017).

Mevcut çalışmada referans evapotranspirasyonun (ET_0) belirlenmesinde minimum ve maksimum sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, güneş ışığının saatleri ve güneş radyasyonu gibi verilerin aylık değerleri, Tablo 3.1’de gösterilen bazı ilçe merkezlerinin enlem, boylam ve rakım değerleri kullanılarak New_LocClim programından çekilmiştir. Şekil 3.3’te arayüzü verilen yerel iklim tahmincisi olarak adlandırılan New_LocClim, FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) tarafından gözlem verilerinin bulunmadığı konumlardaki ortalama iklim şartlarının tahminlerini analiz eden bir yazılım ve veri tabanıdır (İraz, 2021). New_LocClim yazılımı her noktada iklimsel özellikler sağlamanın yanı sıra iklim haritaları da oluşturabilmektedir. New_LocClim yazılımının üç ana mod (tek nokta, çalışma, otomatik) özelliği mevcuttur. Tek nokta mod özelliğinde sekiz iklimsel değişkenleri (minimum, maksimum ve ortalama günlük ve aylık sıcaklıklar, yağış, potansiyel evapotranspirasyon, rüzgâr hızı, su buharı basıncı, güneş fraksiyonu ve güneşlenme süresi) kullanılarak verilerin olmadığı noktalar için enterpolasyon tekniği uygulanmaktadır. Çalışma modu özelliğinde bu sekiz iklimsel değişkenlerin yerel haritaları oluşturulup dışa aktarılmaktadır. Otomatik mod özelliği ise isteğe bağlı çeşitli formatlarda istenen iklimsel değişkenlerin tablolarını üretmektedir (Grieser ve ark., 2006). Mevcut çalışma kapsamında New_LocClim yazılımından Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarının sınırlarındaki ilçelerin enlem, boylam ve rakım verileri kullanılarak CROPWAT yazılımına uygun formatta referans evapotranspirasyon değerlerinin elde edilmesi sağlanmıştır.



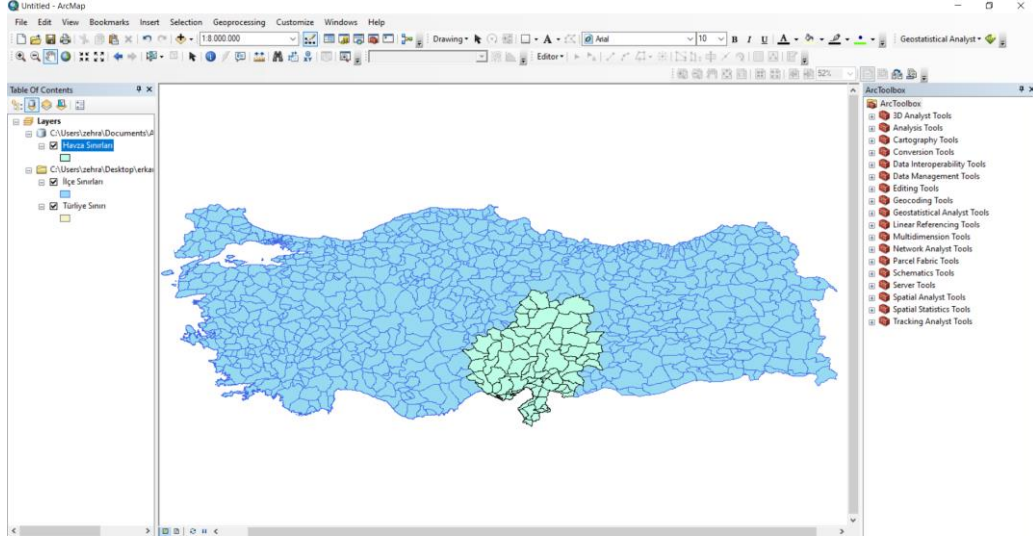
Şekil 3.3. New_LocClim yazılımı

Tablo 3.1. Çalışma havzalarındaki bazı ilçelerin enlem, boylam ve rakım değerleri (Baskin, 2012)

İl	İlçe	Enlem	Boylam	Rakım
Adana	Çukurova	37.0578	35.2614	165
Adıyaman	Gölbaşı	37.7867	37.6532	900
Gaziantep	Şehitkamil	37.1701	37.2877	927
Hatay	İskenderun	36.5924	36.1582	4
Kahramanmaraş	Kahramanmaraş	37.576	36.915	572
Kayseri	Tomarza	38.4522	35.7912	1402
Kilis	Kilis	36.7085	37.1123	640
Konya	Ereğli	37.5255	34.0485	1046
Malatya	Doğanşehir	38.0958	37.8873	1223
Mersin	Tarsus	36.8942	34.9597	12.
Niğde	Niğde	37.9587	34.6795	1211
Osmaniye	Osmaniye	37.1021	36.2539	94
Sivas	Sivas	39.7437	37.002	1294

New_LocClim yazılımından çekilen 65 tarımsal ürünün noktasal referans evapotranspirasyon değerleri alansal referans evapotranspirasyon değerlerine ArcGIS yazılımıyla dönüştürülmüştür. Şekil 3.4'te arayüzü verilen ESRI tarafından geliştirilen ArcGIS yazılımı entegre ölçekli bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'dir. Bu yazılım Desktop, Mobile, Server ve Online GIS gibi bölümlere ayrılmaktadır. Bu bölümler kapsamında ileri düzey CBS uygulamaları, sahada CBS uygulamalarını gerçekleştirme, ortak obje kütüphane özelliği ve güncel CBS verilerine erişme imkânı sağlamaktadır (Töreayen ve ark., 2010). Çalışmada kullanılan ArcGIS Desktop çok kapsamlı coğrafi veri kullanımı, haritalama, analiz yapma, raporlama, gelişmiş verileri üretme ve güncelleme özelliklerine sahiptir. Çeşitli ara yüzleri olan yazılım ArcMap arayüzüyle sözel verilerin görüntülenmesi, analiz edilmesi ve raporlanması sağlarken ArcCatalog arayüzüyle mevcut sözel verilerin tanımlanması sağlanmaktadır. ArcToolbox ve

ModelBuilder arayüzlerinde ise geoprocessing modellerin oluşturulması, kullanılması ve analiz edilmesi gerçekleştirilmektedir (Kol ve Küpcü, 2008).



Şekil 3.4. ArcGIS programının arayüzü

Mevcut çalışmada ArcGIS yazılımıyla ilk olarak hesaplamalarda kullanılan noktasal referans evapotranspirasyon değerlerine ait *MGM*'den alınan istasyon verileri (114 istasyon verisi) tanımlanarak Geostatistical Analyst modülüyle alansal enterpolasyon uygulanmıştır. Alansal enterpolasyon belirli bir alanın çeşitli noktalarındaki değerleri kullanılarak mevcut alandaki bilinmeyen noktaları belirlemeyen yarayan bir tekniktir (Johnston ve ark., 2001). ArcGIS programının Geostatistical Analyst modülünde çeşitli alansal enterpolasyon analiz yöntemleri mevcuttur (Tural, 2011). Mevcut çalışma kapsamında bu analizlerden Kriging yöntemi kullanılmıştır. İlk kez 1950'lerde D.G. Krige öncülüğünde kullanılan bu yöntem herhangi bir alanı saran değeri belli olan noktaların mesafeye göre değeri belli olmayan noktaları bulmaya yarayan bir jeoistatistiksel analiz yöntemidir (Aktaş ve Yılmaz, 2013). Yapılan araştırmalara göre Kriging yöntemi analiz edilen hataları doğruya en yakın şekilde belirleyen en doğru ve güvenli yaklaşımlar sağlamaktadır (Uzunlar, 2006). Kriging yönteminin ana eşitlik denklemi Denklem 3.2'de gösterilmiştir.

$$N_p = \sum_{i=1}^n P_i \times N_i \quad (3.2)$$

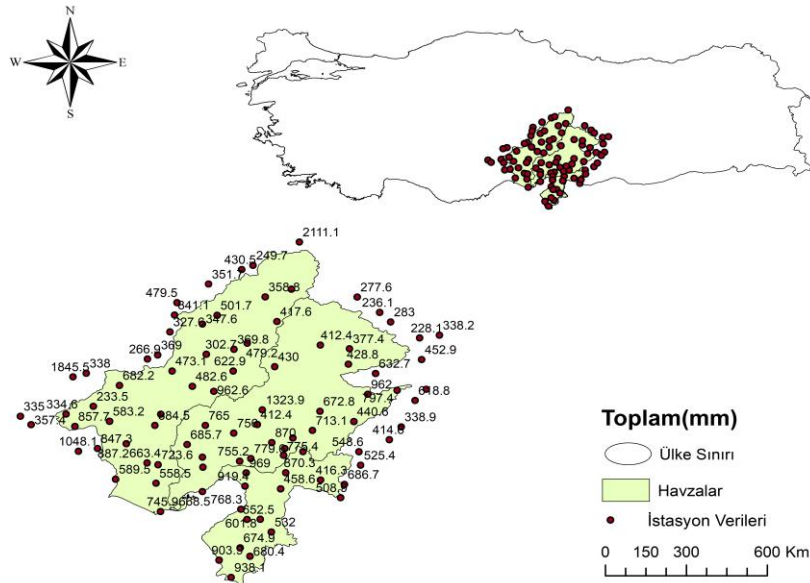
Burada N_p , Kriging değeri; n , analizde mevcut olan nokta sayısı; i , 1'den n 'e olan gözlem noktasındaki değerler; P_i , N 'nin hesabında kullanılan her N_i değerine denk

gelen ağırlık değeri; N_i , N_p 'nin hesabında kullanılan noktaların değerini ifade etmektedir (Kale, 2018).

3.2.2. Alansal yağış ve efektif yağış tahmini

Tarımsal su ayak izinin önemli olan başka bir adımı da yağış verilerinin elde edilmesidir. Mevcut çalışmada 2008-2018 yıllarının aylık noktasal yağış verileri *MGM*'nin (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) *OMGİ* (Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu) ve *MANUEL* istasyon verilerinden faydalanılmıştır. *OMGİ* ve *MANUEL* istasyon verileri *MGM*'nin Hava Tahmini yöntemleri içinde Otomatik Gözlem İstasyonları ağında yer alarak meteoroloji istasyonlarında hesaplanan değerleri otomatik olarak kodlayarak hataların minimize edilmesini sağlayan gözlem yöntemleridir. Bu yöntemlerde mevcut noktasal yağış verileri değerlendirilmeye alınırken en az dört yıllık yağış verisine sahip istasyonlar ele alınmıştır (MGM, 2021). Şekil 3.5'te çalışma kapsamındaki havzalarında kullanılan istasyonlar ve noktasal yağış verileri gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 3.2'de havzalardaki bazı merkez ilçelerin aylık noktasal yağış verileri verilmiştir.

Mevcut çalışmada aylık noktasal yağış verileri ArcGIS yazılımı yardımıyla alansal yağış verilerine dönüştürülmüştür. Bu dönüştürme işlemi alansal referans evapotranspirasyon tahmininde kullanılan Kriging yöntemiyle gerçekleştirilmiştir ve Bölüm 3.2.1'de ayrıntılı olarak anlatılmıştır.



Şekil 3.5. Havzalarda kullanılan istasyonlar ve noktasal yağış değerlerinin haritası

Tablo 3.2. Havzalarda bazı ilçelerin noktasal yağış değerleri (MGM, 2020)

İl/ilçe	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Adana/Çukurova	137.95	87.31	77.4	42.66	42.76	18.27	3.89	7.89	30.04	56.62	52.56	106.07
Adıyaman/Gölbaşı	183.5	85.59	81.97	67.29	62.6	7.84	0.56	0.69	14.26	58.88	70.84	163.42
Gaziantep/Şehitkamil	109.72	63.64	71.38	34.20	60.54	7.56	4.62	1.12	7.44	47.86	33.26	107.30
Hatay/İskenderun	129.82	96.86	70.87	57.31	53.69	36.88	6.43	25.84	51.49	72.77	60.78	105.54
Kahramanmaraş/Merkez	166.62	89.31	75.32	66.81	44.63	14.83	0.36	0.3	16.99	41.86	59.88	95.93
Kayseri/Tomarza	36.1	29.06	43.09	36.96	52.16	40.02	5.47	6.64	14.54	25.98	26.7	30.88
Kilis/Merkez	83.94	64.36	53.11	100.03	29.67	10.56	0.69	0.89	5.34	30.98	40.54	88.78
Konya/Ereğli	30.78	30.41	46.00	36.47	38.42	41.33	2.09	3.28	13.24	27.96	23.23	41.75
Malatya/Doğanşehir	82.70	50.67	50.49	44.16	46.78	8.42	1.02	2.56	10.48	35.48	49.32	70.84
Mersin/Tarsus	138.38	73.78	59.09	41.22	35.42	15.11	3.60	1.29	14.28	20.68	48.02	138.60
Niğde/Merkez	143.47	92.99	80.24	45.77	42.69	17.8	3.57	7.21	30.17	56.55	53.01	108.74
Osmaniye/Merkez	124.77	90.27	99.32	64.43	77.06	47.54	17.53	14.63	35.55	58.46	63.28	86.7
Sivas/Merkez	48.46	29.66	53.32	31.41	71.56	33.80	6.36	2.87	15.35	31.62	28.29	37.96

Tarımsal ürünlerin oluşumu için önemli olan efektif yağış ise aylık alansal yağış verilerinin CROPWAT yazılımına işlenmesiyle elde edilmiştir. CROPWAT yazılımında efektif yağış Şekil 3.6'da gösterildiği gibi beş farklı seçenekte hesaplanabilmektedir. Bu seçenekler sabit yüzde (genellikle %80 alınmakta), FAO'nun geliştirdiği formül, Ampirik formül, Amerika Bileşik Devletleri Toprak Muhafaza Servisinin (USDA) kullandığı formül ve efektif yağışın sıfır kabul edilerek dikkate alınmadığı seçeneklerdir (Clarke ve ark., 2000). Mevcut çalışmada efektif yağış USDA formüllüyle hesaplanmıştır.

CROPWAT options

Climate / ETo | **Rainfall** | Non-rice crop scheduling | Rice scheduling | Land Preparation (rice)

Effective rainfall method for CWR calculations:

- ☐ Fixed Percentage: 80 %
- ☐ Dependable rain (FAO/AGLW formula)
 - $P_{eff} = 0.6 * P - 10$ for $P_{month} \leq 70$ mm
 - $P_{eff} = 0.8 * P - 24$ for $P_{month} > 70$ mm
- ☐ Empirical formula
 - $P_{eff} = 0.5 * P + 5$ for $P \leq 50$ mm
 - $P_{eff} = 0.7 * P + 20$ for $P > 50$ mm
- ☒ USDA soil conservation service
 - $P_{eff} = (P * (125 - 0.2 * P)) / 125$ for $P \leq 250$ mm
 - $P_{eff} = 125 + 0.1 * P$ for $P > 250$ mm
- ☐ Rainfall not considered in irrigation calculations (effective rainfall = 0)

Note: in red are correction factors that CROPWAT applies to adjust formulas in the case of decade and daily rainfall data (for effective rainfall calculations daily data are aggregated per decade)

Şekil 3.6. Efektif yağış hesaplama seçenekleri

3.2.3. Bitki karakteristikleri verileri

Tarımsal ürünlerinin bitki karakteristikleri, bitki gelişim periyotları, bitki katsayıları, ekim tarihleri ve hasat tarihleri tarımsal su ayak izi hesabında oldukça

önemlidir. Mevcut çalışma kapsamında 65 tarımsal ürünün bitki katsayıları, gelişim periyotları, ekim ve hasat tarihleri *TAGEM* (Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü) ve *DSİ* (Devlet Su İşleri) işbirliğiyle hazırlanan Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberinden alınarak hesaplanmıştır (TAGEM, 2017). Bu rehberde FAO ve Dünya Meteoroloji Teşkilatı’nın geliştirdiği yöntemle 259 meteoroloji istasyon verilerinden faydalanılarak 85 bitkinin bitki katsayılarını (K_C) ve grafiği, bitki gelişim periyotlarını, ekim ve hasat tarihlerini verilmiştir. Bu parametreler Mızrak (2014) tarafından ele alınan 29 farklı iklim bölgesine (EK-1) göre gruplandırılmıştır. Herhangi bir bitkinin mevcut bu parametrelerin eksikliğinde benzer iklim bölgesine sahip olan verilerinden yararlanılabileceği kabul edilmiştir. Rehberde 29 iklim bölgesine ait istasyonlarda yetiştirilen tarımsal ürünlerin bitki katsayı (K_{C1} , K_{C3} , K_{C4}) değerleri, ekim-dikim tarihleri, gelişim periyotları (I. II. III. IV. dönem uzunlukları), vejetasyon süresi, yağış verileri, referans evapotranspirasyon ve bitkisel evapotranspirasyon verileri günlük, onar günlük ve aylık veriler şeklinde bulunmaktadır. Mevcut çalışmada EK-1’de gösterilen tarımsal ürünlerin havza sınırları içinde kalan dokuz iklim bölgesindeki (1, 2, 3, 18, 19, 20, 21, 22, 26 ve 29. iklim bölgeleri) bitki katsayı (K_{C1} , K_{C3} , K_{C4}) değerleri, ekim-dikim tarihleri ile gelişim periyotları (I, II, III ve IV. dönem uzunluğu) aylık veriler halinde bu rehberden alınarak kullanılmıştır. Bu veriler CROPWAT yazılımına işlenerek tarımsal ürünlerin bitkisel evapotranspirasyon değerleri hesaplanmıştır.

3.2.4. Bitkisel evapotranspirasyon tahmini

Tarımsal ürünlerin su ayak izi analizlerinde en önemli adımı tarımsal ürünlerin bitkisel evapotranspirasyon (ET_C) değerlerinin tahmin edilmesidir. Bitkisel evapotranspirasyon değerleri her bitki için farklı olmakla birlikte yağış, bitki karakteristikleri ve toprak özelliklerine göre değişmektedir. Mevcut çalışmada bitkisel evapotranspirasyon değerleri CROPWAT yazılımı yardımıyla hesaplanmıştır.

CROPWAT yazılımı İngiltere Sulama ve Geliştirme Enstitüsü ve Mısır Ulusal Su Araştırmaları Merkezinin işbirliğiyle FAO İtalya Toprak ve Su Geliştirme Bölümü aracılığıyla geliştirilen bir programdır (Bhat ve ark., 2017). Bitki su ihtiyacını hesaplayan CROPWAT yazılımı meteorolojik, bitki, toprak ve su verilerini kullanarak geliştirilmiş sulama uygulamaları için öneriler geliştirmektedir (Karaca ve ark., 2017). Ayrıca açık sulama veya yağmurla beslenme halinde değerlendirme yaparak sulama programlarını

planlanmasını gerçekleştirmektedir (Kartal ve ark., 2019). Bu yazılım programı referans bitki su tüketimini, bitkisel su tüketimi, bitkinin sulama gereksinimlerini ve sulama planlamalarının belirlenmesini sağlamaktadır.

CROPWAT yazılımında iklim/ ET_0 , yağış, bitki ve toprak özellikleri gibi seçenekler girdi olarak kullanılmaktadır (Nazeer, 2009). Bitkisel evapotranspirasyon tahmininde kullanılan ilk girdi olan İklim/ ET_0 seçeneğinde Şekil 3.7’de görüldüğü gibi iklim verileriyle hesaplanan aylık Penman-Monteith ET_0 veya aylık tahmin edilen verilerle hesaplanan ET_0 olmak üzere iki seçenek mevcuttur. Şekil 3.7’de Afşin ilçesinin tahmin edilen referans evapotranspirasyon değerleri gösterilmiştir. Mevcut çalışma kapsamında New_LocClim yazılımından noktasal olarak çekilen ET_0 değerleri ArcGIS yazılımıyla alansal ET_0 değerlerine dönüştürülerek CROPWAT yazılımında aylık tahmin edilen verilerle hesaplanan Penman-Monteith ET_0 seçeneğine işlenmiştir. İlçeler için tahmin edilen referans evapotranspirasyon değerleri mevcut ilçede üretilen bütün tarımsal ürünler için kullanılmıştır.

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day
January							
February							
March							
April							
May							
June							
July							
August							
September							
October							
November							
December							
Average							

	ETo mm/day
January	0.5
February	0.8
March	1.6
April	3.0
May	4.0
June	5.4
July	6.5
August	6.2
September	4.4
October	2.6
November	1.2
December	0.6
Average	3.1

Şekil 3.7. İklim/ ET_0 hesaplama seçenekleri

Şekil 3.8’de gösterilen ikinci girdi yağış değerleridir (Afşin ilçesinin yağış değerleri gösterilmiştir). Mevcut çalışma kapsamında MGM’nin *OMGI* ve MANUEL istasyonlarından alınan noktasal yağış verileri ArcGIS yazılımıyla alansal yağış verilerine dönüştürülüp CROPWAT yazılımında kullanılmıştır. Kullanılan yağış verileri ile USDA S.C. metoduyla efektif yağış verileri çıktı olarak elde edilmiştir.

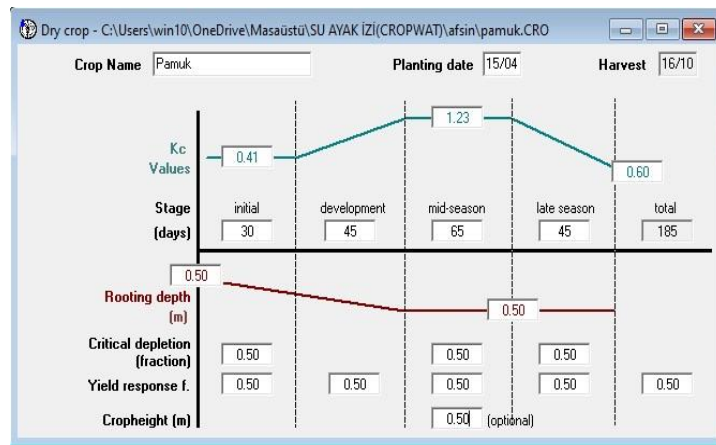
Monthly rain - C:\Users\win10\OneDrive\Masaüstü\SU AYAK IZI(CROPWAT)\CROP...

Station Eff. rain method **USDA S.C. Method**

	Rain mm	Eff rain mm
January	73.2	64.6
February	38.1	35.8
March	49.9	45.9
April	42.2	39.4
May	47.0	43.5
June	21.7	20.9
July	3.3	3.3
August	5.5	5.5
September	15.2	14.8
October	37.9	35.6
November	32.8	31.1
December	44.7	41.5
Total	411.5	381.8

Şekil 3.8. Alansal yağış verilerinin girilmesi

Üçüncü girdi olan K_C su tüketim eğrisi gösterilen bitki seçeneğine Şekil 3.9'da görüldüğü gibi bitki katsayıları (K_{C1} , K_{C3} , K_{C4}), gelişim periyotları (I. II. III. IV. dönem uzunlukları), ekim-dikim tarihleri, köklenme derinliği, kritik tüketim oranı, verim faktörü ve bitkinin boyu girilmiştir. Mevcut bu veriler her bitki için değişmektedir. Bu seçenekte hasat tarihleri çıktı olarak elde edilmektedir. Şekil 3.9'da gösterilen değerler Afşin ilçesinde üretilen pamuk bitkisine ait bitki katsayıları ve dönem uzunlukları değerleridir.



Şekil 3.9. Bitki karakteristiklerinin girilmesi

CROPWAT yazılımında Şekil 3.10'da gösterilen dördüncü girdi olan toprak bilgileriyle ilgili veriler, bitkisel evapotranspirasyon (ET_C) değerlerini değiştirmede için mevcut çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmamıştır. Bu seçenekte toprağın su tutma kapasitesi, maksimum yağışın süzülme oranı, maksimum köklenme derinliği, başlangıçtaki toprak nem tüketim oranı ve başlangıçta kullanılabilir toprak nemi verileri girilmektedir.

Şekil 3.10. Toprak verilerinin işlenmesi

CROPWAT yazılımının CWR (Crop Water Requirement) seçeneğinde bitki su tüketim ihtiyacı yani bitkisel evapotranspirasyon (ET_C) hesaplanmaktadır. Bütün girdi veriler girildikten sonra bitkisel evapotranspirasyon (ET_C) ve sulama suyu ihtiyacı çıktı olarak elde edilmiştir. CROPWAT yazılımında bitkisel evapotranspirasyonun (ET_C) tahmininde FAO tarafından geliştirilen Penman-Monteith yöntemi kullanılmaktadır (Clarke ve ark., 2000). Şekil 3.11’de Afşin ilçesinde üretilen pamuk bitkisinin bitkisel evapotranspirasyon, efektif yağış ve sulama suyu ihtiyacı çıktılarını göstermektedir.

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Apr	2	Init	0.41	1.25	7.5	7.6	1.2
Apr	3	Init	0.41	1.38	13.8	13.3	0.6
May	1	Init	0.41	1.52	15.2	14.9	0.3
May	2	Deve	0.45	1.82	18.2	15.7	2.4
May	3	Deve	0.64	2.90	31.9	12.8	19.0
Jun	1	Deve	0.85	4.21	42.1	9.4	32.8
Jun	2	Deve	1.04	5.67	56.7	6.8	49.9
Jun	3	Mid	1.23	7.13	71.3	4.9	66.4
Jul	1	Mid	1.29	7.98	79.8	2.5	77.3
Jul	2	Mid	1.29	8.46	84.6	0.2	84.5
Jul	3	Mid	1.29	8.28	91.1	0.7	90.4
Aug	1	Mid	1.29	8.15	81.5	1.4	80.1
Aug	2	Mid	1.29	8.05	80.5	1.5	79.0
Aug	3	Mid	1.29	7.27	80.0	2.7	77.3
Sep	1	Late	1.23	6.13	61.3	3.6	57.7
Sep	2	Late	1.09	4.81	48.1	4.4	43.6
Sep	3	Late	0.95	3.60	36.0	6.9	29.1
Oct	1	Late	0.81	2.56	25.6	10.3	15.3
Oct	2	Late	0.69	1.78	10.7	7.8	4.1
					935.9	127.3	811.1

Şekil 3.11. CROPWAT çıktı ekranı

CROPWAT yazılımındaki bütün bu adımlar Tablo 3.3’te gösterilen 72 ilçe yetişen her bir tarımsal ürün (65 tarımsal ürün) için teker teker yapılmıştır.

Tablo 3.3. Havzalarda su ayak izleri hesaplanan tarımsal ürünler

Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında su ayak izleri analiz edilen tarımsal ürünler				
Antepfıstığı	Buğday	Havuç	Mısır (Dane)	Soya Fasulyesi
Armut	Ceviz	Hıyar	Mısır (Silajlık)	Susam
Arpa	Çavdar	Kabak	Muz	Şeftali
Aspir	Çeltik	Karpuz	Nar	Şeker Pancarı
Ayçiçeği	Çilek	Kavun	Nohut	Trabzon Hurması
Ayva	Domates (Salçalık)	Kayısı	Pamuk	Turp
Badem	Domates (Yer)	Kiraz	Patates	Üzüm
Bakla (Taze)	Durum Buğdayı	Korunga	Patlıcan	Vişne
Balkabağı	Elma	Lahana (Beyaz)	Sarımsak	Yer Fıstığı
Bamya	Erik	Lahana (Kara)	Soğan (Tohumluk)	Yonca
Bezelye (Taze)	Fasulye (Kuru)	Marul	Soğan (Kuru)	Yulaf
Biber (Dolmalık)	Fasulye (Taze)	Maydanoz	Soğan (Yeşil)	Zeytin (Sofralık)
Biber (Sivri)	Fiğ (Adi)	Mercimek (Yeşil)	Sorgum	Zeytin (Yağlık)

3.2.5. Bitki üretim istatistikleri verileri

Tarımsal ürünlerin her biri için bitkisel evapotranspirasyon (ET_C) değerleri belirlendikten sonra su ayak izi metodu için gerekli olan bitki üretim istatistikleri olan her bir bitkinin üretim miktarı, ekilen alan miktarı ve verim miktarları belirlenmiştir. Gerekli olan istatistik veriler Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) veri tabanından temin edilmiştir (TÜİK, 2019). Mevcut çalışma kapsamında 65 tarımsal ürünün (Tablo 3.4'te gösterilen) üretim miktarı, ekilen alan miktarı ve verim değerleri değerlendirilmeye alınmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) her bir bitkinin üretim istatistik verilerinin hesabında CPA 2008 (Ürünleri faaliyetlerine göre sınıflama) ve GTİP (Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu) yöntemi kullanılmıştır (Resmi İstatistik Programı, 2017). Ekonomik su ve arazi verimlilik analizi için gerekli olan tarımsal ürünlerin ithalat ve ihracatının miktarı (ton), değeri (\$) ve ekilen alan verileri FAO veritabanından alınmıştır.

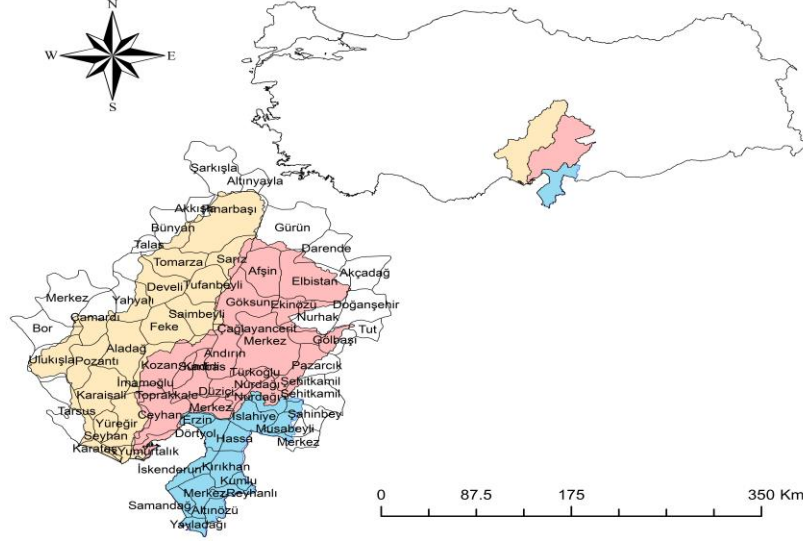
3.2.6. Havza sınırı verileri

EK-2 ve Şekil 3.12'de mevcut çalışma kapsamında ele alınan Seyhan Havzasının sınırları içindeki ilçeler, ilçe nüfusları, ilçelerin alan ve yüzdelikleri gösterilmektedir. Tablo ve Şekil incelendiğinde Seyhan havzasındaki ilçeler toplam 28991 km² sahip olup mevcut on ilçenin %100'ü havza sınırları içinde kaldığı görülmektedir. %100'ü havza sınırı içinde kalan ilçeler Sarız, Tomarza, Tufanbeyli, Saimbeyli, Feke, Aladağ, Pozantı, Karaisali, Yüreğir, Karataş, Seyhan, Sarıçam ve

Çukurova ilçeleridir. Niğde'nin %2.97'si, Akkışla'nın %9.13'ü, Bor'un %8.07'si, Tarsus'un %25.97'si, Bünyan'ın %27.92'si, Çamardı'n %49.13'ü, Yahyalı'nın %53.13'ü, Develi'nin %68.74'ü, Pınarbaşı'nın %94.72'si ve Ulukışla'nın %99.44'ü havza sınırlarının içinde kalmaktadır. Bu bağlamda havza sınırları içerisinde kalan toplam alan 20608.4 km² olmaktadır. Havza sınırı içerisinde kalan ilçelerin toplam nüfusu 2066879'dur.

EK-3'te ve Şekil 3.12'de mevcut çalışma kapsamında Ceyhan Havzasının sınırları içinde kalan ilçeler, ilçe nüfusları, ilçelerin alanları ve yüzdeleri gösterilmektedir. Ceyhan havzasındaki 28 ilçenin toplam alanı 31971 km² olurken mevcut havza sınırlarının içinde kalan alanların toplamı 25572.3 km² olmaktadır. Gürün (%9.15), Darende (%8.53), Şehitkamil (%13.47), Nurhak (%31.94), Gölbaşı (%54.54), Pazarcık (%62.30) ilçe dışında kalan 22 ilçenin %100'ü havza sınırları içinde kalmaktadır. Havza içinde kalan toplam nüfus 2608449.11 olmaktadır. Mevcut 28 ilçenin toplam üretim miktarı ve ekilen alanı sırasıyla 4.72 milyon ton ve 14.1 milyon dekar iken ilçelerin havza sınırı içinde kalan kısımlarında sırasıyla 4.39 milyon ton ve 13.1 milyon dekar olmaktadır.

EK-4'te ve Şekil 3.12'de Asi Havzasının sınırları içinde bulunan ilçeler, ilçe nüfusları, ilçelerin alanları ve yüzdeleri gösterilmektedir. Havzadaki 21 ilçenin toplam alanı 9469 km² olurken mevcut havza sınırlarının içinde kalan alanların toplamı 8090.9 km² olmaktadır. Polateli (%23.61), Kilis (%23.96), Şahinbey (%28.70) ve Musabeyli (%90.04) ilçeleri dışında kalan 17 ilçenin %100'ü havza sınırları içinde kalmaktadır. Havza içinde kalan toplam nüfus 2356773 olmaktadır. Mevcut 21 ilçenin toplam üretim miktarı ve ekilen alanı sırasıyla 2.29 milyon ton ve 3.71 milyon dekar iken ilçelerin havza sınırı içinde kalan kısımlarında sırasıyla 2.15 milyon ton ve 3.18 milyon dekar olmaktadır.



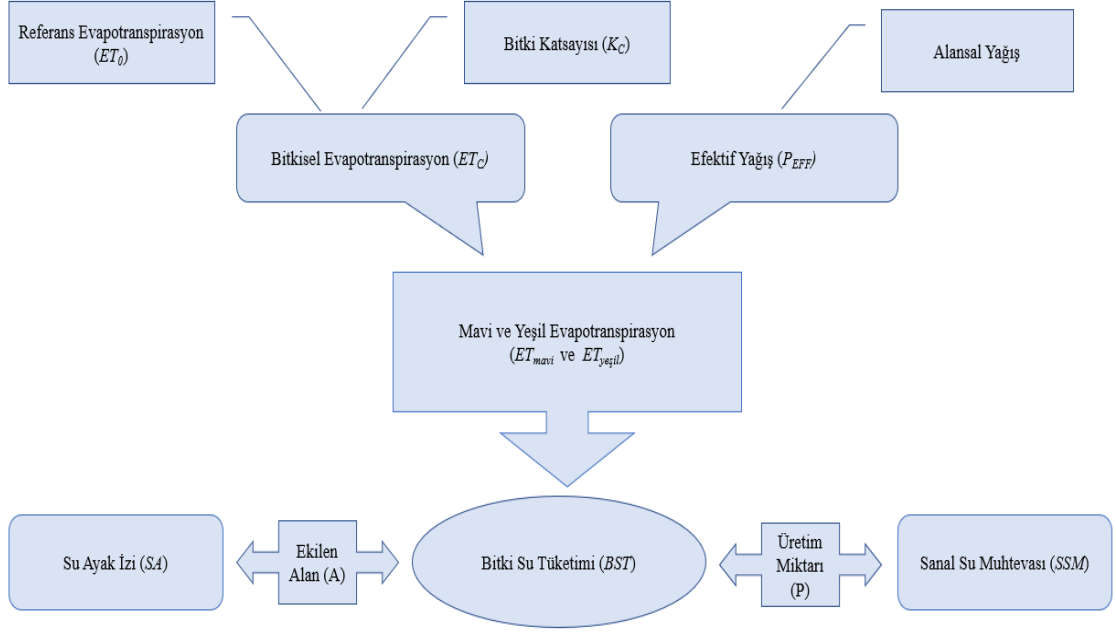
Şekil 3.12. Havzalara dahil olan ilçelerin haritası

3.2.7. Su ayak izi metodu

Belli bir havzanın su ayak izinin toplamı o havzadaki başta tarımsal, hayvansal, evsel ve endüstriyel sektörlerin su ayak izlerinin toplamına denk geldiği kabul edilmektedir (Denklem 3.3). Mevcut çalışma kapsamında Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarının tarımsal su ayak izi analizinde Chapagain ve Hoekstra (2004) tarafından geliştirilen su ayak izi metodu kullanılmıştır. Şekil 3.13'te su ayak izi metodunun akış diyagramı gösterilmektedir. Akış diyagramında gösterildiği gibi referans evapotranspirasyon (ET_0), bitki katsayıları (K_C), ekilen alanlar (A), üretim miktarları (P) ve yağış verileri girdi olarak işlenmektedir. Çıktı verileri olarak bitkisel evapotranspirasyonlar (ET_C), efektif yağışlar (P_{EFF}), bitki su tüketimleri (BST), su ayak izleri (SA) ve sanal su muhtevaları (SSM) elde edilmektedir.

$$SA_{toplam} = SA_{tarımsal} + SA_{hayvansal} + SA_{evsel} + SA_{endüstriyel} \quad (3.3)$$

Tarımsal su ayak izinin hesaplanmasında önemli olan mavi ve yeşil evapotranspirasyon değerleri Denklem 3.4 ve 3.5'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Bu denklemlerde gösterilen ET_{mavi} yer altı ve yüzey sularında meydana gelen evapotranspirasyon değeri (mm); $ET_{yeşil}$ yağmur sularında meydana gelen evapotranspirasyon değeri (mm); P_{EFF} ise efektif yağış olarak tanımlanmaktadır (Muratoglu, 2019). Mavi ve yeşil evapotranspirasyon bitkisel evapotranspirasyon ve efektif yağışa bağlı olarak bitkiden bitkiye değişmektedir.



Şekil 3.13. Su ayak izi metodu akış diyagramı

$$ET_{mavi} = \max(0, ET_c - P_{EFF}) \quad (3.4)$$

$$ET_{yeşil} = \min(ET_c, P_{EFF}) \quad (3.5)$$

Mavi ve yeşil evapotranspirasyon mm cinsinden ifade edildiği için bitki su tüketimi tahmininde birim çevirme işlemi yapılarak mavi ve yeşil evapotranspirasyon değerlerinin on katına eşit olmaktadır (Denklem 3.6, 3.7 ve 3.8). Bu denklemlerde BST_{mavi} , bitkinin mavi su tüketimi (m^3/ha); $BST_{yeşil}$, bitkinin yeşil su tüketimi (m^3/ha); BST_{toplam} ise bitkinin toplam (mavi ve yeşil) su tüketimi (m^3/ha). Toplam bitki su tüketimi ise mavi ve yeşil bitki su tüketimi miktarlarına eşit olmaktadır (Muratoğlu, 2020).

$$BST_{mavi} = 10 \sum ET_{mavi} \quad (3.6)$$

$$BST_{yeşil} = 10 \sum ET_{yeşil} \quad (3.7)$$

$$BST_{toplam} = BST_{mavi} + BST_{yeşil} \quad (3.8)$$

Ürünlerin içerdikleri su miktarını ifade eden sanal su muhtevası (SSM) Denklem 3.10'da gösterildiği gibi bitki su tüketiminin verime bölünmesiyle elde edilmektedir. Sanal su miktarıyla ilişki olan verim faktörü Denklem 3.9'da gösterildiği gibi üretim miktarının (P) ekilen alana (A) bölümünü ifade etmektedir. Denklem 3.10'da, 3.11'de ve 3.12'de gösterilen SSM_{mavi} , mavi sanal su içeriğini (m^3/ton); $SSM_{yeşil}$, yeşil sanal su içeriğini ve SSM_{toplam} toplam sanal su içeriğini belirtmektedir. Denklem 3.13'te ise toplam su ayak izinin ürünlerin üretim miktarıyla toplam sanal su içeriklerinin çarpılmasıyla elde edildiğini göstermektedir.

$$V = \frac{P}{A} \quad (3.9)$$

$$SSM_{mavi} = \frac{BST_{mavi}}{V} \quad (3.10)$$

$$SSM_{yeşil} = \frac{BST_{yeşil}}{V} \quad (3.11)$$

$$SSM_{toplam} = SSM_{mavi} + SSM_{yeşil} \quad (3.12)$$

$$SA_{toplam} = \sum_{i=1}^n SSM_i \times P_i \quad (3.13)$$

Kişi başına düşen su ayak izi miktarları havzalardaki toplam nüfusun toplam su ayak izine bölünmesiyle elde edilmiştir. Alan başına düşen su ayak izi miktarları ise havza alanlarının km^2 cinsinden miktarları alınarak toplam su ayak izi miktarına (m^3) bölünmesiyle mm cinsinden hesaplanmıştır.

Ekonomik su verimliliği ($\$/m^3$), tarımsal ürünlerin ithalat ve ihracat değerlerinin (\$) ithalat ve ihracat miktarlarına (ton) oranlayıp sanal su muhtevasına (m^3/ton) bölünmesiyle elde edilmiştir. Ekonomik arazi verimliliği ($\$/ha$) ise tarımsal ürünlerin ithalat ve ihracat değerlerinin (\$) ha cinsinden ekilen alan miktarlarına bölünmesiyle tahmin edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Alansal ortalama yağış ve evapotranspirasyon tahmini

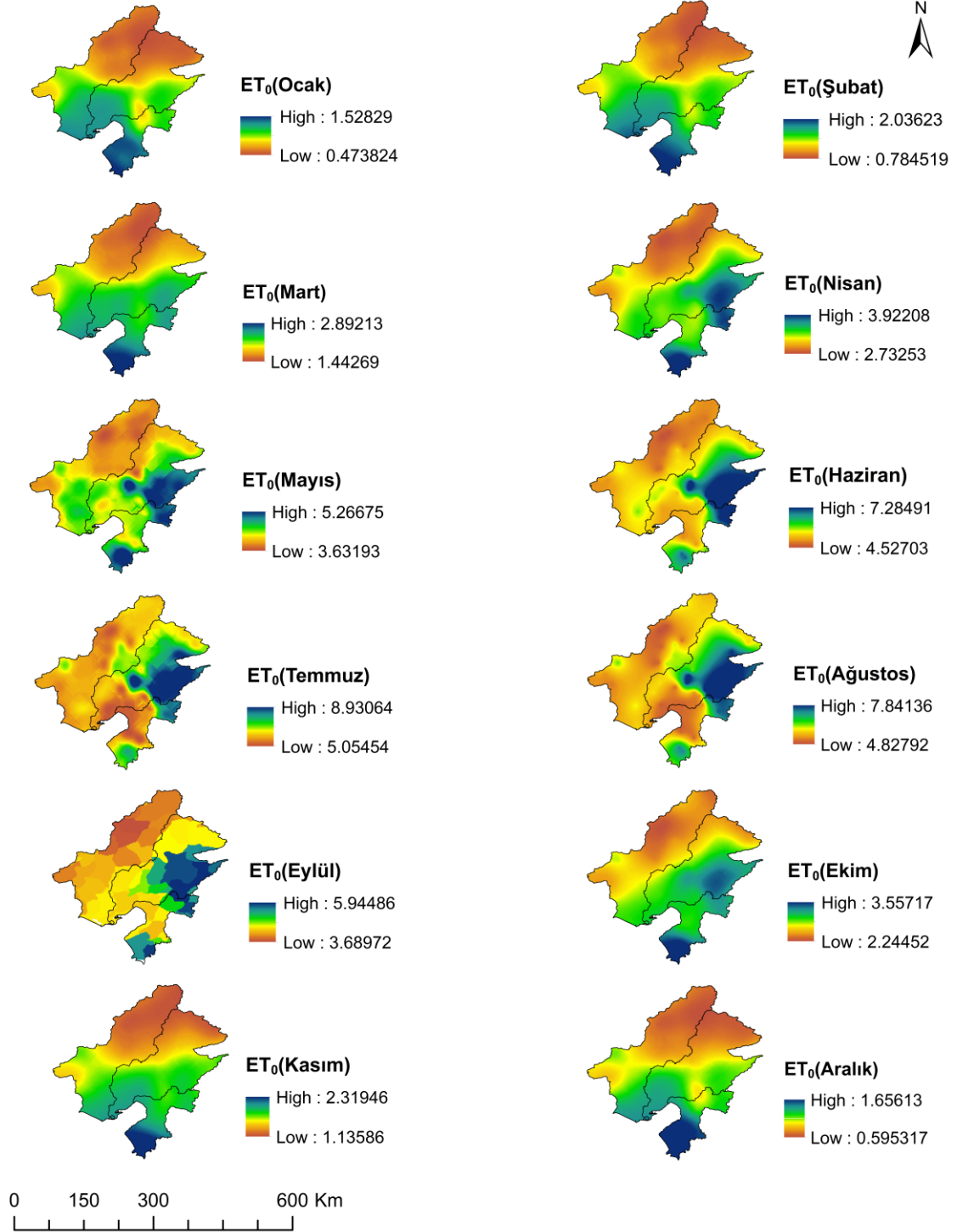
Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarının tarımsal su ayak izi hesabında kullanılan noktasal referans evapotranspirasyon değerleri New-LocClim programından çekilerek ArcGIS programı yardımıyla Kriging yöntemi (Bölüm 3.2.1) uygulanarak aylık alansal referans evapotranspirasyon değerlerine dönüştürülerek elde edilmiştir (Şekil 4.1). Mevcut havza kapsamında tarımsal su ayak izi hesabında kullanılan noktasal yağış verileri ise yine aynı program ve yöntem yardımıyla aylık alansal yağış değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3). ArcGIS programı yardımıyla alansal enterpolasyon tekniği olan Kriging yöntemi uygulanırken oluşacak hata oranları (Root-Mean-Square-Standardized/Kök ortalama kare hatası) mümkün olan en alt seviyede tutulmuştur (Tablo 4.1). Alansal enterpolasyonla elde edilen değerlerde minimum hata oranıyla gerçeğe yakın haritalar oluşturulurken ArcGIS programının Zonal Statistics ve Zonal Statistics as Table modülleriyle de bölgesel istatistik analizleri ve raporları elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Alansal referans evapotranspirasyon ve alansal yağış tahminlerinin hata oranları

Aylar	Alansal Referans Evapotranspirasyon	Alansal Yağış
Ocak	0.839	1.088
Şubat	0.847	1.076
Mart	0.925	1.022
Nisan	0.857	1.013
Mayıs	0.787	0.999
Haziran	0.723	0.919
Temmuz	0.79	1.005
Ağustos	0.7	0.989
Eylül	0.76	0.954
Ekim	0.917	1.005
Kasım	0.966	1.050
Aralık	0.878	1.076
Toplam	0.765	1.004

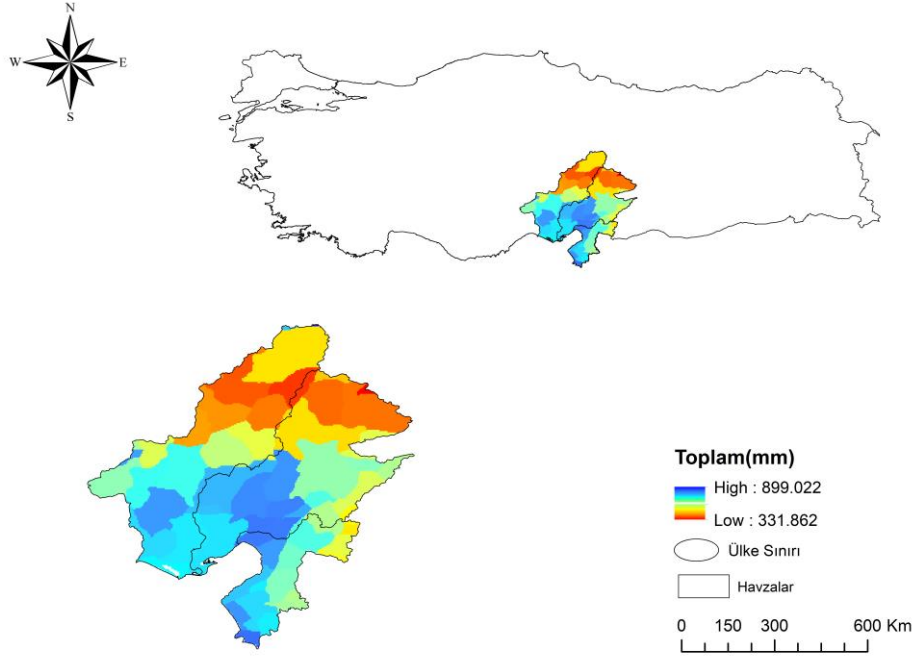
Şekil 4.1’de aylık alansal referans evapotranspirasyon değerleri dağılım haritaları verilmiştir. Alansal referans evapotranspirasyon faktörleri önemli ölçüde meteorolojik verilerden etkilenmektedir. Bu bağlamda alansal referans evapotranspirasyon haritalarının kış aylarında denizel etkiden dolayı güneyde alansal referans evapotranspirasyon değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülürken yaz aylarında düşük olduğu görülmektedir (özellikle Asi Havzasında). Ayrıca sonbahar

aylarında denizel etkinin ulaşmadığı iç kısımlarda alansal referans evapotranspirasyon değerlerinin yüksek olduğu görülürken ilkbahar aylarında iç kısımlarda genellikle düşük olduğu görülmektedir.

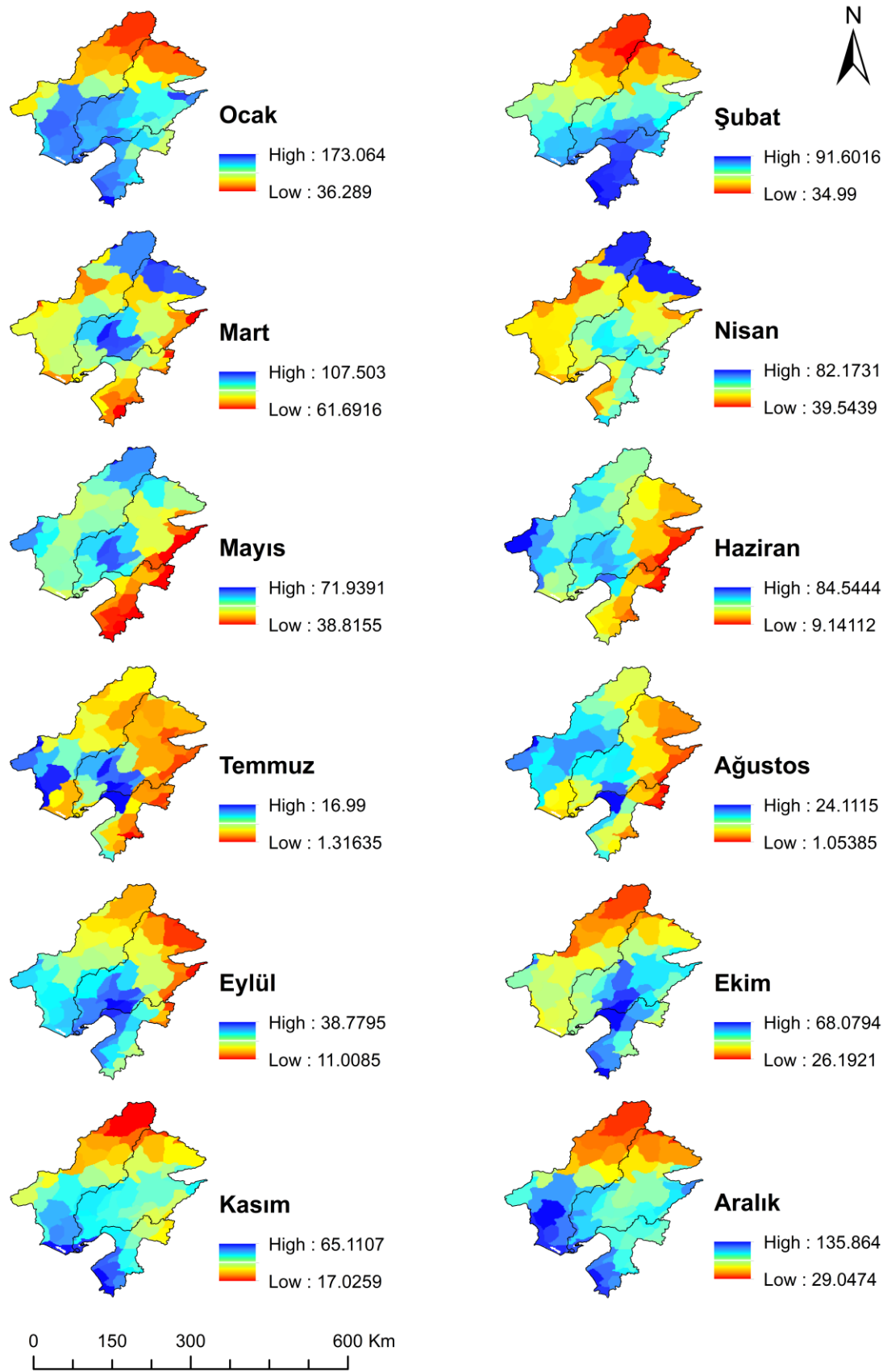


Şekil 4.1. Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarının aylık alansal evapotranspirasyon haritaları

Şekil 4.2’de ve Şekil 4.3’te verilen yıllık ortalama alansal yağış ve aylık alansal yağış haritaları da alansal referans evapotranspirasyon haritalarında olduğu gibi meteorolojik faktörlerden oldukça etkilenmektedir. 2008-2018 yılları arasında yıllık ortalama alansal yağış haritası incelendiğinde güneyde denizel iklim etkisinden dolayı yağış değerleri oldukça yüksek olurken iç kısımlara doğru değerler düşüktür. Aylık alansal yağış haritalarında ise kış aylarında yağışlar en fazla güney kısımda toplandığı diğer mevsimlerde dengesiz dağıldığı görülmektedir.



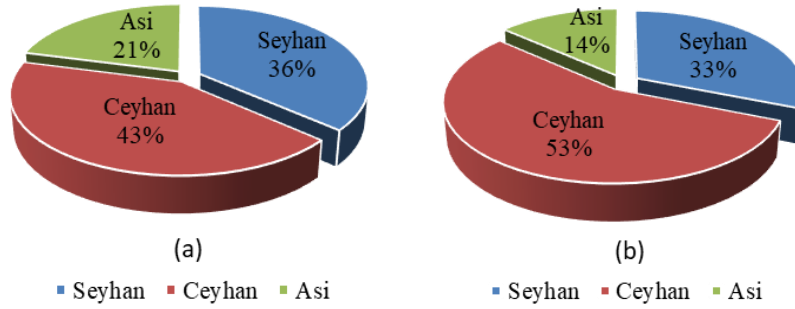
Şekil 4.2. Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarının 2008-2018 yılları arası yıllık ortalama alansal yağış haritası



Şekil 4.3. Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarının aylık alansal yağış haritaları

4.2. Tarımsal ürünlerin su ayak izleri

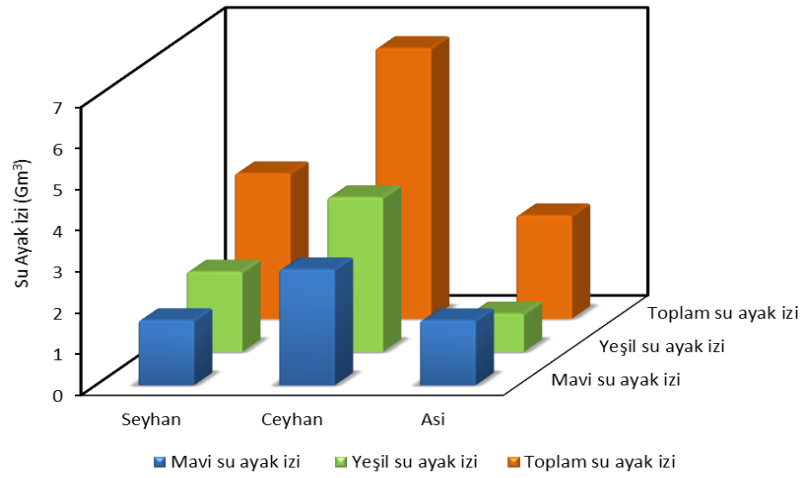
Mevcut çalışma kapsamında Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarında 2008-2018 yıllarının 11 yıllık ortalaması baz alınarak Şekil 4.4'te havzalarda üretilen tarımsal ürünlerin üretim miktarı ve ekilen alan oranları miktarları verilmiştir. Şekil 4.4'te incelendiğinde üretim oranları ve ekilen alan oranları en fazla tarımsal ürün yetişmesinden dolayı en yüksek Ceyhan havzasında görülmektedir. Ardından Seyhan ve Asi havzaları gelmektedir. Ceyhan havzasında tarımsal ürünlerin toplam üretim miktarı 4.39 milyon ton (%43 oranında) ve ekilen alan miktarı 13.1 milyon dekar (%53 oranında) olarak tespit edilmiştir. Seyhan havzasında tarımsal ürünlerin üretim miktarı 3.76 milyon ton (%36 oranında) ve ekilen alan 7,32 milyon dekar (%33 oranında) olarak hesaplanmıştır. Asi havzasında ise 2.15 milyon ton üretim miktarı (%21 oranında) ve 3.78 milyon dekar ekilen alan miktarı (%14 oranında) ile mevcut havzalarda en düşük üretim miktarı ve ekilen alan miktarına sahip olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.4. Havzaların üretim miktarı (a) ve ekilen alan oranları (b)

Mevcut analizlerde Seyhan, Ceyhan ve Asi havzası sınırı kapsamında toplam 72 ilçede üretilen toplam 65 tarımsal ürün ele alınmıştır. Şekil 4.5'te ve Tablo 4.2'de Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarındaki tarımsal ürünlerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izi miktarlarının grafiği ve tablosu verilmiştir. Mevcut şekil analiz edildiğinde 11 yıllık ortalama veriler bazında havza sınırları içinde en yüksek üretim ve ekilen alan miktarına sahip olan Ceyhan havzasının toplam su ayak izi miktarı 6.58 milyar m³ (2.82 milyar m³ mavi su ayak izi ve 3.76 milyar m³ yeşil su ayak izi) olarak belirlenmiştir. Bunun temel sebeplerinden biri Ceyhan havzasında yetiştirilen ürünlerin sayısı ve su isteğinin diğer havzalardan oldukça fazla olmasıdır. 1.58 milyar m³ mavi su ayak izi ve 1.95 milyar m³ yeşil su ayak izi miktarlarıyla ikinci yüksek mavi ve yeşil su ayak izi miktarlarına sahip olan Seyhan havzasının toplam su ayak izi 3.53 milyar m³ olarak saptanmıştır. Havzalar

içinde hem üretim miktarı hem de ekilen alan miktarı en düşük olan Asi havzasının toplam su ayak izi 2.51 milyar m³ (1.577 milyar m³ mavi su ayak izi ve 0.933 milyar m³ yeşil su ayak izi) olarak belirlenmiştir. Ayrıca mevcut şekil incelendiğinde 2.29 milyon ton üretim miktarına sahip olan Asi havzasıyla 6.43 milyon ton üretim miktarına sahip olan Seyhan havzasının mavi su ayak izi miktarları yakın olmasına karşın yeşil su ayak izi miktarları oldukça farklı olduğu görülmektedir. Ceyhan havzasının mavi su ayak izi ve yeşil su ayak izi miktarları incelendiğinde diğer havzaların yaklaşık iki katına denk geldiği görülmektedir.



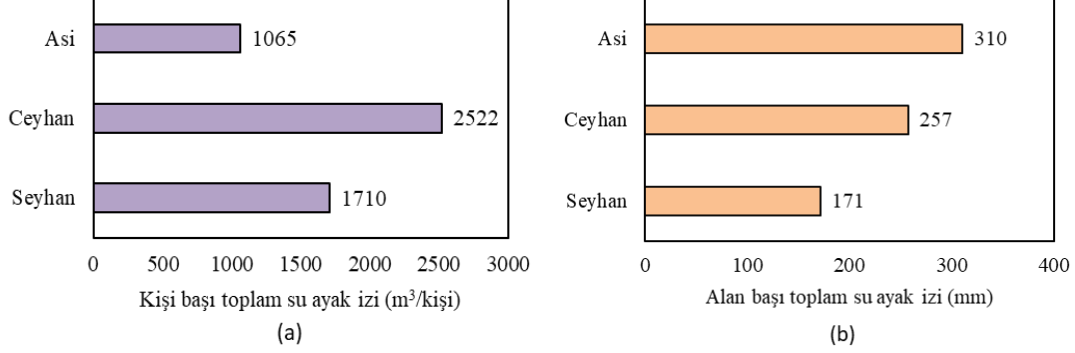
Şekil 4.5. Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarının tarımsal su ayak izi miktarları grafiği

Tablo 4.2. Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarının tarımsal su ayak izi miktarları tablosu

Havza	Mavi su ayak izi (milyar m ³)	Yeşil su ayak izi (milyar m ³)	Toplam su ayak izi (milyar m ³)	Kişi başına su ayak izi (m ³ /kişi)
Seyhan	1.581	1.952	3.533	1709.80
Ceyhan	2.817	3.76	6.577	2521.69
Asi	1.577	0.93	2.511	1065.45

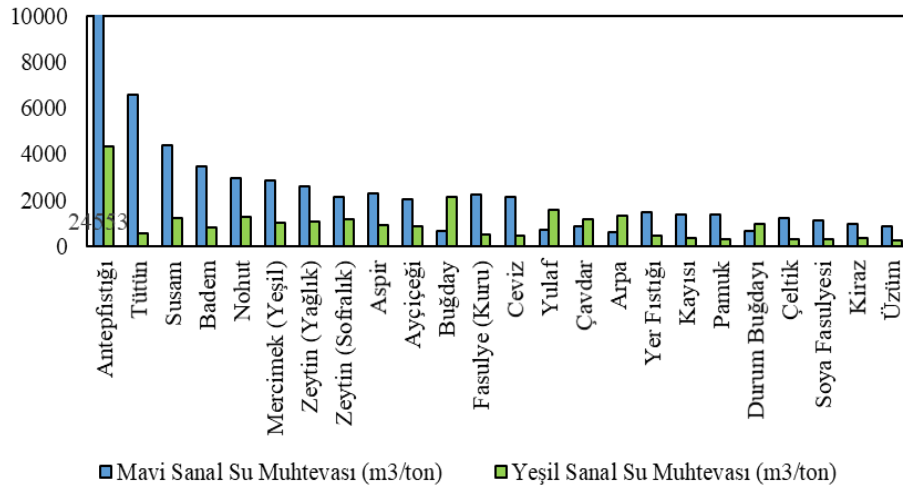
Şekil 4.6'da verilen kişi başı su ayak izi ve alan başı su ayak izi miktarlarının değerlendirilmesi su ayak izi çalışmalarında oldukça büyük öneme sahiptir. En düşük su ayak izi ve ekilen alan miktarına sahip olan Asi havzasında üretilen tarımsal ürünlerin kişi başına düşen toplam su ayak izi miktarı 1065 m³/kişi olurken alan başına düşen toplam su ayak izi miktarı 310.35 mm olmaktadır. İkinci yüksek su ayak izi ve ekilen alan miktarına sahip olan Seyhan havzasında üretilen tarımsal ürünlerin kişi başına düşen toplam su ayak izi miktarı 1710 m³/kişi olurken alan başına düşen toplam su ayak izi miktarı 171.48 mm olmaktadır. En yüksek su ayak izi ve ekilen alan miktarına sahip

olan Ceyhan havzasında ise havzalar içinde en yüksek kişi başına düşen toplam su ayak izi miktarına sahip olup bu miktar $2522 \text{ m}^3/\text{kişi}$ 'dir. Ceyhan havzasında alan başına düşen toplam su ayak izi miktarı ise 257.2 mm olarak tespit edilmiştir.



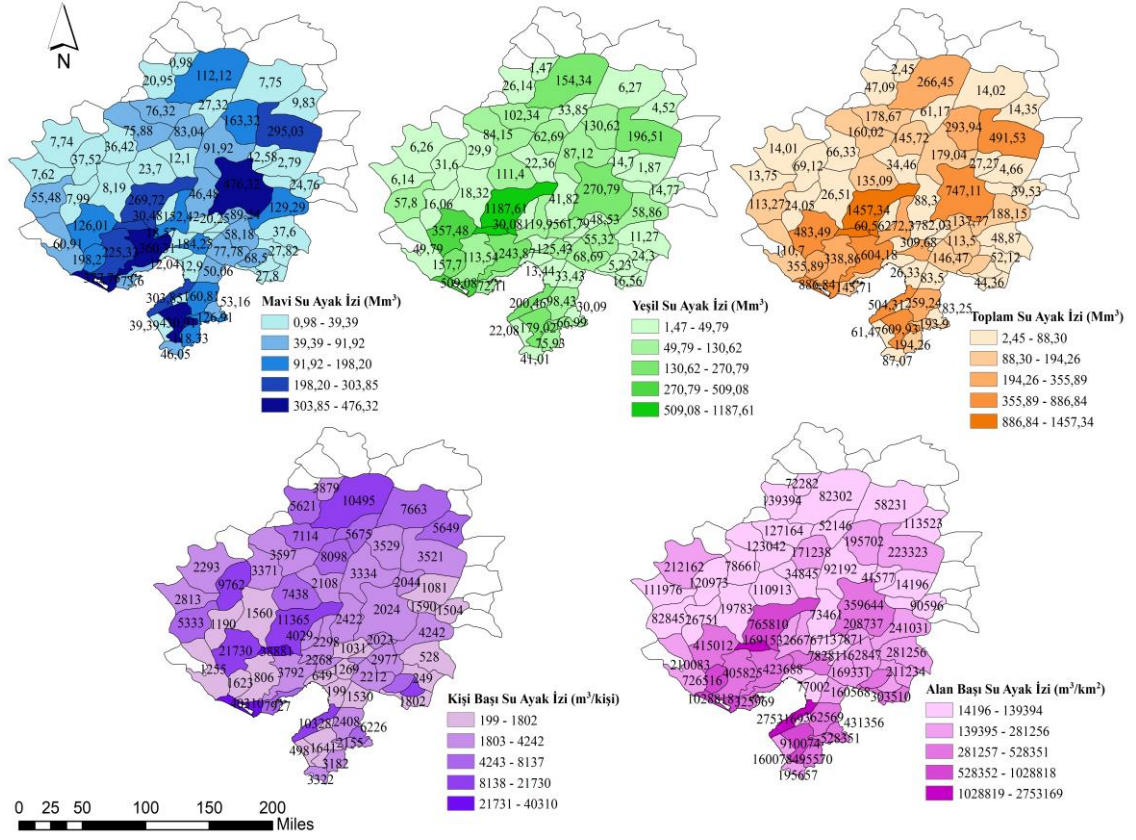
Şekil 4.6. Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında kişi (a) ve alan başı (b) toplam su ayak izi miktarları

Su ayak izi çalışmalarında önemli bir diğer nokta da sanal su muhtevası konusudur. Birim ürün başına düşen tatlı su hacmini ifade eden sanal su muhtevaları Ekler bölümünde EK-5'te mevcut çalışma kapsamında bütün tarımsal ürünler ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Şekil 4.7'de toplam sanal su muhtevası $1000 \text{ m}^3/\text{ton}$ 'un üzerinde olan tarımsal ürünler gösterilmiştir. Mevcut şekil incelendiğinde Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında sırasıyla antepfıstığı, tütün, susam, badem, nohut, yeşil mercimek, yağlık zeytin, sofralık zeytin, aspir, ayçiçeği ve buğday ürünleri en yüksek sanal su muhtevasına sahip ürünler olduğu saptanmıştır. Sanal su muhtevası tarımsal ürünlerin verimleriyle ilişkili olmaktadır. Ayrıca sanal su muhtevası yüksek veya düşük olan ürünlerin ulusal ve uluslararası ticarete büyük önem taşıdığı öngörülmektedir. Bu bağlamda mavi sanal su muhtevası yüksek ürünlerin analizleri önem taşımaktadır.



Şekil 4.7. Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarındaki bazı tarımsal ürünlerin sanal su muhtevaları

Şekil 4.8'deki su ayak izi haritaları çalışma kapsamında ele alınan Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarının sınırlarına dahil olan ilçelerin mavi, yeşil, toplam, kişi başına düşen ve alan başına düşen su ayak izlerini göstermektedir. Mevcut haritalar incelendiğinde mevcut havzalardaki ilçelerden toplam (1457.34 milyon m³) ve yeşil (1187.61 milyon m³) su ayak izi miktarı en yüksek Kozan ilçesinde tespit edilmiştir. Mavi su ayak ise 476.32 Mm³ olarak en yüksek Kahramanmaraş ilinin Merkez ilçesinde saptanmıştır. Toplam su ayak izi en yüksek on ilçe sırasıyla Kozan (1457.34 milyon m³), İmamoğlu (1150.26 milyon m³), Karataş (886.84 milyon m³), Kahramanmaraş Merkez (747.11 milyon m³), Hatay Merkez (609.93 milyon m³), Ceyhan (604.18 milyon m³), İskenderun (504.31 milyon m³), Elbistan (491.53 milyon m³), Karaisalı (483.49 milyon m³) ve Seyhan (355.89 milyon m³) ilçeleri olarak belirlenmiştir. Yeşil su ayak izi en yüksek on ilçe sırasıyla Kozan (1187.61 milyon m³), İmamoğlu (921.24 milyon m³), Karataş (509.08 milyon m³), Karaisalı (357.48 milyon m³), Kahramanmaraş Merkez (270.79 milyon m³), Ceyhan (243.87 milyon m³), İskenderun (200.46 milyon m³), Elbistan (196.51 milyon m³), Hatay Merkez (179.02 milyon m³) ve Seyhan (157.7 milyon m³) ilçeleri olarak tespit edilmiştir. Mavi su ayak izi en yüksek on ilçe ise Kahramanmaraş Merkez (476.32 milyon m³), Hatay Merkez (430.91 milyon m³), Karataş (377.76 milyon m³), Ceyhan (360.31 milyon m³), İskenderun (303.85 milyon m³), Elbistan (295.03 milyon m³), Kozan (269.72 milyon m³), İmamoğlu (229.03 milyon m³), Yüreğir (225.33 milyon m³) ve Seyhan (198.2 milyon m³) ilçeleri olarak belirlenmiştir.

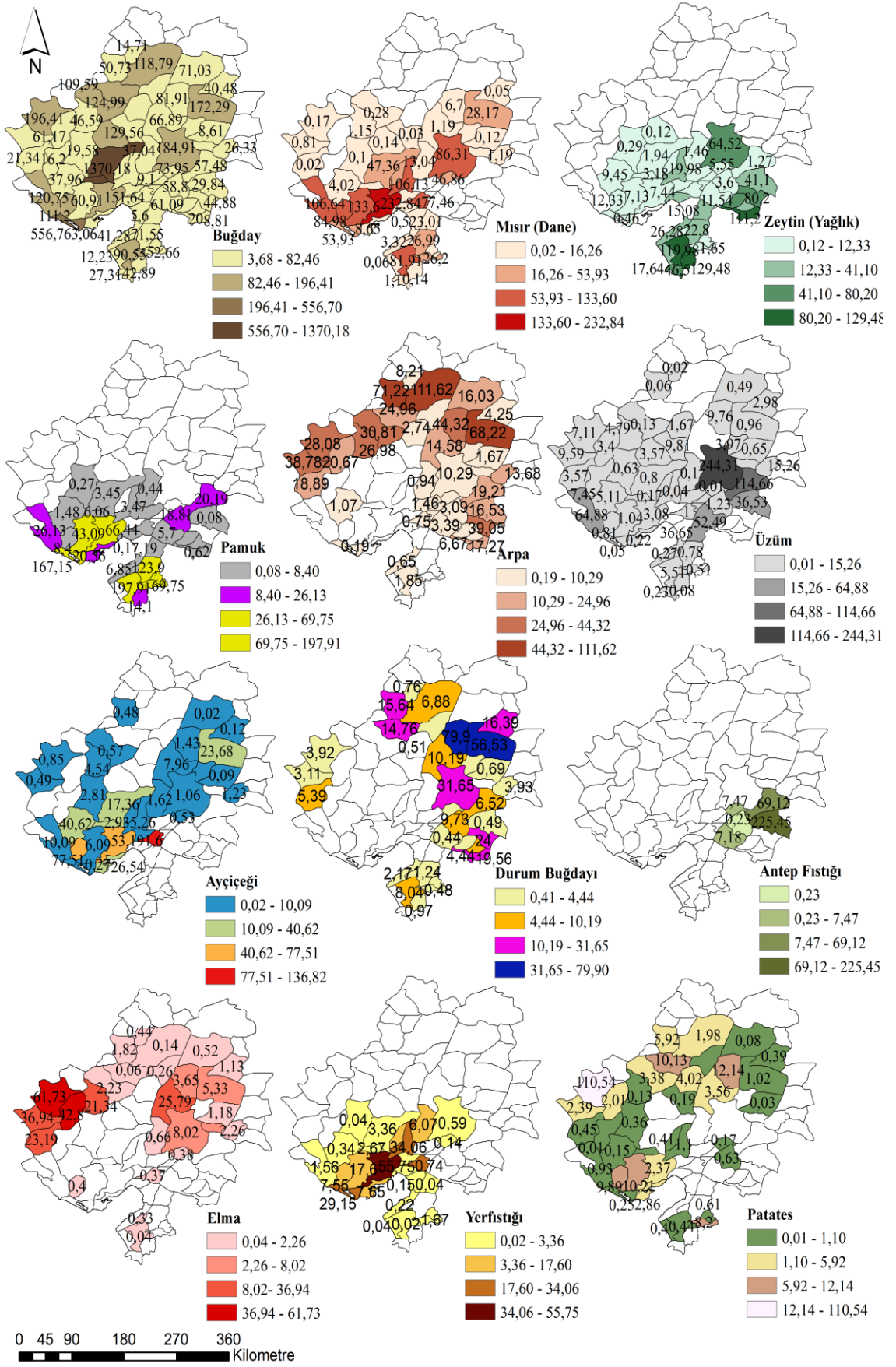


Şekil 4.8. Havzaların ilçe bazında su ayak izi haritaları

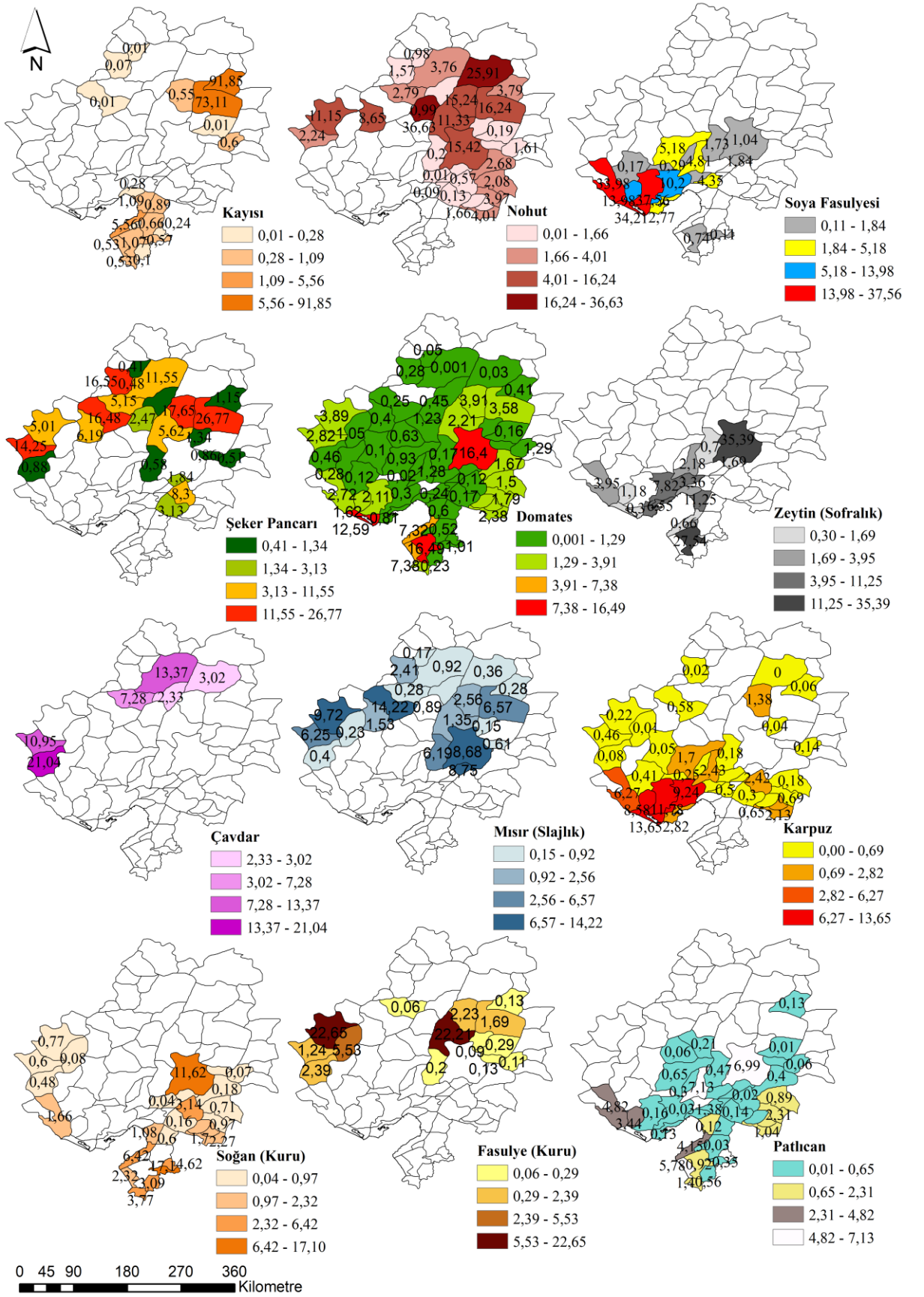
Mevcut çalışma kapsamında havzalarda tarımsal ürün bazlı su ayak izi analizleri de yapılmıştır. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da havzalarda 2008-2018 yıllarında üretilen tarımsal ürünlerden toplam su ayak izi en yüksek 24 tarımsal ürünün su ayak izi haritaları verilmiştir. Ekler bölümündeki EK-5’te havzalar kapsamında ele alınan bütün tarımsal ürünlerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri verilmiştir. Havzalarda üretilen tarımsal ürünlerden üretim miktarı (2.23 milyon ton) ve ekilen alan miktarı (14.79 milyon dekar) ile mavi (1.51 milyar m³), yeşil (4.83 milyar m³) ve toplam (6.34 milyar m³) su ayak izi miktarı en yüksek tarımsal ürünün buğday olduğu belirlenmiştir. Ayrıca buğday ürünü sanal su muhtevası en yüksek ilk 12 tarımsal ürün içinde de yer almıştır. İkinci yüksek üretim miktarı (1.7 milyon ton), ekilen alan miktarı (1.8 milyon dekar), mavi (980.41 milyon m³) ve toplam (1.25 milyar m³) su ayak izi miktarı dane mısır ürününe saptanmıştır. Mavi su ayak izi en yüksek ilk on tarımsal ürün olarak buğday, dane mısır, pamuk (698.55 milyon m³), yağlık zeytin (656.87 milyon m³), üzüm (507.25 milyon m³), ayçiçeği (323.49 milyon m³), antepfıstığı (263.11 milyon m³), arpa (217.41 milyon m³), elma (178.25 milyon m³) ve yer fıstığı (153.59 milyon m³) ürünleri tespit edilmiştir. Yeşil su ayak izi en yüksek on tarımsal ürün olarak ise buğday, arpa (473.82

milyon m³), yağlık zeytin (270.27 milyon m³), dane mısır, durum buğdayı (204.04 milyon m³), üzüm (161.20 milyon m³), pamuk (160.03 milyon m³), ayçiçeği (133.80 milyon m³), elma (66.66 milyon m³) ve nohut (52.77 milyon m³) ürünleri olarak bulunmuştur. Mavi, yeşil ve toplam su ayak izi miktarları 1 milyon m³'ün altında olan tarımsal ürünler taze bakla, kara lahana, turp, tütün, ayva, balkabağı, yulaf, vişne, sorgum ve aspir olarak belirlenmiştir.

Mevcut havzalar genelinden 2008-2018 yıllarında en fazla üretimi yapılan tarımsal ürünler buğday, dane mısır, patates (1.11 milyon ton), karpuz (1.04 milyon ton), şeker pancarı (0.89 milyon ton), üzüm (0.60 milyon ton), domates (0.56 milyon ton), silajlık mısır (0.53 milyon ton), pamuk (0.52 milyon ton) ve yonca (0.50 milyon ton) olmuştur. Benzer şekilde en fazla ekilen alana sahip ürünler ise buğday, dane mısır, arpa (1.5 milyon dekar), yağlık zeytin (1.04 milyon dekar), pamuk (1.01 milyon dekar), ayçiçeği (0.79 milyon dekar), üzüm (0.74 milyon dekar), durum buğdayı (0.62 milyon dekar), nohut (0.36 milyon dekar) ve patates (0.31 milyon dekar) olmuştur. Toplam su ayak izi oldukça düşük olan kara lahana, tütün, ayva, balkabağı, yeşil mercimek, vişne ve aspir gibi tarımsal ürünlerin genellikle üretim miktarları 1000 ton'un altında olduğu belirlenmiştir. Havza genelinde geniş yelpazede üretilen tarımsal ürünler ise buğday, dane mısır, arpa, üzüm, patates ve domates ürünleri olmuştur.

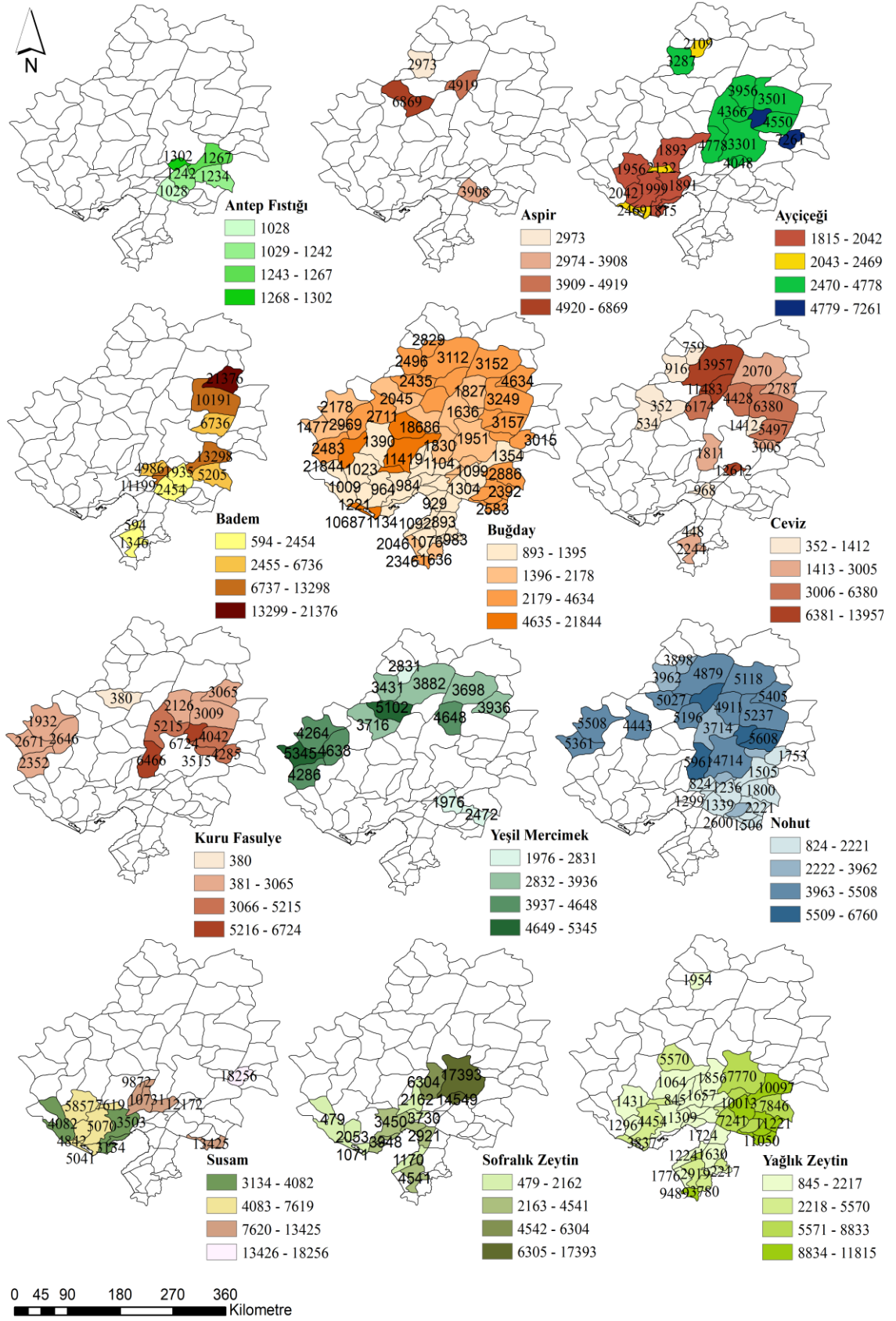


Şekil 4.9. Havzalardaki en yüksek 24 tarımsal üründen ilk 12'sinin toplam su ayak izleri (milyon m³)

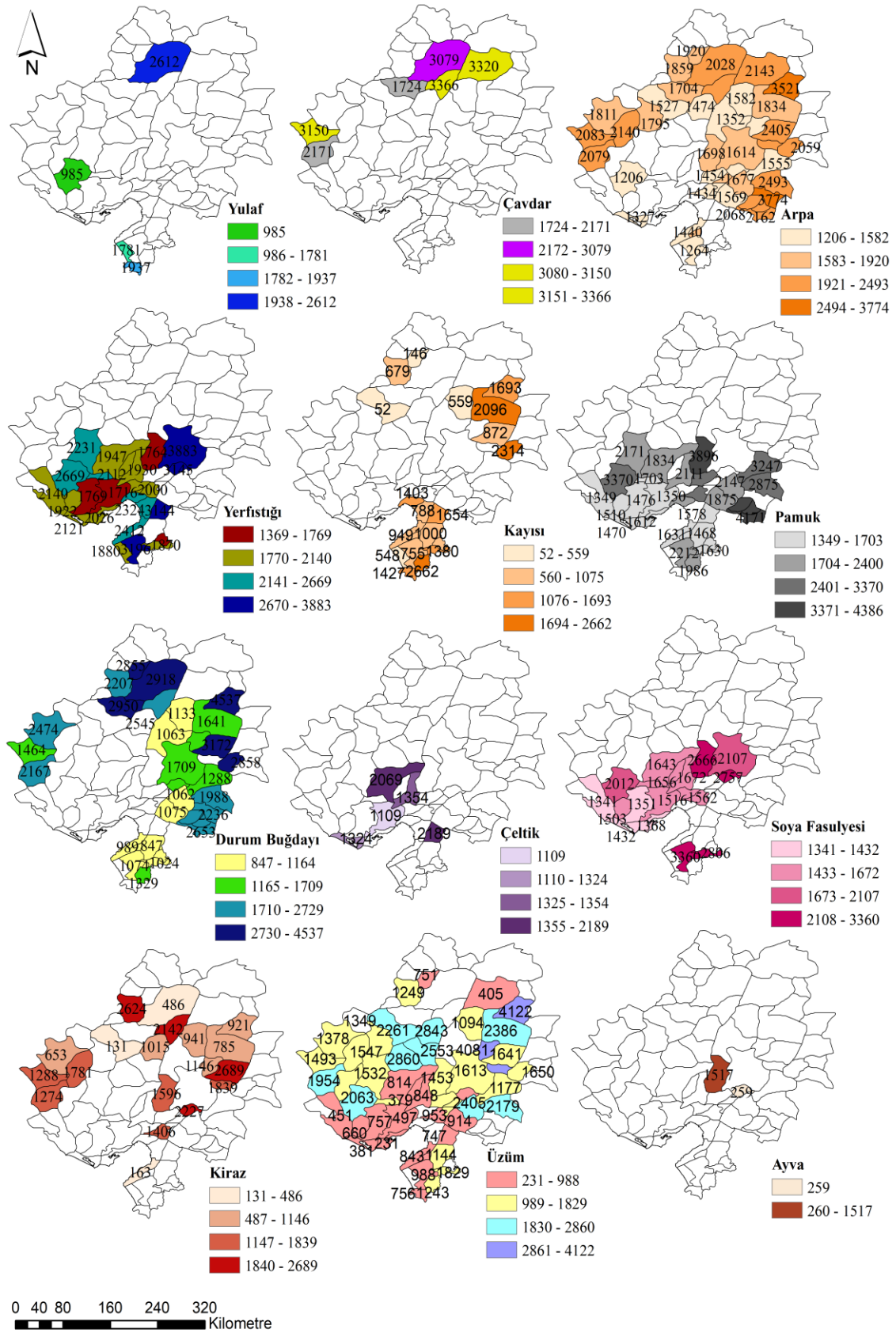


Şekil 4.10. Havzalardaki en yüksek 24 tarımsal üründen son 12'sinin toplam su ayak izleri (milyon m³)

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de havzalarda 2008-2018 yıllarında üretilen tarımsal ürünlerden toplam sanal su muhtevası en yüksek 24 tarımsal ürünün sanal su muhtevası haritaları verilmiştir. Haritalar analiz edildiğinde sadece beş ilçede (İslahiye, Şehitkamil, Nurdağı, Pazarcık ve Türkoğlu ilçeleri) üretimi yapılan antepfıstığı ürününün en yüksek mavi (24552 m³/ton), yeşil (4324 m³/ton) ve toplam (28877 m³/ton) sanal su muhtevalarına sahip olduğu saptanmıştır. Toplam (7122 m³/ton) ve mavi (6561 m³/ton) sanal su muhtevası yüksek ikinci ürün sadece Adıyaman ilinin Gölbaşı ilçesinde üretilen tütün ürünü olmuştur. Havzalar genelinde geniş yelpazede üretilip toplam sanal su muhtevaları yüksek olan tarımsal ürünler buğday (2769 m³/ton), nohut (4176 m³/ton), arpa (1901 m³/ton) ve üzüm (1108 m³/ton) ürünleri olarak belirlenmiştir. Öte yandan daha dar alanda yetişip toplam sanal su muhtevası yüksek olan tarımsal ürünler antepfıstığı, aspir (3185 m³/ton), badem (4277 m³/ton), yulaf (2249 m³/ton), çavdar (2043 m³/ton), çeltik (1508 m³/ton) ve ayva (965 m³/ton) ürünleri olarak tespit edilmiştir. Havzalarda üretilen tarımsal ürünlerden yeşil sanal su muhtevasının mavi sanal su muhtevasından yüksek olan ürünler arpa, taze bakla, buğday, çavdar, durum buğdayı, kara lahana, marul, tohumluk soğan, yeşil soğan, turp ve yulaf ürünleri olarak saptanmıştır. Mavi sanal su muhtevası 2000 m³/ton’un üzerindeki tarımsal ürünler antepfıstığı, tütün, susam (4385 m³/ton), badem (3464 m³/ton), nohut (2929 m³/ton), yeşil mercimek (2838 m³/ton), yağlık zeytin (2588 m³/ton), aspir (2268 m³/ton), kuru fasulye (2213 m³/ton), sofralık zeytin (2151 m³/ton), ceviz (2146 m³/ton) ve ayçiçeği (2051 m³/ton) ürünlerinde bulunmuştur. Yeşil sanal su muhtevası 1000 m³/ton’un üzerindeki tarımsal ürünler ise sırasıyla antepfıstığı, buğday (2109 m³/ton), yulaf (1562 m³/ton), arpa (1303 m³/ton), nohut (1247 m³/ton), susam (1231 m³/ton), çavdar (1181 m³/ton), sofralık zeytin (1179 m³/ton), yağlık zeytin (1064 m³/ton) ve yeşil mercimek (1026 m³/ton) ürünleri olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Havzalardaki en yüksek 24 tarımsal ürünün ilk 12'sinin toplam sanal su muhtevaları (m³/ton)



Şekil 4.12. Havzalardaki en yüksek 24 tarımsal üründen son 12'sinin toplam sanal su muhtevaları (m³/ton)

4.2.1. Seyhan Havzasının tarımsal su ayak izi

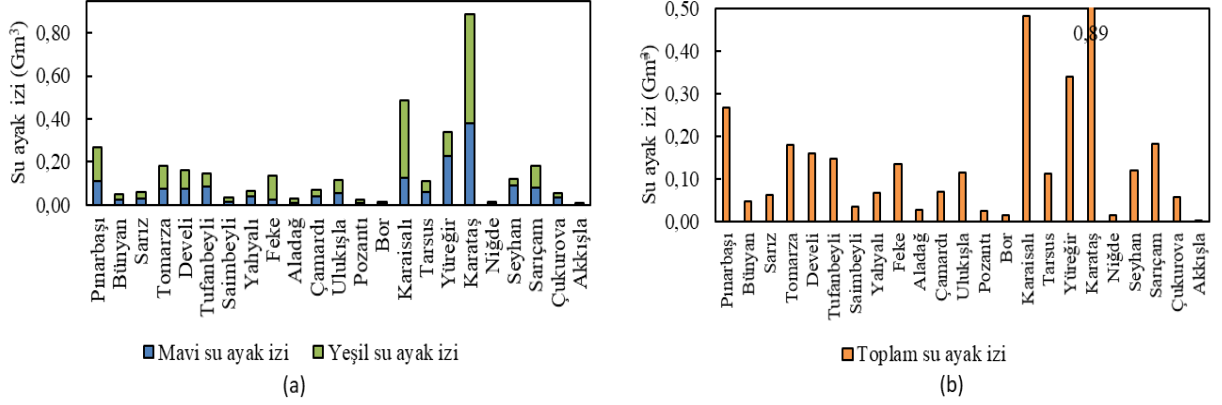
Seyhan havzası kapsamında 23 ilçenin ve toplam 54 tarımsal ürünün su ayak izi analiz edilmiştir. Mevcut ilçelerde yapılan tarımsal ürünlerin üretim miktarı ve ekilen alanları sırasıyla 6.34 milyon ton ve 8.62 milyon dekar iken havza sınırları içerisindeki ilçelerde toplam üretim miktarı ve ekilen alan sırasıyla 3.76 milyon ton ve 7.32 milyon dekar olmaktadır. Tablo 4.3'te Seyhan havzasındaki 23 ilçenin toplam su ayak izleri, havza sınır içinde kalan kısımlarının su ayak izleri, kişi başına düşen toplam su ayak izleri ve alan başına düşen toplam su ayak izleri verilmiştir.

Tablo 4.3. Seyhan Havzasındaki ilçelerin su ayak izi sonuçları

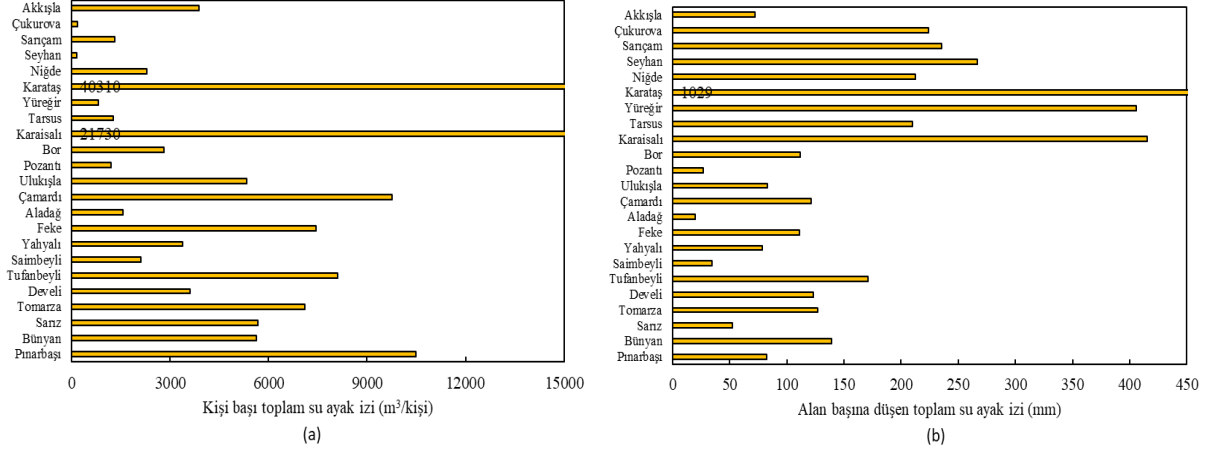
İlçe	Mavi Su Ayak İzi (Mm ³)	Yeşil Su Ayak İzi (Mm ³)	Toplam Su Ayak İzi (Mm ³)	Havza İçi Mavi Su Ayak İzi (Mm ³)	Havza İçi Yeşil Su Ayak İzi (Mm ³)	Havza İçi Toplam Su Ayak İzi (Mm ³)	Kişi Başı Toplam Su Ayak İzi (m ³ /kişi)	Alan Başı Toplam Su Ayak İzi (mm)
Pınarbaşı	118.37	162.94	281.31	112.12	154.34	266.45	10495.02	82.30
Bünyan	75.04	93.63	168.67	20.95	26.14	47.09	5621.46	139.39
Sarız	27.32	33.85	61.17	27.32	33.85	61.17	5675.37	52.15
Tomarza	76.32	102.34	178.67	76.32	102.34	178.67	7113.8	127.16
Develi	110.38	122.42	232.80	75.88	84.15	160.02	3597.23	123.04
Tufanbeyli	83.04	62.69	145.72	83.04	62.69	145.72	8097.65	171.24
Saimbeyli	12.10	22.36	34.46	12.10	22.36	34.46	2107.73	34.85
Yahyalı	68.55	56.28	124.84	36.42	29.90	66.33	3370.52	78.66
Feke	23.70	111.40	135.09	23.70	111.40	135.09	7437.98	110.91
Aladağ	8.19	18.32	26.51	8.19	18.32	26.51	1559.54	19.78
Çamardı	76.37	64.32	140.69	37.52	31.60	69.12	9761.88	120.97
Ulukışla	55.79	58.12	113.91	55.48	57.80	113.27	5332.78	82.85
Pozantı	7.99	16.06	24.05	7.99	16.10	24.05	1190.11	26.75
Bor	94.38	76.05	170.43	7.62	6.14	13.75	2813.27	111.98
Karaisalı	126.01	357.48	483.49	126.01	357.48	483.49	21730.47	415.01
Tarsus	234.55	191.71	426.26	60.91	49.79	110.70	1254.9	210.08
Yüreğir	225.33	113.54	338.86	225.33	113.54	338.86	805.84	405.83
Karataş	377.76	509.08	886.84	377.76	509.08	886.84	40310.14	1028.82
Niğde	260.69	210.94	471.64	7.74	6.26	14.01	2292.84	212.16
Seyhan	87.51	31.02	118.53	87.51	31.02	118.53	154.26	266.96
Sarıçam	78.56	102.80	181.35	78.56	102.80	181.35	1305.57	235.53
Çukurova	32.13	23.88	56.01	32.13	23.88	56.01	163.24	224.03
Akkışla	10.73	16.09	26.82	0.98	1.47	2.45	3879.13	72.28
Toplam	2270.68	2557.36	4828.10	1581.56	1952.40	3533.95	1709.8	171.48

Şekil 4.13'te Seyhan havzasındaki ilçelerin ve bu ilçelerin havza içinde kalan kısımlarında üretilen tarımsal ürünlerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri gösterilmiştir. En yüksek mavi, yeşil ve toplam su ayak izine sahip olan Karataş ilçesidir. Yeşil ve toplam su ayak izi yüksek ikinci ise ilçe Karaisalı ilçesidir. Mavi su ayak izi yüksek ikinci ilçe Yüreğir olmasına karşın toplam su ayak izi yüksek üçüncü ilçe olmaktadır. Şekil 4.14 incelendiğinde kişi başına düşen toplam su ayak izinin en

yüksek su ayak izine sahip olan Karataş ilçesinde olduğu görülmektedir. İkinci yüksek su ayak izine sahip olan Karaisalı ilçe olmaktadır. Öte yandan üçüncü yüksek su ayak izine sahip olan Yüreğir ilçesinde kişi başına düşen su ayak izi $805.83 \text{ m}^3/\text{kişi}$ olup havzadaki sıralamaya göre sonlarda olmaktadır. Alan başına düşen toplam su ayak izi ise yüksek olduğu on ilçe sırasıyla Karataş, Karaisalı, Yüreğir, Seyhan, Sarıçam, Çukurova, Niğde (Merkez), Tarsus, Turfanbeyli ve Bünyan ilçeleridir.



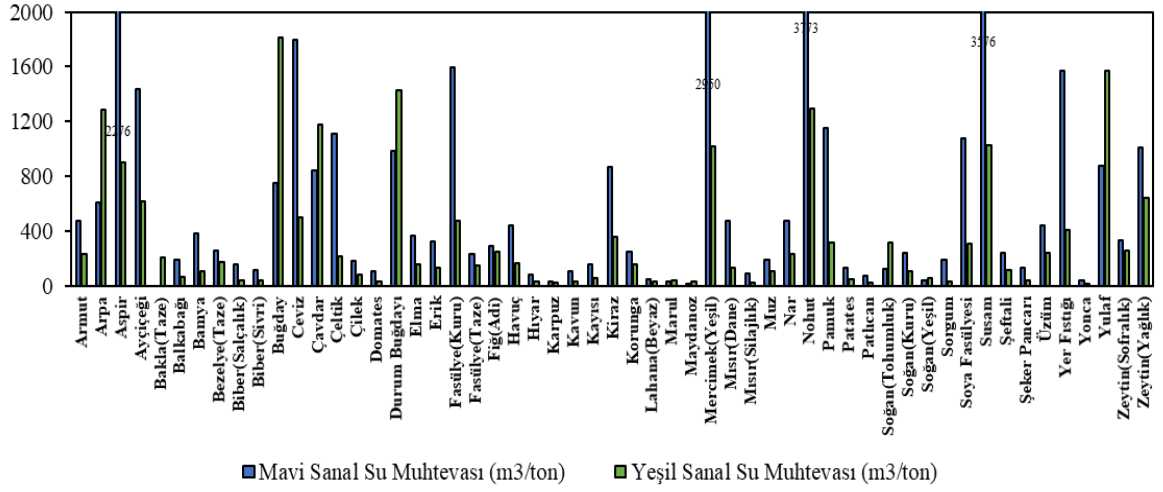
Şekil 4.13. Seyhan havzasındaki ilçelerin mavi ve yeşil (a) ile toplam (b) su ayak izleri



Şekil 4.14. Seyhan havzasındaki ilçelerde kişi başına ve alan başına düşen toplam su ayak izleri

Seyhan havzasının sınırları içinde üretimi yapılan 54 tarımsal ürünlerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri ve sanal su muhtevaları (Şekil 4.15) Ekler bölümündeki EK-6'da ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu ürünlerden toplam su ayak izi en yüksek ilk on ürün sırasıyla buğday, arpa, mısır (dane), pamuk, elma, patates, ayçiçeği, üzüm, soya fasulyesi ve çavdardır. Havzada mavi su ayak izi en yüksek ilk on ürün sırasıyla buğday, mısır (dane), pamuk, elma, arpa, patates, ayçiçeği, soya fasulye, üzüm ve şeker

pancarıdır. Havzada yeşil su ayak izi en yüksek ilk on ürün ise sırasıyla buğday, arpa, mısır (dane), elma, pamuk, çavdar, ayçiçeği, üzüm, patates ve durum buğdayıdır.



Şekil 4.15. Seyhan havzasında üretilen tarımsal ürünlerin mavi ve yeşil sanal su muhtevası

Şekil 4.15 incelendiğinde Seyhan havzasında mavi sanal su muhtevası 1000 m³/ton ‘dan yüksek olan ürünler nohut (3773 m³/ton), susam (3575 m³/ton), yeşil mercimek (2950 m³/ton), aspir (2276 m³/ton), ceviz (1795 m³/ton), kuru fasulye (1592 m³/ton), yer fıstığı (1567 m³/ton), ayçiçeği (1433 m³/ton), pamuk (1149 m³/ton), çeltik (1111 m³/ton), soya fasulyesi (1077 m³/ton) ve yağlık zeytin (1008 m³/ton) ürünleridir. Seyhan havzasında üretilen tarımsal ürünlerde yeşil su muhtevası 1000 m³/ton ‘dan yüksek olan ürünler ise buğday (1816 m³/ton), yulaf (1572 m³/ton), durum buğdayı (1426 m³/ton), nohut (1298 m³/ton), arpa (1285 m³/ton), çavdar (1177 m³/ton), susam (1024 m³/ton) ve yeşil mercimek (1018 m³/ton)’tir. Havzada yetiştirilen ürünler dikkate alındığında mavi sanal su muhtevası yüksek ürünler su kıtlığını tetiklediği için yeşil sanal su muhtevası yüksek ürünlerin yetiştirilmesi su tasarrufu açısından oldukça önemlidir. Dolayısıyla Seyhan havzasında üretilen tarımsal ürünlerin su tasarrufu açısından önemli olan ürünler (yeşil sanal su muhtevası mavi sanal su muhtevasından yüksek olan) buğday, yulaf, durum buğdayı, arpa, çavdar, tohumluk soğan, taze bakla, yeşil soğan, marul ve maydanoz ürünlerdir. Bu ürünler değerlendirildiğinde Seyhan havzasında su tasarrufu sağlayan ürünler ağırlıklı olarak tahıl ürünleri olmaktadır.

4.2.2. Ceyhan Havzasının tarımsal su ayak izi

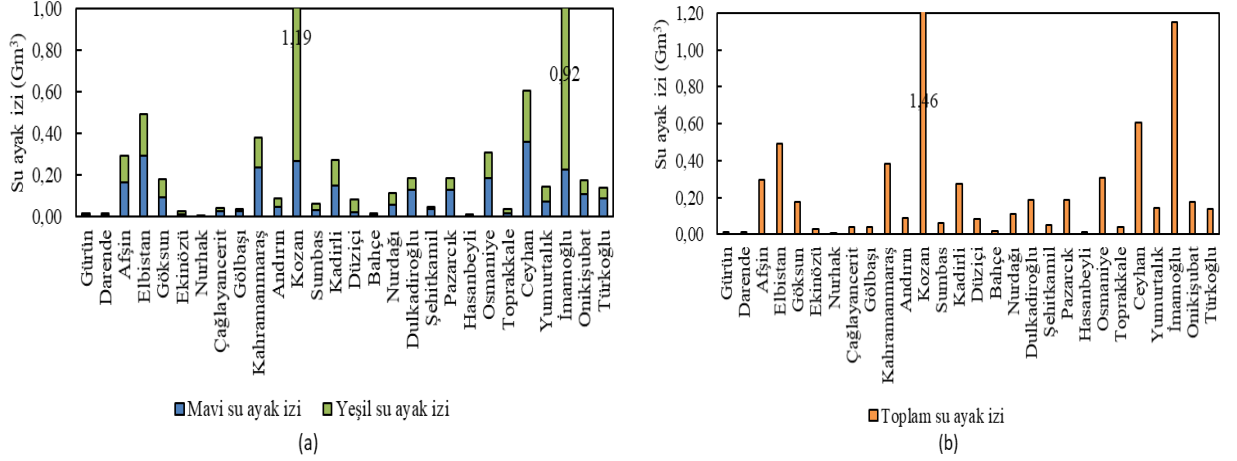
Mevcut çalışmada hesaplanan en fazla ilçeye ve en fazla tarımsal ürüne sahip olan havza Ceyhan havzasıdır. Çalışma kapsamında Ceyhan havzasında 28 ilçe ve 61 tarımsal ürün değerlendirilmeye alınmıştır. Tablo 4.4'te Ceyhan havzasındaki 28 ilçenin toplam su ayak izleri, havza sınır içinde kalan kısımlarının su ayak izleri, kişi başına düşen toplam su ayak izleri ve alan başına düşen toplam su ayak izleri verilmiştir.

Tablo 4.4. Ceyhan Havzasındaki ilçelerin su ayak izi sonuçları

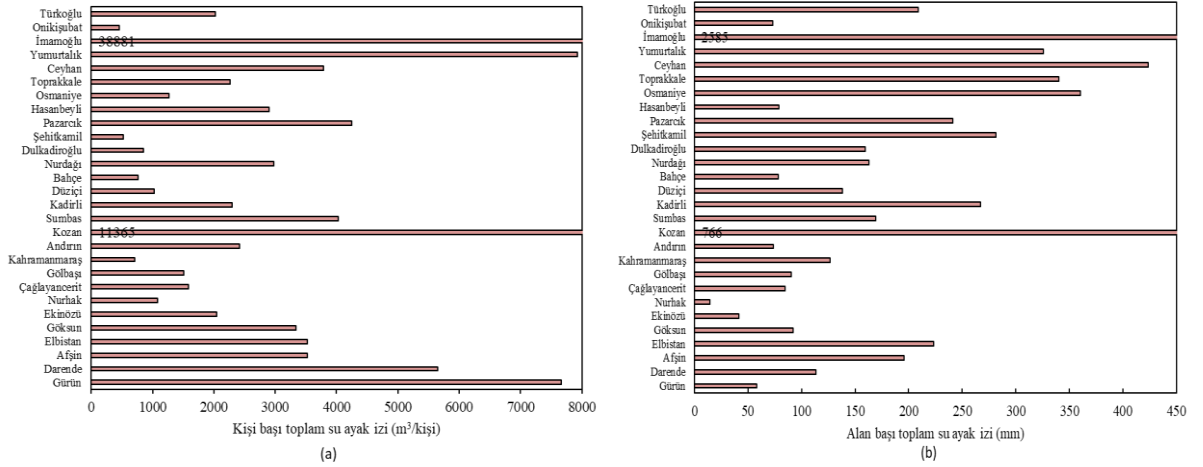
İlçe	Mavi Su Ayak İzi (Mm ³)	Yeşil Su Ayak İzi (Mm ³)	Toplam Su Ayak İzi (Mm ³)	Havza İçi Mavi Su Ayak İzi (Mm ³)	Havza İçi Yeşil Su Ayak İzi (Mm ³)	Havza İçi Toplam Su Ayak İzi (Mm ³)	Kişi Başı Toplam Su Ayak İzi (m ³ /kişi)	Alan Başı Toplam Su Ayak İzi (mm)
Gürün	84.70	68.50	153	7.75	6.27	14	7662.55	58.23
Darende	115	53	168	9.83	4.52	14.40	5648.51	113.52
Afşin	163	131	294	163	131	294	3528.61	195.70
Elbistan	295	197	492	295	197	492	3520.66	223.32
Göksun	91.90	87.10	179	91.90	87.10	179	3333.92	92.19
Ekinözü	12.60	14.70	27.30	12.60	14.70	27.30	2043.99	41.58
Nurhak	8.73	5.86	14.60	2.79	1.87	4.66	1080.88	14.19
Çağlayancerit	25.20	14.60	39.90	25.20	14.60	39.90	1590.34	84.83
Gölbaşı	45.40	27.10	72.50	24.80	14.80	39.50	1503.81	90.59
Kahramanmaraş	236	146	382	236	146	382	714.27	126.82
Andırın	46.50	41.80	88.30	46.50	41.80	88.30	2422.01	73.46
Kozan	270	1190	1460	270	1190	1460	11364.97	765.81
Sumbas	30.50	30.10	60.60	30.50	30.10	60.60	4029.14	169.15
Kadirli	152	120	272	152	120	272	2298.19	266.77
Düziçi	20.20	61.80	82	20.20	61.80	82	1030.79	137.87
Bahçe	5.12	11.20	16.30	5.12	11.20	16.30	767.94	78.28
Nurdağı	58.20	55.30	114	58.20	55.30	114	2977.19	162.85
Dulkadiroğlu	130	57.40	188	130	57.40	188	853.45	159.64
Şehitkamil	279	83.70	363	37.60	11.30	48.90	528.49	281.26
Pazarcık	208	94.50	302	129	58.90	188	4242.21	241.03
Hasanbeyli	3.52	9.75	13.30	3.52	9.75	13.30	2903.34	78.95
Osmaniye	184	125	310	184	125	310	1269.38	360.52
Toprakkale	18.60	19.50	38.10	18.60	19.50	38.10	2267.9	340.05
Ceyhan	360	244	604	360	244	604	3792.2	423.69
Yumurtalık	73.60	72.10	146	73.60	72.10	146	7926.99	325.97
İmamoğlu	229	921	1150	229	921	1150	38880.73	2584.86
Onikişubat	110	67.80	178	110	67.80	178	456.37	73.19
Türkoğlu	89.20	48.50	138	89.20	48.50	138	2023.06	208.74
Toplam	3350	4000	7340	2820	3760	6580	2521.68	257.22

Şekil 4.16'da Ceyhan havzası sınırında kalan ilçeler üretilen tarımsal ürünlerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri gösterilmiştir. En yüksek yeşil ve toplam su ayak izine sahip olan beş ilçe Kozan, İmamoğlu, Ceyhan, Elbistan ve Kahramanmaraş (Merkez) ilçeleridir. Havzada mavi su ayak izi yüksek ilk beş ilçe ise sırasıyla Ceyhan, Elbistan, Kozan, Kahramanmaraş (Merkez) ve İmamoğlu ilçeleridir. Şekil 4.17

incelendiğinde kişi başına düşen toplam su ayak izi en yüksek ilk on ilçe sırasıyla İmamoğlu, Kozan, Yumurtalık, Gürün, Darende, Pazarcık, Sumbas, Ceyhan, Afşin ve Elbistan ilçeleri olmaktadır. Alan başına düşen toplam su ayak izinin ise yüksek olduğu on ilçe sırasıyla İmamoğlu, Kozan, Ceyhan, Osmaniye, Toprakkale, Yumurtalık, Şehitkamil, Kadirli, Pazarcık ve Elbistan ilçeleri olmaktadır.



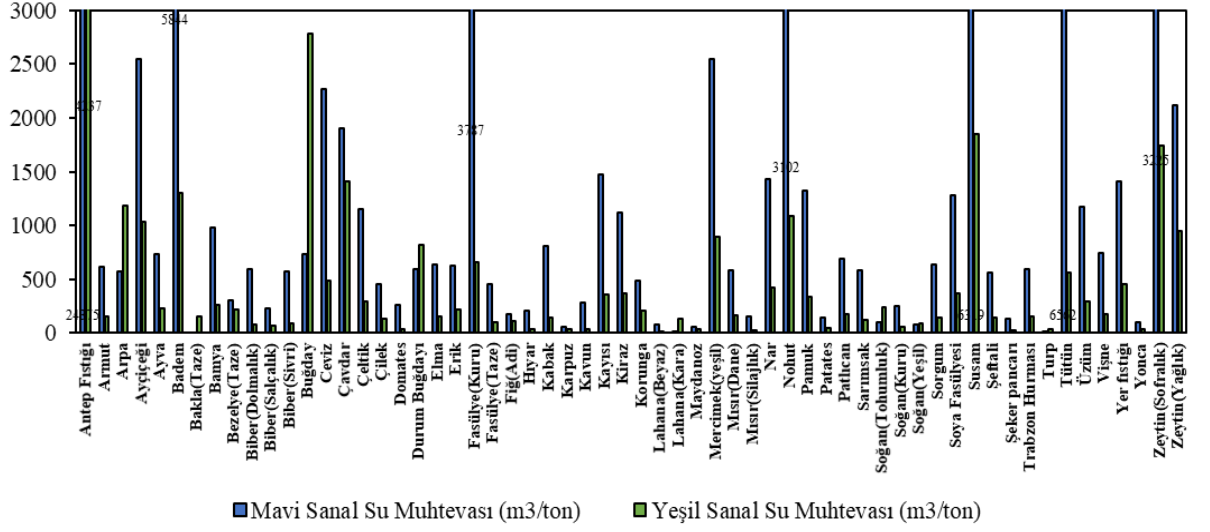
Şekil 4.16. Ceyhan havzasındaki ilçelerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri



Şekil 4.17. Ceyhan havzasındaki ilçelerde kişi başına ve alan başına düşen su ayak izleri

Ceyhan havzasının sınırları içinde üretimi yapılan 61 tarımsal ürünlerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri ve sanal su muhtevaları (Şekil 4.18) Ekler bölümündeki EK-7’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu ürünlerden toplam su ayak izi en yüksek ilk on ürün sırasıyla buğday, mısır (dane), üzüm, ayçiçeği, antepfıstığı, arpa, durum buğdayı, zeytin (yağlık), kavun ve kayısıdır. Havzada mavi su ayak izi en yüksek ilk on ürün sırasıyla buğday, mısır (dane), üzüm, antepfıstığı, ayçiçeği, kavun, kayısı, zeytin (yağlık), pamuk ve yerfıstığıdır. Havzada yeşil su ayak izi en yüksek ilk on ürün ise

sırasıyla buğday, mısır (dane), arpa, durum buğdayı, üzüm, ayçiçeği, zeytin (yağlık), antepfıstığı, yerfıstığı ve kavundur.



Şekil 4.18. Ceyhan havzasında üretilen tarımsal ürünlerin mavi ve yeşil sanal su muhtevası

Şekil 4.18 değerlendirildiğinde Ceyhan havzasında mavi sanal su muhtevası 1000 m³/ton 'un üzerinde olan ürünler Antep fıstığı (24374 m³/ton), tütün (6562 m³/ton), susam (6319 m³/ton), badem (5844 m³/ton), kuru fasulye (3787 m³/ton), sofralık zeytin (3225 m³/ton), nohut (3102 m³/ton), ayçiçeği (2551 m³/ton), yeşil mercimek (2548 m³/ton), ceviz (2273 m³/ton), yağlık zeytin (2122 m³/ton), çavdar (1905 m³/ton), kayısı (1479 m³/ton), nar (1431 m³/ton), yer fıstığı (1407 m³/ton), pamuk (1325 m³/ton), soya fasulyesi (1280 m³/ton), üzüm (1169 m³/ton), çeltik (1149 m³/ton) ve kirazdır (1123 m³/ton). Ceyhan havzasında üretilen tarımsal ürünlerde yeşil sanal su muhtevası 1000 m³/ton 'un üzerinde olan ürünler Antep fıstığı (4237 m³/ton), buğday (2782 m³/ton), susam (1846 m³/ton), sofralık zeytin (1748 m³/ton), çavdar (1414 m³/ton), badem (1300 m³/ton), arpa (1187 m³/ton), nohut (1091 m³/ton) ve ayçiçeğidir (1037 m³/ton). Ceyhan havzasında su tasarrufu açısından önemli olan ürünler ise (yeşil sanal su muhtevası mavi sanal su muhtevasından yüksek olan ürünler) buğday, arpa, durum buğdayı, tohumluk soğan, taze bakla, kara lahana, yeşil soğan ve turptur.

4.2.3. Asi Havzasının tarımsal su ayak izi

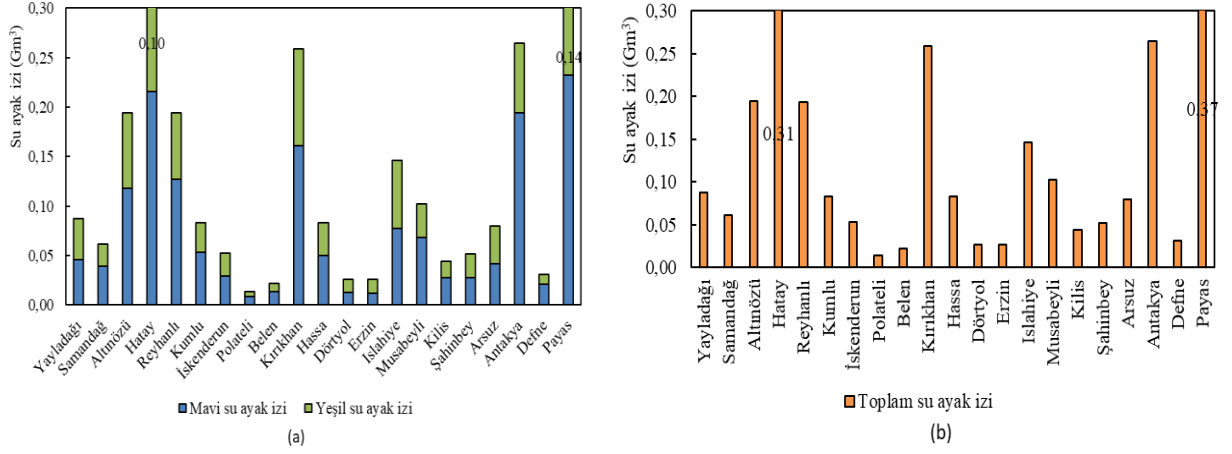
Mevcut çalışmada hesaplanan en az ilçeye ve en az tarımsal ürüne sahip olan son havzamız Asi havzasıdır. Çalışma kapsamında Asi havzasında 21 ilçe ve 52 tarımsal ürün değerlendirilmeye alınmıştır. Tablo 4.5'te Asi havzasındaki 21 ilçenin toplam su

ayak izleri, havza sınır içinde kalan kısımlarının su ayak izleri, kişi başına düşen toplam su ayak izleri ve alan başına düşen toplam su ayak izleri verilmiştir.

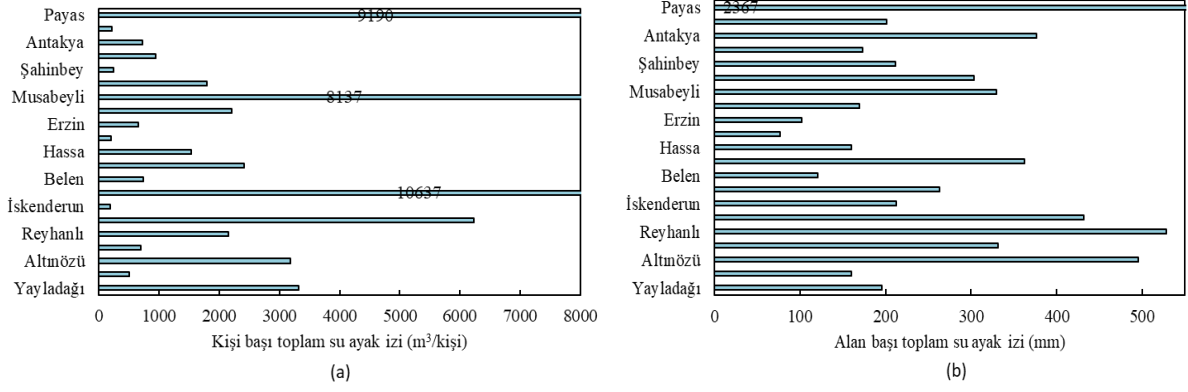
Tablo 4.5. Asi Havzasındaki ilçelerin su ayak izi sonuçları

İlçe	Mavi Su Ayak İzi (Mm ³)	Yeşil Su Ayak İzi (Mm ³)	Toplam Su Ayak İzi (Mm ³)	Havza İçi Mavi Su Ayak İzi (Mm ³)	Havza İçi Yeşil Su Ayak İzi (Mm ³)	Havza İçi Toplam Su Ayak İzi (Mm ³)	Kişi Başı Toplam Su Ayak İzi (m ³ /kişi)	Alan Başı Toplam Su Ayak İzi (mm)
Yayladağı	46.10	41	87.10	46.10	41	87.10	3322.2	195.66
Samandağ	39.40	22.10	61.50	39.40	22.10	61.50	498.05	160.08
Altınözü	118	75.90	194	118	75.90	194	3181.99	495.57
Hatay	216	98.20	314	216	98.20	314	691.31	331.79
Reyhanlı	127	67	194	127	67	194	2155.05	528.35
Kumlu	53.20	30.10	83.30	53.20	30.10	83.30	6226	431.36
İskenderun	29.40	23.10	52.60	29.40	23.10	52.60	188.4	212.88
Polateli	35.20	22.10	57.30	8.30	5.23	13.50	10636.74	262.79
Belen	13.30	8.90	22.20	13.30	8.90	22.20	732.75	120.51
Kırıkhan	161	98.40	259	161	98.40	259	2408.06	362.57
Hassa	50.10	33.40	83.50	50.10	33.40	83.50	1529.77	160.57
Dört Yol	12.90	13.40	26.30	12.90	13.40	26.30	198.73	77
Erzin	12	14.40	26.50	12	14.40	26.50	649.38	102.55
İslahiye	77.80	68.70	146	77.80	68.70	146	2211.97	169.33
Musabeyli	76.10	37.90	114	68.50	34.20	103	8137.44	329.49
Kilis	116	69.10	185	27.80	16.60	44.40	1801.55	303.51
Şahinbey	108	94.50	203	27.80	24.30	52.10	248.99	211.23
Arsuz	41.70	38.40	80.10	41.70	38.40	80.10	949.69	173.46
Antakya	194	71	265	194	71	265	729.83	376.69
Defne	21.40	9.84	31.20	21.40	9.84	31.20	219.78	201.59
Payas	233	139	372	233	139	372	9190.4	2366.83
Toplam	1780	1080	2860	1580	933	2510	1065.45	310.35

Şekil 4.19’da Asi havzası sınırında kalan ilçeler üretilen tarımsal ürünlerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri gösterilmiştir. En yüksek toplam su ayak izine sahip olan on ilçe sırasıyla Payas, Hatay (Merkez), Antakya, Kırıkhan, Altınözü, Reyhanlı, İslahiye, Musabeyli, Yayladağı ve Hassa ilçeleridir. Havzada mavi su ayak izi yüksek ilk on ilçe sırasıyla Payas, Hatay (Merkez), Antakya, Kırıkhan, Reyhanlı, Altınözü, İslahiye, Musabeyli, Kumlu ve Hassa ilçeleridir. Yeşil su ayak izi en yüksek ilçeler ise Payas, Kırıkhan, Hatay (Merkez), Altınözü, Antakya, İslahiye, Reyhanlı, Yayladağı, Arsuz ve Musabeyli ilçeleridir. Şekil 4.20 incelendiğinde kişi başına düşen toplam su ayak izi en yüksek ilk on ilçe sırasıyla Polateli, Payas, Musabeyli, Kumlu, Yayladağı, Altınözü, Kırıkhan, İslahiye, Reyhanlı ve Kilis (Merkez) ilçeleri olmaktadır. Alan başına düşen toplam su ayak izinin ise yüksek olduğu on ilçe sırasıyla Payas, Reyhanlı, Altınözü, Kumlu, Antakya, Kırıkhan, Hatay (Merkez), Musabeyli, Kilis (Merkez) ve Polateli ilçeleri olmaktadır.

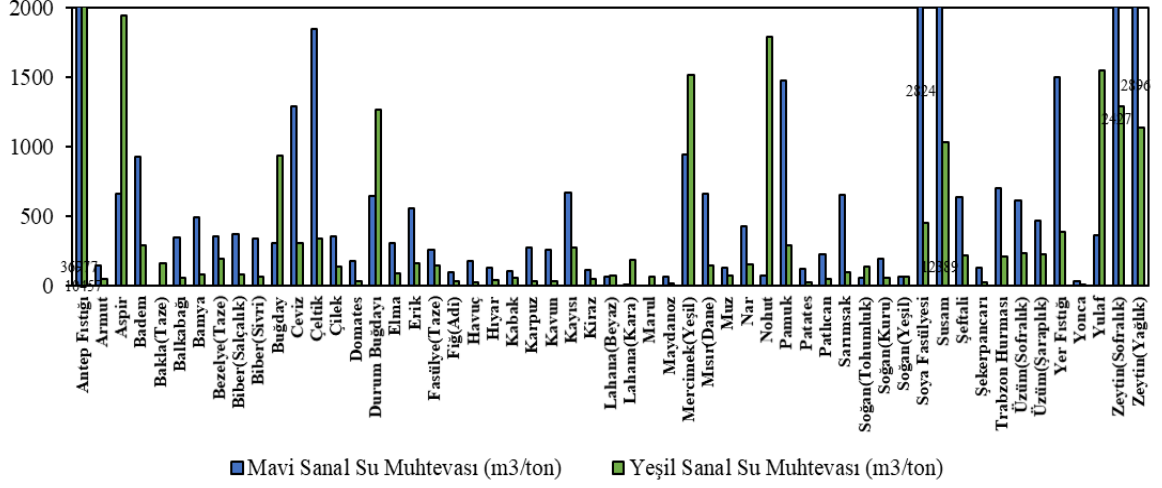


Şekil 4.19. Asi havzasındaki ilçelerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri



Şekil 4.20. Asi havzasındaki ilçelerde kişi başına ve alan başına düşen su ayak izleri

Asi havzasının sınırları içinde üretimi yapılan 52 tarımsal ürünlerin mavi, yeşil ve toplam su ayak izleri ve sanal su muhtevaları (Şekil 4.21) Ekler bölümündeki EK-8'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu ürünlerden toplam su ayak izi en yüksek ilk on ürün sırasıyla zeytin (yağlık), buğday, pamuk, mısır (dane), üzüm, arpa, durum buğdayı, soğan (kuru), domates ve zeytin (sofralık)dir. Havzada mavi su ayak izi en yüksek ilk on ürün sırasıyla zeytin (yağlık), pamuk, buğday, mısır (dane), üzüm, domates, soğan (kuru), zeytin (sofralık), durum buğdayı ve arpadır. Havzada yeşil su ayak izi en yüksek ilk on ürün ise sırasıyla buğday, zeytin (yağlık), pamuk, arpa, durum buğdayı, mısır (dane), üzüm, zeytin (sofralık), soğan (kuru) ve nohuttur.



Şekil 4.21. Asi havzasında üretilen tarımsal ürünlerin mavi ve yeşil sanal su muhtevası

Şekil 4.21 analiz edildiğinde Asi havzasında üretilen tarımsal ürünlerde mavi sanal su muhtevası 1000 m³/ton 'un üzerinde olan ürünler Antep fıstığı (36977 m³/ton), susam (12389 m³/ton), yağlık zeytin (2896 m³/ton), soya fasulyesi (2824 m³/ton), sofralık zeytin (2427 m³/ton), çeltik (1850 m³/ton), yer fıstığı (1506 m³/ton), pamuk (1483 m³/ton) ve cevizdir (1292 m³/ton). Havzada yeşil sanal su muhtevası 1000 m³/ton'dan fazla olan ürünler Antep fıstığı (10457 m³/ton), aspir (1948 m³/ton), nohut (1792 m³/ton), yulaf (1548 m³/ton), yeşil mercimek (1522 m³/ton), sofralık zeytin (1293 m³/ton), durum buğdayı (1270 m³/ton), yağlık zeytin (1143 m³/ton) ve susamdır (1037 m³/ton). Asi havzasında su tasarrufu açısından oldukça önemli olan ürünler (yeşil sanal su muhtevası mavi sanal su muhtevasından yüksek olan ürünler) aspir, nohut, yulaf, yeşil mercimek, durum buğdayı, buğday, kara lahana, taze bakla, tohumluk soğan, beyaz lahana ve maruldur.

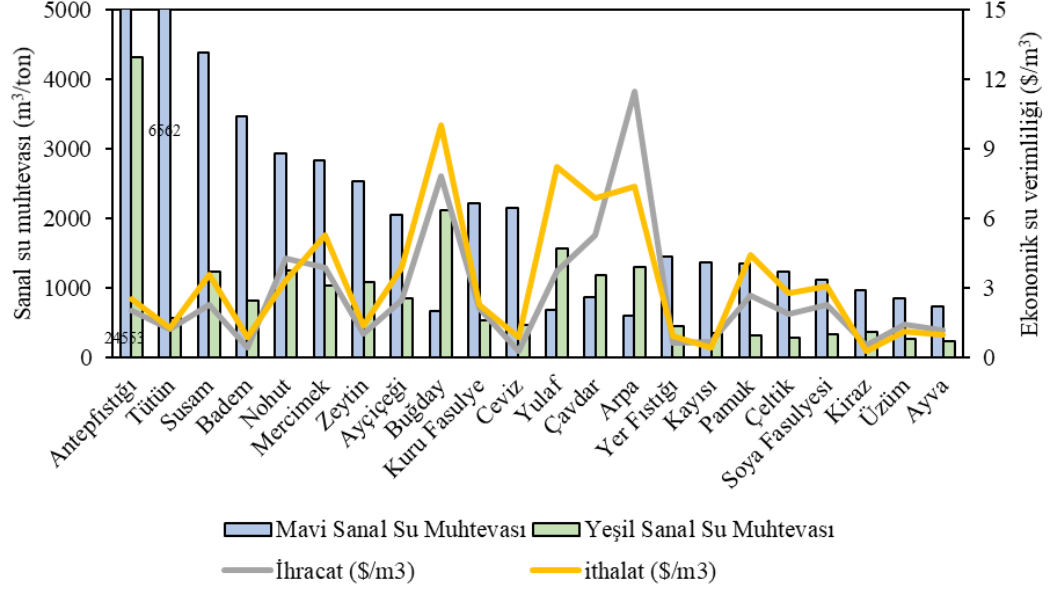
4.3. Tarımsal ürünlerin ekonomik su ve arazi verimliliği

Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarının 2008-2018 yılları arasında üretilen tarımsal ürünlerden sanal su muhtevası en yüksek 22 tarımsal ürünün ekonomik su verimliliği (Şekil 4.22) ve ekonomik arazi verimliliği (Şekil 4.23) analizleri yapılmıştır. Ekonomik su verimliliği, tarımsal ürünlerin kullanılan birim su başına (sanal su muhtevası) ekonomik değerini göstermektedir (Çalık, 2018). Ekonomik arazi verimliliği ise benzer şekilde ekilen alanın ha başına ekonomik değerini belirtmektedir (Schyns ve Hoekstra, 2014). Tablo 4.6'da mevcut havzalardaki en yüksek sanal su muhtevasına sahip tarımsal ürünlerin ithalat ve ihracatındaki miktarı (ton), değeri (bin \$), ortalama fiyatı (\$/ton) ile m³ ve ha bazında değerleri verilmiştir. Mevcut verilerin ihracat ve ithalat

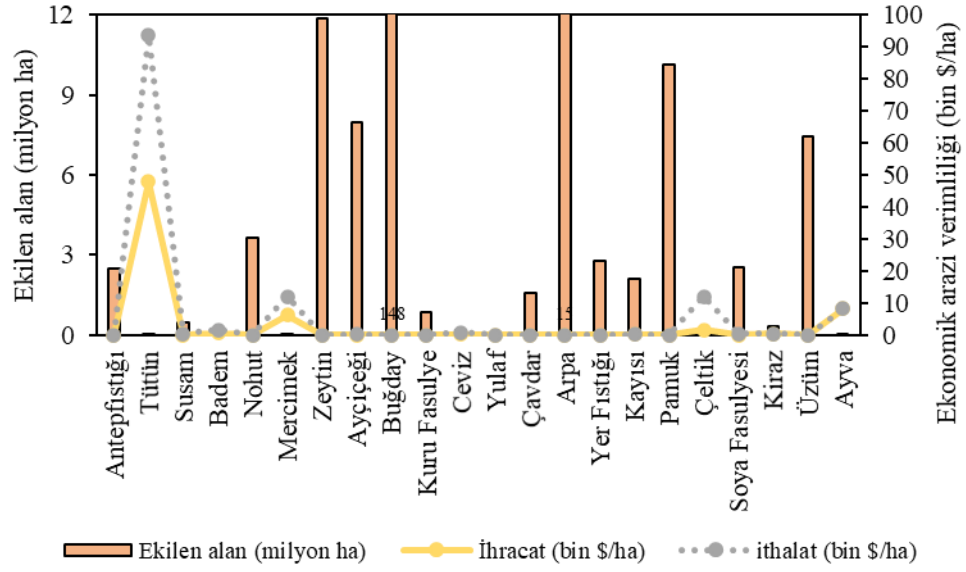
verilerinin miktarı ve değeri FAO veritabanından alınmıştır. Elde edilen veriler 2008-2018 yılları ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Mevcut analizler incelendiğinde 2008-2018 yıllarının ortalamasında toplam sanal su muhtevası en yüksek tarımsal ürün olan antepfıstığının ihraç edilen birim su başına ortalama kazanç (ekonomik değeri) 2.02 \$/m³ iken birim ha başına ortalama kazanç 20 (\$/ha) olarak ve ithal edilen birim su başına ortalama kazanç 2.51 \$/m³ iken birim ha başına ortalama kazanç 0.3 \$/ha olarak tespit edilmiştir. Değerlendirmeye alınan tarımsal ürünlerde miktar (ton) bazında en yüksek tarımsal ürün olan buğday ürününün ihraç edilen birim su başına ortalama kazanç 7.81 \$/m³ iken birim ha başına 10 \$/ha olarak ve ithal edilen birim su başına ortalama kazanç 10 \$/m³ iken birim ha başına ortalama kazanç 10 \$/ha olarak bulunmuştur. Mevcut tarımsal ürünlerden tütün ürününün ithal ve ihraç edilen birim ha başına en yüksek ortalama kazancının yüksek olmasının temel nedeni ekilen alan miktarının oldukça düşük olmasıdır.

Tablo 4.6. Havzalardaki bazı tarımsal ürünlerin 2008-2018 yılları ortalama ithalat ve ihracat verileri

Ürünler	İhracat Verileri					İthalat Verileri				
	Miktar (ton)	Değer (bin \$)	\$/ton	\$/m ³	bin \$/ha	Miktar (ton)	Değer (bin \$)	\$/ton	\$/m ³	bin \$/ha
Antepfıstığı	2665.27	38117.73	14301.62	2.02	0.02	66.91	771.27	11527.17	2.51	0.0003
Tütün	87205.91	503898.18	5778.26	1.23	47.93	86782.18	487996.09	5623.23	1.27	45.61
Susam	4425.36	10878.82	2458.29	2.28	0.02	115482.64	181210.55	1569.16	3.58	0.38
Badem	5996.64	61167.82	10200.35	0.42	0.65	17427	84817.45	4867.01	0.88	0.91
Nohut	46424.27	45498.27	980.05	4.26	0.01	37557.27	47665.64	1269.15	3.29	0.01
Mercimek	199307.45	198759.36	997.25	3.88	6.14	263811.18	192737.09	730.59	5.29	5.95
Zeytin	35770.64	125683.18	3513.59	1.03	0.01	865.64	2271.09	2623.61	1.38	0.0002
Ayçiçeği	361721.82	428412.18	1184.37	2.45	0.05	1204419.4	904177.64	750.72	3.86	0.11
Buğday	2637483.2	935421.73	354.66	7.81	0.01	4274153.6	1183468.8	276.89	10	0.01
Kuru Fasulye	6439.09	8392.36	1303.35	2.10	0.01	39073.91	47020.55	1203.37	2.28	0.05
Ceviz	3287.73	36084.64	10975.56	0.24	0.20	39107.91	120894.73	3091.31	0.85	0.66
Yulaf	18.09	10.91	603.02	3.73	0.00	2084.82	569.55	273.19	8.23	0.01
Çavdar	297.33	115.44	388.27	5.26	0.00	2565.14	761.71	296.95	6.88	0.0005
Arpa	86378	14277.45	165.29	11.5	0.00	247880.36	63929.64	257.91	7.37	0.0043
Yer Fıstığı	1666.64	4984.18	2990.56	0.63	0.00	8755.82	18694.36	2135.08	0.89	0.01
Kayısı	132116.73	339908	2572.79	0.66	0.16	773.91	3289.55	4250.56	0.40	0.002
Pamuk	17750.82	10951.27	616.94	2.69	0.00	9771.18	3684.18	377.05	4.40	0.0004
Çeltik	44177.64	36079.36	816.69	1.85	1.54	452302.36	246534.27	545.07	2.77	10.50
Soya	74960.82	47735	636.80	2.26	0.02	2341934.9	1101632.5	470.39	3.06	0.43
Fasulyesi										
Kiraz	57839.27	146357.73	2530.42	0.52	0.42	13.45	67.09	4986.49	0.26	0.0002
Üzüm	213166	165333.18	775.61	1.43	0.02	654.91	646	986.40	1.12	0.0001
Ayva	11058.73	9366.64	846.99	1.14	8.18	23.50	23.20	987.23	0.98	0.02



Şekil 4.22. Ekonomik su verimliliği



Şekil 4.23. Ekonomik arazi verimliliği

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. TARTIŞMA

Kişi başına (toplam su ayak izinin nüfusa oranı) ve alan başına (toplam su ayak izinin arazi alanına oranı) düşen su ayak iyi miktarları farklı yerler arasında kıyaslama yapmak için oldukça önemlidir. Hoekstra ve Chapagain (2006) tarafından yapılan çalışmada kişi başına düşen su ayak izinin dünya ortalaması $1240 \text{ m}^3/\text{yıl}/\text{kişi}$ olarak belirlenmiştir. Muratoğlu ve Avanoz (2021) tarafından yapılan analiz sonucuna göre ise Türkiye’de kişi başına düşen su ayak izi miktarı $1392 \text{ m}^3/\text{yıl}/\text{kişi}$ ’dir. Mevcut çalışma kapsamında ise kişi başına düşen su ayak izi miktarı Seyhan havzasında $1709 \text{ m}^3/\text{yıl}/\text{kişi}$, Ceyhan $2521 \text{ m}^3/\text{yıl}/\text{kişi}$ ve Asi $1065 \text{ m}^3/\text{yıl}/\text{kişi}$ olup dünya ve Türkiye ortalamasının sırasıyla Seyhan havzasında 1.37 ile 1.23 katına, Ceyhan havzasında 2.03 ile 1.81 katına ve Asi havzasında 0.85 ile 0.76 katına denk gelmektedir. Seyhan ve Ceyhan havzasındaki kişi başına düşen su ayak izi miktarı dünya ve Türkiye ortalamasının üzerindeyken Asi havzasında bu miktar oldukça düşük kalmaktadır. Alan başına düşen su ayak izi ise Chapagain ve Hoekstra (2004)’nın yaptığı çalışma sonuca göre Türkiye’de ortalama 140 mm olup mevcut çalışmadaki Seyhan (171 mm), Ceyhan (257 mm) ve Asi (310 mm) havzaları bu ortalamanın üzerinde olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu ortalamanın Seyhan havzası 1.22 katına, Ceyhan havzası 1.83 katına ve Asi havzası 2.21 katına tekabül ettiği görülmüştür. Mekonnen ve Hoesktra (2011b) tarafından yapılan çalışmaya göre küresel ölçekte antropojenik etkenlerin çoğu yeşil suya bağlı olarak kabul edilmiştir. Mevcut çalışmada Seyhan ve Ceyhan havzalarında yeşil suya bağlılık daha yüksekken Asi havzasında mavi suya bağlılık daha yüksek tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında ağırlıklı olarak tahıl ürünlerinin yeşil su ayak izi mavi su ayak izinden yüksek olmaktadır. Yeşil su oranı daha yüksek olan tarımsal ürünler buğday, arpa, çavdar, yulaf, turp, kara lahana, taze bakla, yeşil ve tohumluk soğan ürünleri olup bu ürünler önemli ölçüde mavi su kullanım oranının düşürmektedir. Türkiye’de önemli bir ürün olan buğday ürününün dünya genelindeki su ayak izi 39 milyar m^3 olup mevcut çalışmada havzalarda üretilen buğdayın toplam su ayak izi bu miktarın %2’sini karşılamaktadır (Hoekstra ve Mekonnen, 2010). Avanoz (2020) tarafından yapılan araştırmada Türkiye’de 2008-2018 yılları arasında üretilen buğdayın su ayak izi ise 33.52 milyar m^3 olup mevcut havzalar kapsamında üretilen buğdayın toplam su ayak

izi bu miktarın %1.72'sine denk gelmektedir. Öte yandan havzalarda üretilen arpa, çavdar, yulaf, kara lahana ve taze bakla ürünleri de sırasıyla Türkiye'de üretilen miktarın %5, %7, %0.04, %5.5 ve %8.75'ine tekabül etmektedir. Havzalar genelinde toplam su ayak izi yüksek olan dane mısır, yağlık zeytin, pamuk, ayçiçeği, durum buğdayı, antepfıstığı, elma, yerfıstığı ve patates ürünleri sırasıyla ise Türkiye'de üretilen miktarın %0.3, %20.7, %19.6, %13, %5, %10, %18, %80 ve %22.52'ine denk gelmektedir. Ayrıca mevcut havzalar kapsamında 2008-2018 yılları arasında üretilen tarımsal ürünlerin toplam su ayak izi (12.62 milyar m³), Türkiye'de 2008-2018 yılları arasında üretilen tarımsal ürünlerin toplam su ayak izinin (106.85 milyar m³) %11.8'ine tekabül ettiği görülmüştür. Engin (2019) tarafından yapılan çalışmada pamuk ürününün 2016 ve 2018 yıllarındaki Hatay ve Adana illerinde toplam su ayak izleri sırasıyla 0.04-0.07 milyar m³ ve 0.22-0.55 milyar m³ iken mevcut çalışmada 2008-2018 yılları ortalaması Hatay ve Adana illerinin toplam su ayak izleri sırasıyla 0.46 ve 0.22 milyar m³ olarak saptanmıştır. İraz (2021) tarafından yapılan çalışmada Fırat Havzasında en yüksek yeşil, mavi ve toplam su ayak izine sahip olan tarımsal ürün buğday olmakta ve mevcut çalışmayla bu yönüyle benzerlik göstermektedir. Öte yandan mevcut çalışmayla benzerlik gösteren başka bir çalışma olan Muratoğlu (2019b) tarafından Dicle Havzası için yapılan çalışmada önemli ölçüde yüksek sanal su muhtevasına sahip olan antepfıstığı ürününe dikkat çekilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan sanal su muhtevası en yüksek diğer ürünler Türkiye ölçeğinde yapılan çalışmaya göre yaklaşık aynı miktarlara tekabül ettiği görülmüştür (Avanoz, 2020).

Mevcut çalışma kapsamında Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında üretilen buğday, durum buğdayı, tohumluk soğan ve taze bakla ürünleri su tasarrufu açısından büyük öneme sahip olan ürünler olarak saptanmıştır. Sadece Asi ve Seyhan havzalarında üretilen yulaf, aspir ve marul ürünleri de bu havzalarda su tasarrufu sağlayacağı tahmin edilmiştir. Kara lahana ürünü ise sadece Asi ve Ceyhan havzalarında üretildiği ve su tasarrufu açısından önemli olduğu belirlenmiştir. Nohut ve yeşil mercimek ürünleri üç havzada yetiştirilmesine karşın su tasarrufuna katkı sağlayacağı tek havza Asi havzası olacağı öngörülmektedir.

5.2. SONUÇ

Mevcut çalışmada 2008-2018 yılları arasında Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında 72 ilçe bazında üretilen 65 tarımsal ürünün su ayak izleri ve sanal su muhtevaları analiz edilmiş ve tartışılmıştır. Bu analizler için ilçelerin referans evapotranspirasyon hesaplamak amacıyla kullanılan meteorolojik istasyon değerlerinin alansal enterpolasyon yöntemiyle bitkisel evapotranspirasyon ve yağış değerlerinin alansal ve zamansal dağılımını gösteren haritalar oluşturulmuştur. Oluşturulan haritalardaki verilerle ilçelerin ve tarımsal ürünlerin su ayak izleri ve sanal su muhtevaları belirlenmiştir. Buna göre Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarında üretilen tarımsal ürünlerin toplam üretim miktarı 10.3 milyon ton ve ekilen alan miktarı 23.6 milyon dekar olarak saptanmıştır. Üç havzada üretilen tarımsal ürünlerin mavi su ayak izi 5.98 milyar m³, yeşil su ayak izi 6.65 milyar m³ ve toplam su ayak izi 12.6 milyar m³ olarak tahmin edilmiştir. Seyhan havzasında üretilen tarımsal ürünlerin %44 mavi suya %56'sı yeşil suya bağlı olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Ceyhan havzasında üretilen tarımsal ürünlerin %42'si mavi suya bağlıyken %58'si yeşil suya bağlı olduğu saptanmıştır. Asi havzasında ise yaklaşık %63'ü mavi suya bağlıyken %37'si yeşil suya bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Ulusal su ayak izi çalışmalarında havza ölçekli su ayak izi çalışmaları oldukça kısıtlıdır. Mevcut çalışmada Türkiye'nin önemli üç havza (Seyhan, Ceyhan ve Asi) ele alınarak tarımsal ürünlerin üretimiyle ilgili detaylı analizler yapılmıştır. Ayrıca havza sınırlarındaki ilçelerinde detaylı su ayak izleri hesaplanmıştır. Su ayak izi bileşenlerinden su kaynakları üzerinde ciddi sıkıntı oluşturabilecek olan mavi su ayak izi miktarları mevcut çalışma kapsamında ele alınan ilçelerde ve tarımsal ürünlerde azaltılması için tedbirler alınmalıdır. Bu bağlamda Türkiye'de havza ölçekli detaylı su ayak izi ve sanal su çalışmaları artırılarak ekonomiye yön vermesi öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- 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*, Ankara.
- Adnan, S., and Khan, A. H. (2009). Effective rainfall for irrigated agriculture plains of Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology*, 6(11), 61-72.
- Aktaş, S., ve Yılmaz, O. (2013). Meşçere taslak haritalarının mekansal tahmin yöntemleri ile üretilmesi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 62(2), 129-144. <https://doi.org/10.17099/jffiu.03344>
- Akyol, A., ve Tolunay, A. (2011). Sürdürülebilir Orman Yönetimi Ve Su Kaynakları Yönetim Politikaları. *TMMOB Orman Mühendisleri Odası*, 53(9), 1689–1699.
- Aldemir, E. (2016), Seyhan ve Ceyhan Havzalarının Çukurova Bölgesinin Hidrojeolojik İncelenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Ali, M. H., ve Mubarak, S. (2017). Effective rainfall calculation methods for field crops: an overview, analysis and new formulation. *Asian Research Journal of Agriculture*, 1-12. <https://doi.org/10.9734/arja/2017/36812>
- Ali, A. O. (2019). *Examining the water footprint concept in relation to sustainable water management, Libya*. Sheffield Hallam University (United Kingdom).
- Allan, J. A. (2002). Hydro-Peace in the Middle East. *SAIS Review (1989-2003)*, 22(2), 255-272.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109. <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>
- Mohammadi-Kanigolzar, F., Ameri, J. D., and Motee, N. (2014). Virtual water trade as a strategy to water resource management in Iran. *Journal of Water Resource and Protection*, 2014.
- Anaç, S., Özçakal, E., & Pamuk Mengü, G. (2011). Sanal su kavramı ve su yönetiminde önemi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 48(2), 159–164. <https://doi.org/10.20289/eüzfd.33731>
- Azam, A., Amin, A., Yaser, V. R., Kazem, J., and Naser, N. (2012). Agricultural water foot print and virtual water budget in Iran related to the consumption of crop products by conserving irrigation efficiency. *Journal of Water Resource and Protection*, 2012.

- Avanoz, Z. (2020), Türkiye’de tarımsal üretimin su ayak izinin hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.
- Bhat, S. A., Pandit, B. A., Khan, J. N., Kumar, R., and Jan, R. (2017). Water requirements and irrigation scheduling of maize crop using CROPWAT model. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 6, 1662-70.
- Bilbay, Ö. F. (2020), Bir kamu politikası olarak türkiye’de su yönetimi: Güneydoğu Anadolu projesi özelinde bir inceleme, Doktora Tezi, *Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Hatay.
- Çakmak, B., Yapılar, T., ve Aküzüm, T. (2006). Türkiye’de tarımda su yönetimi, sorunlar ve çözüm önerileri. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Su Politikaları Kongresi*, 2, 349-359.
- Çakmak, B., ve Gökalp, Z. (2013). Kuraklık ve tarımsal su yönetimi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (4), 1-11.
- Çalık, M. (2018). Ekonomik su kullanım verimliliğini değerlendirmede su ayak izi. *International congress on turkish geography social sciences research 1I*, March 2018.
- Çankaya, T. (2019), Atık Su Arıtma Tesislerinde Su Ayak İzi Hesaplama Yöntem Önerisi ve Haddelme-Galvanizleme Tesisinde Uygulama Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. <https://doi.org/10.37700/0033-2909.I26.1.78>.
- Chapagain, A. K., and Hoekstra, A. Y. (2003). *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products* (Vol. 49, Issue 7). <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0456>
- Chapagain, A. K., and Hoekstra, A. Y. (2004). Water Footprint of Nations Volume 1 : Main Report. In *Value of Water Research Report Series No.16*. <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report16Vol1.pdf>
- Chen, D., Gao, G., Xu, C. Y., Guo, J., and Ren, G. (2005). Comparison of the Thornthwaite method and pan data with the standard Penman-Monteith estimates of reference evapotranspiration in China. *Climate Research*, 28(2), 123–132. <https://doi.org/10.3354/cr028123>
- Çiftçi, Ş. (2019), Asi havzası sulama birliklerinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.
- Clarke, D., Smith, M., and El-Askari, K. (2001). CropWat for Windows: user guide. IHE. <http://eprints.soton.ac.uk/73992/>
- D'Ambrosio, E., De Girolamo, A. M., and Rulli, M. C. (2018). Assessing sustainability of agriculture through water footprint analysis and in-stream monitoring

- activities. *Journal of cleaner production*, 200, 454-470.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.229>
- Dagdelen, E. (2012). Evapotranspirasyon (ET) hesabı. April.
- Demirel, M. (2016), Su kirliliğini önlemede bütünleşik havza yönetiminin etkisi : Büyük Menderes havzası örneği su kirliliğini önlemede bütünleşik havza yönetiminin etkisi : büyük menderes havzası örneği, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Denizli.
- Dikici, M. (2019). Asi Havzası'nda (Türkiye) kuraklık analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 22-40. <https://doi.org/10.21324/dacd.426784>
- Ding, X., Wang, S., and Chen, B. (2019). The blue, green and grey water consumption for crop production in Heilongjiang. *Energy Procedia*, 158, 3908-3914. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.853>
- 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*. <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>
- Dumont, A., Salmoral, G., and 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, 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*, 2(03), 248. <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*, Ankara. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Grieser, J., Gommers, R., and Bernardi, M. (2006). New LocClim—the local climate estimator of FAO. In *Geophysical research abstracts* (Vol. 8, No. 08305, p. 2).
- Gümüş, E. Y. (2018), Ceyhan Havzası'ndaki Bazı Lentik Ekosistemlerin Fitoplankton Kompozisyonu ve Ekolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü*, Gaziantep.
- Gümüş, V. (2017). Akım kuraklık indeksi ile asi havzasının hidrolojik kuraklık analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(1), 65-73.
- Gürkan, D. (2005). Seyhan havzasında iklim değişimlerinin yüzeysel su kaynaklarına olan etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. *Hacettepe Üniversitesi, Fen*

Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

- Hoekstra, A. Y., and Chapagain, A. K. (2006). The water footprints of Morocco and the Netherlands. *Value of Water Research Series No. 21*. <https://doi.org/10.1002/9780470696224.ch6>
- Hoekstra, A. Y., and Chapagain, A. K. (2006). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. In *Integrated assessment of water resources and global change* (pp. 35-48). Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9039-x>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Mekonnen, M. M., and Aldaya, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Routledge. <https://doi.org/10.1080/0969160x.2011.593864>
- Hoekstra, A. Y., and 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>
- Hu, T., Huang, K., Yu, Y., Zhang, X., Xu, Y., and Wang, X. (2016). Measuring water footprint on a lake basin scale: a case study of lake dianchi, China. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 44(10), 1296-1305. <https://doi.org/10.1002/clen.201400765>
- İncecik Ceylan, H. (2019), Sürdürülebilir su yönetiminde su ayakizi aracı: Bir sanayi örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- İraz, E. (2021), Fırat Havzasının su ayak izinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman*.
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., and Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS geostatistical analyst* (Vol. 380). Redlands: Esri.
- Kalaycı, İ. (2013). Ortadoğu'nun Kült Sorunu-‘Su’: Sosyo-Ekonomik ve Jeo-Ekonomik Bir Tahlil. *Avrasya Etüdleri*, 43(1), 45-78.
- 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>
- 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>
- Karşılı, C. Y. (2011), Türkiye'de akarsu havzalarında kişi başına düşen su miktarının coğrafi bilgi sistemleriyle analizi, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya (Fiziki Coğrafya) Anabilim Dalı*, Ankara.

- 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.
- Kaya, S. (2010). Büyüme-derece-günlere dayalı bitki katsayıları kullanılarak erzurum koşullarında patatesin sulama planlaması. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2), 11–16.
- Kayhan, Y. (2020), Eşen çayında bulunan alabalık çiftliklerinde su ayak izi ve su muhasebesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin.
- Keskiner, A. D., Çetin, M., Uçan, M., ve Şimşek, M. (2016). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında Standardize Yağış İndeksi Yöntemiyle Olasılıklı Meteorolojik Kuraklık Analizi : Seyhan Havzası Örneği*. 31(2), 79–90.
- Kılıç, E. (2017), Asi havzasındaki su kalitesinin çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı*, Hatay.
- Kırtan, A. (2019), Karadeniz Bölgesi Referans Evapotranspirasyon Hesaplamalarında Güneş Radyasyon Verileri ve Referans Evapotranspirasyon Frekans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- Kırtoran, E., ve Karaer, F. (2018). Su yönetimi ve suyun sürdürülebilirliği. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1(2), 151-159.
- Koç, A. C., ve Güner, Ü. (2005). Mevcut sulama projelerinin fao kriterleriyle yeniden değerlendirilmesi: Tavas Ovası örneği. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (009), 93-106.
- Kol, Ç., ve Küpçü, S. (2008). ArcGIS spatial analiz, işlem coğrafi bilgi sistemleri mühendislik ve eğitim ltd. şti.
- Korkut, E. (2008), Yer altı ve yüzey sularının beraber kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Kuzucu, A. (2016), Seyhan Havzası'nda Kuraklığın Zamansal ve Alansal Değişiminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Maden, T. E. (2011). Türkiye-Suriye İlişkilerinde Asi Nehri. *Ortadoğu Analiz*, 3(31-32), 40-49.
- Mekonnen, M. M., and 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., and Hoekstra, A. Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 2: Appendices.
- Mekonnen, M. M. (2011). Spatially and temporally explicit water footprint accounting. *University Of Twente, Wöhrmann*.
- Meriç, B. T. (2004). Su Kaynakları Yönetimi ve Türkiye. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 28(1), 27–38.
- MGM. (2019). *Meteroloji Genel Müdürlüğü*.
<https://www.mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=5>
- Mohammadi-Kanigolzar, F., Ameri, J. D., and Motee, N. (2014). Virtual Water Trade as a Strategy to Water Resource Management in Iran. *Journal of Water Resource and Protection*, 06(02), 141–148. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2014.62019>
- Morera, S., Corominas, L., Poch, M., Aldaya, M. M., and Comas, J. (2016). Water footprint assessment in wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4741-4748.
- Muratoğlu, A. (2018). Dicle Havzasının Su Ayak İzinin Hesaplanması, 1. Uluslararası İçme Suyu ve Atık Suyu Sempozyumu, 1–9. Afyon.
- Muratoğlu, A., Yüce, M. İ., ve AYTEK, A. (2019a). Türkiye'nin uluslararası sanal su transferinin incelenmesi: Buğday için bir vaka analizi. 10. *Ulusal Hidroloji Kongresi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi*.
- Muratoglu, A. (2019b). Water footprint assessment within a catchment: A case study for Upper Tigris River Basin. *Ecological Indicators*, 106, 105467.
- Muratoğlu, A. (2020a). Üretimin su ayak izinin incelenmesi: Diyarbakır ili için bir vaka çalışması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 845-858.
- Muratoglu, A. (2020b). Assessment of wheat's water footprint and virtual water trade: a case study for Turkey. *Ecological Processes*, 9(1), 1-16.
- Muratoglu, A. (2020c). Grey water footprint of agricultural production: An assessment based on nitrogen surplus and high-resolution leaching runoff fractions in Turkey. *Science of the Total Environment*, 742, 140553. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140553>
- Muratoglu, A. (2021). Water Footprint: Concept and Methodology. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821139-7.00034-9>
- Nalcioğlu, A., Ünsal, M., Ercan, B., ve Yağcı, A. E. (2020). Asi Havzasında Hidrometeorolojik Faktörler ve Akım Arasındaki İlişkinin Modellenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa*

Dergisi, 23(6), 1510-1517.

- Nazzer, M. (2009). Simulation of maize crop under irrigated and rainfed conditions with CROPWAT model. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 4(2), 68-73. http://www.arpnjournals.com/jabs/research_papers/rp_2009/jabs_0309_123.pdf
- Novoa, V., Ahumada-Rudolph, R., Rojas, O., Munizaga, J., Sáez, K., and Arumí, J. L. (2019). Sustainability assessment of the agricultural water footprint in the Cachapoal River basin, Chile. *Ecological indicators*, 98, 19-28.
- Ochqun, M. H. (2015), Türkiye’de Su Yönetiminin Kurumsal Yapısına İlişkin Tespitler–Öneriler, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı*, Konya.
- Ali, A. O. (2019). Examining the water footprint concept in relation to sustainable water management, *Libya. Sheffield Hallam University* (United Kingdom).
- Özbay, E. (2012). Asi Nehri Üzerindeki Su Yapıları: Nauralar. Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Öztürk, S., Tönük, G. U., ve Gülgün, B., (2014), Türkiye’de Havza Yönetimi ve Yönetim Planı Yaklaşımları. *Ziraat Mühendisliği*, (361), 59-63. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/946528>
- Patwardhan, A. S., Nieber, J. L., and Johns, E. L. (1990). Effective rainfall estimation methods. *Journal of irrigation and Drainage Engineering*, 116(2), 182-193.
- Pegram, G., Conyngham, S., Aksoy, A., Dıvrak, B. B., ve Öztok, D. (2014). Türkiye'nin su ayak izi raporu: su, üretim ve uluslararası ticaret ilişkisi.
- 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.
- Şen, B., Topçu, S., Giorgi, F., Bi, X., Kanit, G. E., ve Dalkılıç, T. (2015). *Seyhan Havzasında İklim Değişikliğinin Tarımsal Su Kullanımına Etkileri*. March.
- Solak, S., Yahılı Kılıç, M., ve Akal Solmaz, S. K. (2019). Bursa İlinde Sürdürülebilir Kentsel Su Yönetimi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(1), 111–124. <https://doi.org/10.17482/uumfd.463302>
- Sönmez Erdoğan, F. (2019). *Seyhan havzasında agro-ekolojik zon temelli tarımsal alan kullanım önerilerinin geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana. <https://doi.org/10.377/0033-2909.I26.1.78>
- Soytürk, O. (2019). Tüketim Toplumu ve Su, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi*,

Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

- SUEN. (2014). *Su Güvenliği ve Suyun Hukuki Yönleri*. <http://suen.gov.tr/wp-content/uploads/2016/06/3IUSF>
- TAGEM. (2017). *Türkiye’de Su Tüketim Rehberi Çalışmaları Kapsamında Bitki Su Tüketimi ve Bitki Katsayılarının Elde Edilmesi* (Issue February 2018).
- Tandon, S. A., Kolekar, N., and Kumar, R. (2014). Water and energy footprint assessment of bottled water industries in India. *Natural Resources*, 2014.
- Töreayen, G., Özdemir, İ., ve Kurt, T. (2010). *ArcGIS 10 Desktop Uygulama Dokümanı* (ESRI). 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.
- Turan, E. (2017). Türkiye’nin su ayak izi değerlendirmesi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 74(1), 55–62. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2017.29592>
- Turhan, E. (2012), Seyhan Havzası’nın Yağış-Akış İlişkisinin Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 81-82, Adana.
- Ünlü, E. (2017). Avrupa Birliği müzakere sürecinde Türkiye’de içilebilir su yönetimi politika analizi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir. [http://acikerisim.ikc.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11469/319/207-YLT Esra Ünlü - 2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://acikerisim.ikc.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11469/319/207-YLT_Esra_Unlü_-_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ünver, A. (2016). Su Kaynaklarının Yönetimi ve Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Sulama Kooperatifleri, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Tekirdağ. <https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355%0A>
- Uzunkol, M. (2017). Seyhan ve Ceyhan Havzalarının İklimi ve Kuraklık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Uzunkol, M., ve Kızılelma, Y. (2016). Ceyhan Havzası’nın Kuraklık Durumu Ve Eğilimlerinin Belirlenmesi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Yıl, 4, 503-519.
- Uzunlar, Z. (2006). Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyan Dağılımının Derin Kuyu Sıcaklık Verileri Ve Variogram Analizi İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Wang, X., and Hu, J. (2015). Research on virtual water in the Chinese international grain trade. *Modern Economy*, 6(06), 735. <https://doi.org/10.4236/me.2015.66070>
- Williams, R. B., and Al-Hmoud, R. (2015). Virtual Water on the Southern High Plains of Texas: The case of a nonrenewable blue water resource. *Natural Resources*, 6(01), 27. <https://doi.org/10.4236/nr.2015.61004>
- Yüksek, T. (2004). Türkiye'nin su kaynakları ve havza planlamasına dönük genel değerlendirmeler. *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 1–2.

EKLER

EK-1 Türkiye’deki iklim bölgeleri

EK-2 Seyhan Havzasında ele alınan ilçeler

EK-3 Ceyhan Havzasında ele alınan ilçeler

EK-4 Asi Havzasında ele alınan ilçeler

EK-5 Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarında üretilen tarımsal ürünlerin ortalama üretim miktarı, ekilen alanı, su ayak izi miktarları ve sanal su muhtevaları

EK-6 Seyhan Havzasındaki tarımsal ürünlerin üretim miktarı, ekilen alanı, su ayak izi miktarları ve sanal su muhtevaları

EK-7 Ceyhan Havzasındaki tarımsal ürünlerin üretim miktarı, ekilen alanı, su ayak izi miktarları ve sanal su muhtevaları

EK-8 Asi Havzasındaki tarımsal ürünlerin üretim miktarı, ekilen alanı, su ayak izi miktarları ve sanal su muhtevaları

EK-1 Türkiye’deki iklim bölgeleri (TAGEM, 2017)

Bölgeler	İklim Tipi	İstasyon Sayısı
BLG_01	İlkbaharı Fazla Yağışlı Akdeniz	1
BLG_02	Akdeniz	37
BLG_03	Akdeniz Ardı-1	2
BLG_04	Marmara	21
BLG_05	Marmara Geçit	5
BLG_06	Serin Karadeniz-1	3
BLG_07	Serin Karadeniz-2	6
BLG_08	Ilık Karadeniz	9
BLG_09	Doğu Karadeniz-1	1
BLG_10	Doğu Karadeniz-2	3
BLG_11	Yusufeli	1
BLG_12	Doğu-1	1
BLG_13	Doğu-2	10
BLG_14	Iğdır Mikroklima	1
BLG_15	Erzurum-Kars Yaylası	11
BLG_16	Van	6
BLG_17	Hakkâri	3
BLG_18	Güneydoğu-1	6
BLG_19	Güneydoğu-2	10
BLG_20	Güneydoğu-Geçit	8
BLG_21	Yukarı Fırat-Murat	11
BLG_22	Akdeniz-Güneydoğu Geçit	4
BLG_23	Dağ Yamacı-Doğu	12
BLG_24	İç Anadolu-İç Geçit-Serin Karadeniz	11
BLG_25	Dağ Yamacı-Dağ	3
BLG_26	Geçit	13
BLG_27	Dağ Yamaç	13
BLG_28	Akdeniz Ardı-2	12
BLG_29	İç Anadolu	35

EK-2 Seyhan Havzasında ele alınan ilçeler

İlçe	İlçe alanı (km ²)	Havza içerisinde kalan alan (%)	Havza içerisinde kalan alan (km ²)	İlçe nüfusu (Havza içi)
Pınarbaşı	3418	94.72	3237.53	25389
Bünyan	1210	27.92	337.83	8377
Sarız	1173	100	1173	10778
Tomarza	1405	100	1405	25115
Develi	1892	68.74	1300.56	44485
Tufanbeyli	851	100	851	17996
Saimbeyli	989	100	989	16350
Yahyalı	1587	53.13	843.17	19678
Feke	1218	100	1218	18162
Aladağ	1340	100	1340	16998
Çamardı	1163	49.13	571.38	7081
Ulukışla	1375	99.44	1367.30	21241
Pozantı	899	100	899	20208
Bor	1522	8.07	122.83	4889
Karaisalı	1165	100	1165	22249
Tarsus	2029	25.97	526.93	88214
Yüreğir	835	100	835	420511
Karataş	862	100	862	22000
Niğde	2223	2.97	66.02	6109
Seyhan	444	100	444	768401
Sarıçam	770	100	770	138908
Çukurova	250	100	250	343108
Akkışla	371	9.13	33.86	631

EK-3 Ceyhan Havzasında ele alınan ilçeler

İlçe	İlçe alanı (km ²)	Havza içerisinde kalan alan (%)	Havza içerisinde kalan alan (km ²)	İlçe nüfusu (Havza içi)
Gürün	2632	9.15	240.83	1830
Darende	1482	8.53	126.41	2541
Afşin	1502	100	1502	83303
Elbistan	2201	100	2201	139614
Göksun	1942	100	1942	53702
Ekinözü	656	100	656	13344
Nurhak	1028	31.94	328.34	4312
Çağlayancerit	470	100	470	25069
Gölbaşı	800	54.54	436.32	26286
Kahramanmaraş	3009	100	3009	534249
Andırın	1202	100	1202	36457
Kozan	1903	100	1903	128231
Sumbas	358	100	358	15030
Kadirli	1021	100	1021	118514
Düziçi	595	100	595	79583
Bahçe	208	100	208	21203
Nurdağı	697	100	697	38125
Dulkadiroğlu	1176	100	1176	219969
Şehitkamil	1290	13.47	173.76	92475
Pazarcık	1253	62.30	780.62	44353
Hasanbeyli	168	100	168	4568
Osmaniye	859	100	859	243963
Toprakkale	112	100	112	16793
Ceyhan	1426	100	1426	159321
Yumurtalık	447	100	447	18381
İmamoğlu	445	100	445	29584
Onikişubat	2429	100	2429	389551
Türkoğlu	660	100	660	68098

EK-4 Asi Havzasında ele alınan ilçeler

İlçe	İlçe alanı (km ²)	Havza içerisinde kalan alan (%)	Havza içerisinde kalan alan (km ²)	İlçe nüfusu (Havza içi)
Yayladağı	445	100	445	26208
Samandağ	384	100	384	123422
Altınözü	392	100	392	61051
Hatay	946	100	946	454018
Reyhanlı	367	100	367	89977
Kumlu	193	100	193	13372
İskenderun	247	100	247	279101
Polateli	218	23.61	51.47	1272
Belen	184	100	184	30261
Kırıkhan	715	100	715	107654
Hassa	520	100	520	54580
Dört Yol	342	100	342	132513
Erzin	258	100	258	40745
İslahiye	865	100	865	66217
Musabeyli	346	90.04	311.54	12614
Kilis	610	23.96	146.16	24623
Şahinbey	960	25.70	246.72	209308
Arsuz	462	100	462	84382
Antakya	703	100	703	362846
Defne	155	100	155	142177
Payas	157	100	157	40433

EK-5 Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarında üretilen tarımsal ürünlerin ortalama üretim miktarı, ekilen alanı, su ayak izi miktarları ve sanal su muhtevaları

Ürünler	Üretim Miktarı (ton)	Ekilen Alan (dekar)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m ³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m ³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m ³)	Mavi Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Yeşil Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Toplam Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)
Antepfıstığı	10716.27	250207.45	263.11	46.34	309.46	24553	4325	28877
Armut	8864.90	5970.92	4.13	1.49	5.62	466	168	634
Arpa	363565.53	1484602.27	217.41	473.82	691.23	598	1303	1901
Aspir	309.68	1652.68	0.70	0.28	0.99	2268	917	3186
Ayçiçeği	157676.05	796429.59	323.49	133.80	457.30	2052	849	2900
Ayva	128.09	114.55	0.09	0.03	0.12	732	234	965
Badem	2253.20	9352.57	7.81	1.83	9.64	3465	813	4278
Bakla (Taze)	4389.27	3511.41	0.00	0.81	0.81	0,00	184	184
Balkabağı	540.35	228.97	0.14	0.04	0.17	256	66	322
Bamya	4282.01	3894.47	2.29	0.48	2.77	535	111	646
Bezelye (Taze)	14873.30	17027.19	5.21	2.89	8.10	350	194	545
Biber (Dolmalık)	6294.77	4953.25	3.76	0.48	4.24	597	76	673
Biber (Salçalık)	101060.03	37664.23	25.09	6.27	31.36	248	62	310
Biber (Sivri)	66618.27	28994.98	17.83	3.88	21.71	268	58	326
Buğday	2290605.80	14792187.72	1510.96	4832.24	6343.19	660	2111	2769
Ceviz	9057.96	18295.18	19.44	4.24	23.68	2147	468	2615
Çavdar	44054.91	158544.91	37.97	52.06	90.03	862	1182	20434
Çeltik	1330.38	2347.21	1.65	0.36	2.01	1237	271	1508
Çilek	5968.55	2660.06	1.72	0.63	2.35	288	106	393
Domates	564247.32	152147.42	94.95	18.93	113.89	168	34	202
Durum Buğdayı	212589.27	620771.66	136.35	204.04	340.38	641	960	1601
Elma	436268.38	299575.62	178.25	66.66	244.91	409	153	561
Erik	52332.33	32903.72	25.69	8.31	34.00	491	159	650
Fasulye (Kuru)	21530.76	87347.96	47.65	11.29	58.95	2213	525	2738
Fasulye (Taze)	35428.30	34761.82	9.28	5.14	14.42	262	145	407
Fiğ (Adi)	100092.30	119287.45	25.43	20.73	46.16	254	207	461
Havuç	4402.10	1626.03	0.94	0.19	1.14	214	44	258
Hıyar	173246.98	55103.61	25.32	6.89	32.21	146	40	186
Kabak	8383.30	3577.74	0.90	0.50	1.40	108	59	167
Karpuz	1037577.79	177726.53	42.04	27.27	69.31	41	26	67
Kavun	188807.42	60674.55	31.12	6.17	37.29	165	33	198
Kayısı	105350.50	212850.89	143.54	36.47	180.01	1363	346	1709
Kiraz	23391.35	34925.26	22.39	8.45	30.84	957	361	1318
Korunga	73449.44	116849.88	29.85	13.88	43.73	406	189	595
Lahana (Beyaz)	87898.28	16053.74	4.25	2.78	7.03	48	32	80
Lahana (Kara)	29.10	27.20	0.00	0.00	0.00	7	157	164
Marul	41129.05	18742.70	1.34	1.58	2.92	33	38	71
Maydanoz	43236.82	36374.74	2.60	0.85	3.45	60	20	80
Mercimek (Yeşil)	392.79	3237.48	1.11	0.40	1.52	2838	1026	3865
Mısır (Dane)	1767943.78	1800459.53	980.41	268.64	1249.06	555	152	707
Mısır (Silajlık)	532148.30	108012.45	60.23	12.31	72.53	113	23	136

EK-5'in devamı

Ürünler	Üretim Miktarı (ton)	Ekilen Alan (dekar)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m ³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m ³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m ³)	Mavi Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Yeşil Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Toplam Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)
Muz	6356	1288.80	0.98	0.56	1.54	153.69	87.87	241.56
Nar	44210.65	33418.67	21.53	9.07	30.61	487.10	205.23	692.32
Nohut	42317.42	365873.81	123.96	52.77	176.73	2929.26	1247.01	4176.27
Pamuk	517984.01	1015433.53	698.55	160.03	858.59	1348.60	308.96	1657.55
Patates	1108391.23	316182.07	151.24	48.78	200.02	136.45	44.01	180.46
Patlıcan	189510.07	66264.87	39.41	9.60	49.01	207.98	50.65	258.63
Sarımsak	16186.62	13999.61	9.76	1.89	11.65	603.21	116.74	719.95
Soğan (Kuru)	242951.47	84829.75	50.49	14.47	64.96	207.81	59.56	267.37
Soğan (Tohumluk)	19348.01	8941.68	1.30	2.99	4.29	67.31	154.53	221.85
Soğan (Yeşil)	17513.17	10241.69	1.18	1.26	2.44	67.30	71.79	139.09
Sorgum	2623.99	1489.94	0.69	0.14	0.83	262.67	52.96	315.63
Soya Fasulyesi	107131.43	253332.30	120.02	34.37	154.39	1120.31	320.86	1441.17
Susam	4455.19	47660.10	19.54	5.49	25.03	4385.24	1231.81	5617.05
Şeftali	23374.90	11291.66	7.02	2.95	9.97	300.41	126.18	426.59
Şeker Pancarı	895720.15	165822.88	120.34	26.84	147.17	134.34	29.96	164.31
Trabzon Hurması	8464.52	6278.76	5.68	1.66	7.34	670.93	196.14	867.07
Turp	6369.64	3276.42	0.01	0.26	0.27	15.17	41.35	56.52
Tütün	13	107	0.09	0.01	0.09	6561.75	561.16	7122.91
Üzüm	603215.59	742797.80	507.25	161.20	668.45	840.91	267.23	1108.14
Vişne	904.28	733.14	0.68	0.16	0.83	746.58	172.92	919.50
Yer Fıstığı	105765.79	277449.78	153.59	46.83	200.41	1452.13	442.74	1894.87
Yonca	503720.61	199566.03	26.44	9.43	35.87	52.49	18.72	71.21
Yulaf	833.35	3822.41	0.57	1.30	1.87	686.37	1562.98	2249.36
Zeytin (Sofralık)	33471.71	140002.65	72	39.47	111.47	2151.05	1179.31	3330.36
Zeytin (Yağlık)	253807.05	1047796.88	656.87	270.27	927.14	2588.08	1064.85	3652.93

EK-6 Seyhan Havzasındaki tarımsal ürünlerin üretim miktarı, ekilen alanı, su ayak izi miktarları ve sanal su muhtevalları

Ürünler	Üretim Miktarı (ton)	Ekilen Alan (dekar)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m3)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m3)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m3)	Mavi Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Yeşil Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Toplam Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)
Armut	3710.09	3098.91	1.76	0.86	2.62	474.64	231.68	706.31
Arpa	204299.97	814200.82	124.13	262.62	386.75	607.59	1285.46	1893.05
Aspir	304.68	1622.68	0.69	0.27	0.97	2275.93	897.96	3173.89
Ayçiçeği	70442.85	262177.66	100.97	43.34	144.32	1433.40	615.30	2048.70
Bakla (Taze)	2237.81	1974.21	0.00	0.46	0.46	0.00	206.45	206.45
Balkabağı	316.18	126.36	0.06	0.02	0.08	191.95	69.15	261.09
Bamya	810.66	635.97	0.31	0.09	0.40	381.72	106.76	488.48
Bezelye (Taze)	1126.32	1025.76	0.29	0.20	0.48	254.57	173.16	427.73
Biber (Salçalık)	48239.77	12334.63	7.46	2.11	9.57	154.68	43.65	198.32
Biber (Sivri)	33088.44	8269.00	3.95	1.36	5.31	119.40	41.09	160.49
Buğday	767437.90	4384415.01	574.20	1393.65	1967.84	748.20	1815.97	2564.17
Ceviz	763.73	1794.91	1.37	0.38	1.75	1795.32	498.76	2294.09
Çavdar	43146.00	154423.55	36.24	50.77	87.01	839.85	1176.77	2016.62
Çeltik	510.67	788.00	0.57	0.11	0.68	1111.29	213.14	1324.43
Çilek	3348.18	1080.93	0.60	0.29	0.89	179.21	85.38	264.59
Domates	226223.13	47756.58	24.18	6.86	31.04	106.88	30.33	137.21
Durum Buğdayı	21105.20	99898.19	20.85	30.10	50.96	988.06	1426.40	2414.46
Elma	366941.27	241145.64	134.97	56.37	191.34	367.82	153.62	521.45
Erik	15175.69	8196.03	4.87	2.06	6.93	321.22	135.68	456.90
Fasulye (Kuru)	15440.73	51992.27	24.59	7.28	31.87	1592.69	471.16	2063.85
Fasulye (Taze)	10033.65	9903.87	2.38	1.50	3.87	236.84	149.09	385.93
Fiğ (Adi)	70458.35	101691.85	20.43	17.63	38.07	289.97	250.28	540.25
Havuç	556.00	503.33	0.25	0.09	0.34	442.30	166.31	608.62
Hıyar	23989.25	5596.71	1.97	0.84	2.81	82.29	34.99	117.28
Karpuz	771023.80	119968.21	23.66	18.45	42.10	30.68	23.93	54.61
Kavun	117849.64	27834.00	12.58	3.45	16.02	106.74	29.24	135.98
Kayısı	418.45	116.00	0.07	0.02	0.09	158.98	54.19	213.17
Kiraz	14175.28	22441.25	12.26	5.12	17.38	865.16	360.85	1226.01
Korunga	24827.35	28932.40	6.28	3.99	10.26	252.78	160.52	413.30
Lahana (Beyaz)	83179.09	15134.55	3.91	2.68	6.59	47.01	32.20	79.22
Marul	40634.55	18439.36	1.34	1.55	2.89	33.02	38.03	71.05
Maydanoz	4122.09	2097.55	0.05	0.15	0.19	11.61	35.35	46.96
Mercimek (Yeşil)	342.80	2910.99	1.01	0.35	1.36	2950.07	1018.26	3968.33
Mısır (Dane)	634647.84	605422.07	301.33	84.55	385.88	474.80	133.22	608.02
Mısır (Silajlık)	327918.94	62722.18	29.55	7.48	37.03	90.12	22.81	112.93
Muz	2478.00	645.00	0.47	0.27	0.74	189.53	108.74	298.27
Nar	22443.00	18963.27	10.62	5.26	15.88	473.17	234.22	707.39
Nohut	13556.36	133361.55	51.15	17.60	68.75	3772.86	1298.48	5071.34
Pamuk	168367.68	320829.83	193.48	53.05	246.52	1149.13	315.06	1464.18
Patates	901447.53	254293.23	122.60	40.57	163.18	136.01	45.01	181.01
Patlıcan	87893.91	13688.82	6.52	2.16	8.68	74.21	24.59	98.81

EK-6'nın devamı

Ürünler	Üretim Miktarı (ton)	Ekilen Alan (dekar)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m ³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m ³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m ³)	Mavi Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Yeşil Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Toplam Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)
Soğan (Tohumluk)	130.00	130.00	0.02	0.04	0.06	123.15	313.15	436.30
Soğan (Kuru)	10273.64	5255.73	2.48	1.11	3.59	241.61	108.03	349.64
Soğan (Yeşil)	2829.69	1201.61	0.12	0.16	0.28	42.59	54.81	97.40
Sorgum	2198.13	898.75	0.42	0.08	0.49	189.85	35.30	225.14
Soya Fasulyesi	86441.17	199303.38	93.13	26.77	119.90	1077.37	309.74	1387.11
Susam	3271.19	29945.47	11.70	3.35	15.05	3575.89	1023.99	4599.89
Şeftali	19820.06	8482.88	4.86	2.27	7.13	245.04	114.57	359.61
Şeker Pancarı	464892.24	93999.24	62.01	17.41	79.42	133.38	37.45	170.83
Üzüm	180984.03	174723.82	80.42	43.27	123.69	444.33	239.10	683.43
Yer Fıstığı	28498.71	76564.38	44.71	11.54	56.25	1568.84	404.83	1973.67
Yonca	369965.54	110660.97	14.89	4.97	19.85	40.24	13.42	53.66
Yulaf	524.95	2531.29	0.46	0.82	1.28	874.61	1571.57	2446.18
Zeytin (Sofralık)	9107.23	8402.78	3.05	2.38	5.43	334.87	261.01	595.88
Zeytin (Yağlık)	18003.56	42708.77	18.15	11.62	29.77	1008.19	645.20	1653.39

EK-7 Ceyhan Havzasındaki tarımsal ürünlerin üretim miktarı, ekilen alanı, su ayak izi miktarları ve sanal su muhtevaları

Ürünler	Üretim Miktarı (ton)	Ekilen Alan (dekar)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m ³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m ³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m ³)	Mavi Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Yeşil Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Toplam Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)
Antepfıstığı	10565.00	243228.09	257.52	44.76	302.28	24374.74	4236.75	28611.50
Armut	3440.57	2562.98	2.13	0.54	2.67	617.92	157.84	775.76
Arpa	130154.87	493121.59	74.05	154.48	228.53	568.92	1186.91	1755.83
Ayçiçeği	87233.19	534251.93	222.52	90.46	312.98	2550.87	1036.98	3587.85
Ayva	128.09	114.55	0.09	0.03	0.12	731.64	233.57	965.21
Badem	1161.72	8102.31	6.79	1.51	8.30	5843.56	1300.49	7144.06
Bakla (Taze)	569.43	379.20	0.00	0.09	0.09	0.00	151.22	151.22
Bamya	558.58	1019.00	0.55	0.15	0.70	983.05	262.87	1245.91
Bezelye (Taze)	547.62	591.46	0.17	0.12	0.28	305.60	213.30	518.90
Biber (Dolmalık)	6294.77	4953.25	3.76	0.48	4.24	596.59	76.36	672.95
Biber (Salçalık)	13592.70	5081.90	3.12	0.94	4.07	229.90	69.51	299.41
Biber (Sivri)	10658.60	8206.45	6.07	0.94	7.01	569.51	88.49	658.00
Buğday	1090253.51	9218319.39	801.80	3032.68	3834.48	735.43	2781.63	3517.06
Ceviz	7497.27	15527.91	17.04	3.61	20.65	2273.23	481.71	2754.93
Çavdar	908.91	4121.36	1.73	1.29	3.02	1905.47	1414.17	3319.64
Çeltik	624.54	1055.71	0.72	0.19	0.90	1148.95	296.82	1445.77
Çilek	1909.81	1229.86	0.87	0.25	1.11	453.07	128.46	581.54
Domates	128793.71	43881.82	33.01	4.87	37.88	256.27	37.84	294.11
Durum Buğdayı	155171.93	381348.13	91.94	127.82	219.75	592.47	823.71	1416.18
Elma	67322.00	57650.86	42.67	10.10	52.77	633.82	150.06	783.88
Erik	2610.33	2280.50	1.62	0.58	2.20	621.02	222.78	843.80
Fasulye (Kuru)	6090.03	35355.69	23.06	4.02	27.08	3786.94	659.74	4446.69
Fasulye (Taze)	1811.72	1660.17	0.82	0.18	0.99	452.50	96.70	549.20
Fiğ (Adi)	28477.55	17291.00	4.88	3.06	7.94	171.48	107.51	278.99
Hıyar	55069.27	19626.89	11.16	2.13	13.29	202.60	38.72	241.32
Kabak	8.00	10.00	0.01	0.00	0.01	811.06	141.19	952.25
Karpuz	250451.08	50567.03	13.94	8.22	22.16	55.65	32.82	88.47
Kavun	7733.45	3427.55	2.20	0.30	2.49	284.04	38.33	322.37
Kayısı	90395.27	197341.27	133.66	32.46	166.12	1478.62	359.13	1837.75
Kiraz	8987.82	12439.27	10.10	3.33	13.42	1123.37	370.11	1493.49
Korunga	48622.09	87917.48	23.57	9.90	33.47	484.81	203.55	688.36
Lahana (Beyaz)	4249.43	709.44	0.31	0.06	0.37	73.23	14.59	87.82
Lahana (Kara)	18.00	15.50	0.00	0.00	0.00	9.68	136.02	145.70
Maydanoz	1243.72	1022.37	0.07	0.05	0.12	57.45	37.55	95.00
Mercimek (Yeşil)	35.13	248.63	0.09	0.03	0.12	2547.60	895.78	3443.38
Mısır (Dane)	945598.35	989809.29	553.74	155.74	709.48	585.59	164.70	750.29
Mısır (Silajlık)	204229.36	45290.27	30.67	4.83	35.50	150.19	23.64	173.83
Nar	1511.25	2532.92	2.16	0.64	2.80	1430.93	424.90	1855.83
Nohut	23342.69	189048.35	72.42	25.46	97.88	3102.48	1090.55	4193.02
Pamuk	84510.84	167673.94	111.99	28.51	140.49	1325.11	337.31	1662.42
Patates	142971.86	44414.01	20.77	6.43	27.21	145.30	45.01	190.31
Patlıcan	20834.38	23103.35	14.46	3.58	18.04	693.92	171.77	865.69
Sarımsak	12581.71	10948.44	7.40	1.52	8.92	587.92	120.99	708.91
Soğan (Tohumluk)	2530.48	1908.36	0.26	0.61	0.87	102.96	240.77	343.73
Soğan (Kuru)	53548.12	17996.06	13.23	2.78	16.01	247.03	51.97	299.01
Soğan (Yeşil)	5069.67	3493.93	0.38	0.46	0.83	74.45	89.91	164.36
Sorgum	425.86	591.19	0.27	0.06	0.33	638.56	144.14	782.70
Soya Fasulyesi	20431.01	52975.68	26.16	7.48	33.64	1280.36	366.21	1646.57
Susam	1125.09	16671.26	7.11	2.08	9.19	6319.37	1846.26	8165.63
Şeftali	1460.05	951.99	0.82	0.21	1.03	564.44	143.19	707.63
Şeker Pancarı	410932.09	68730.55	55.73	8.90	64.63	135.61	21.66	157.27

EK-7'nin devamı

Ürünler	Üretim Miktarı (ton)	Ekilen Alan (dekar)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m ³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m ³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m ³)	Mavi Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Yeşil Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Toplam Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)
Trabzon Hurması	2339.52	1393.68	1.38	0.37	1.75	590.83	156.33	747.16
Turp	6369.64	3276.42	0.01	0.26	0.27	1.81	40.29	42.10
Tütün	13.00	107.00	0.09	0.01	0.09	6561.75	561.16	7122.91
Üzüm	305488.93	449949.49	357.02	90.67	447.69	1168.67	296.80	1465.47
Vişne	904.28	733.14	0.68	0.16	0.83	746.58	172.92	919.50
Yer Fıstığı	75449.94	196289.96	106.14	34.59	140.73	1406.75	458.41	1865.16
Yonca	109002.66	81854.63	10.71	4.29	15.00	98.28	39.35	137.64
Zeytin (Sofralık)	12307.16	76868.56	39.69	21.51	61.20	3225.04	1747.69	4972.72
Zeytin (Yağlık)	57056.07	204003.47	121.07	54.39	175.46	2121.86	953.33	3075.19

EK-8 Asi Havzasındaki tarımsal ürünlerin üretim miktarı, ekilen alanı, su ayak izi miktarları ve sanal su muhtevaları

Ürünler	Üretim Miktarı (ton)	Ekilen Alan (dekar)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m ³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m ³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m ³)	Mavi Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Yeşil Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Toplam Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)
Antep Fıstığı	151.27	6979.36	5.59	1.58	7.18	36977.23	10456.86	47434.09
Armut	1714.24	309.03	0.25	0.08	0.33	144.61	48.51	193.13
Aspir	29115.69	177309.86	19.24	56.73	75.97	660.77	1948.34	2609.11
Badem	1091.48	1250.25	1.02	0.32	1.34	932.70	294.79	1227.49
Bakla (Taze)	1582.03	1158.00	0.00	0.26	0.26	0.00	163.52	163.52
Balkabağı	224.17	102.61	0.08	0.01	0.09	347.40	61.64	409.04
Bamya	2912.77	2239.50	1.43	0.24	1.68	491.88	83.61	575.49
Bezelye (Taze)	13199.36	15409.97	4.76	2.58	7.33	360.28	195.31	555.59
Biber (Salçalık)	39227.56	20247.70	14.51	3.22	17.72	369.80	82.05	451.85
Biber (Sivri)	22871.24	12519.53	7.81	1.58	9.39	341.48	69.13	410.61
Buğday	432914.39	1189453.32	134.95	405.91	540.87	311.73	937.63	1249.36
Ceviz	796.96	972.36	1.03	0.25	1.28	1292.36	310.14	1602.50
Çeltik	195.17	503.50	0.36	0.07	0.43	1850.29	338.97	2189.26
Çilek	710.57	349.27	0.25	0.10	0.35	353.71	141.61	495.31
Domates	209230.48	60509.02	37.77	7.20	44.97	180.52	34.40	214.92
Durum Buğdayı	36312.14	139525.34	23.56	46.12	69.68	648.81	1269.98	1918.79
Elma	2005.11	779.12	0.61	0.18	0.80	306.67	91.13	397.79
Erik	34546.31	22427.20	19.20	5.67	24.86	555.69	164.06	719.76
Fasulye (Taze)	23582.94	23197.78	6.09	3.46	9.55	258.05	146.91	404.96
Fig (Adi)	1156.40	304.60	0.11	0.04	0.15	98.37	31.43	129.80
Havuç	3846.10	1122.70	0.69	0.10	0.80	180.69	26.48	207.17
Hıyar	94188.46	29880.01	12.19	3.92	16.11	129.40	41.62	171.01
Kabak	8375.30	3567.74	0.90	0.50	1.39	107.10	59.21	166.31
Karpuz	16102.91	7191.29	4.44	0.61	5.05	275.98	37.80	313.78
Kavun	63224.33	29413.00	16.35	2.42	18.77	258.59	38.33	296.92
Kayısı	14536.78	15393.62	9.82	3.98	13.80	675.34	273.82	949.16
Kiraz	228.25	44.75	0.03	0.01	0.04	115.27	47.87	163.14
Lahana (Beyaz)	469.76	209.76	0.03	0.04	0.07	65.41	78.48	143.89
Lahana (Kara)	11.10	11.70	0.00	0.00	0.00	1.72	190.96	192.68
Marul	494.50	303.33	0.00	0.03	0.03	0.00	63.37	63.37
Maydanoz	37871.02	33254.83	2.48	0.66	3.13	65.42	17.34	82.76
Mercimek (Yeşil)	14.86	77.86	0.01	0.02	0.04	950.27	1522.14	2472.41
Mısır (Dane)	187697.59	205228.17	125.35	28.35	153.70	667.82	151.06	818.89
Muz	3878.00	643.80	0.51	0.29	0.80	130.79	74.54	205.33
Nar	20256.40	11922.48	8.75	3.17	11.93	432.11	156.71	588.82
Nohut	5418.36	43463.91	0.39	9.71	10.10	72.39	1792.30	1864.69
Pamuk	265105.49	526929.77	393.09	78.48	471.57	1482.77	296.04	1778.81
Patates	63971.83	17474.83	7.86	1.77	9.63	122.90	27.69	150.59
Patlıcan	80781.78	29472.70	18.43	3.86	22.29	228.20	47.76	275.96
Sarımsak	3604.92	3051.17	2.37	0.37	2.73	656.56	101.91	758.48
Soğan (Tohumluk)	16687.53	6903.32	1.03	2.34	3.37	61.47	140.22	201.69
Soğan (Kuru)	179129.72	61577.97	34.78	10.58	45.35	194.15	59.04	253.19
Soğan (Yeşil)	9613.81	5546.15	0.68	0.65	1.33	70.81	67.23	138.04
Soya Fasulyesi	259.25	1053.25	0.73	0.12	0.85	2823.95	453.64	3277.59
Susam	58.91	1043.36	0.73	0.06	0.79	12388.62	1036.63	13425.26
Şeftali	2094.79	1856.79	1.34	0.47	1.81	640.27	224.23	864.50
Şekerpancarı	19895.82	3093.09	2.60	0.53	3.13	130.83	26.48	157.31
Trabzon Hurması	6125.00	4885.08	4.30	1.29	5.59	701.52	211.35	912.87

EK-8'in devamı

Ürünler	Üretim Miktarı (ton)	Ekilen Alan (dekar)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m ³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m ³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m ³)	Mavi Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Yeşil Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)	Toplam Sanal Su Muhtevası (m ³ /ton)
Üzüm (Sofralık, Kuru)	104159.09	105364.95	63.91	24.42	88.33	613.57	234.49	848.06
Üzüm (Şaraplık)	12583.55	12759.55	5.91	2.83	8.74	469.50	225.13	694.64
Yer Fıstığı	1817.14	4595.44	2.74	0.70	3.44	1506.07	386.78	1892.85
Yonca	24752.42	7050.43	0.84	0.18	1.01	33.91	7.09	41.00
Yulaf	308.40	1291.12	0.11	0.48	0.59	365.98	1548.37	1914.35
Zeytin (Sofralık)	12057.32	54731.30	29.26	15.59	44.85	2426.62	1292.78	3719.40
Zeytin (Yağlık)	178747.42	801084.64	517.66	204.26	721.91	2896.02	1142.72	4038.74

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Erkan ERDEM
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi :
Telefon : -
Faks :
e-mail :

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Gazi Lisesi/ Batman	2011
Üniversite	: Harran Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü/ Şanlıurfa	2017
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü/ Batman	2021
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-2019	Erdem Group	Şirket Müdürü
2019-	Musaoğlu İnşaat	Şantiye Şefi

UZMANLIK ALANI

Hidrolik, Yapı

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

-

YAYINLAR

-