



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FIRAT HAVZASININ SU AYAK İZİNİN
HESAPLANMASI

Emre İRAZ

YÜKSEK LİSANS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalını

Ocak-2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Emre İRAZ tarafından hazırlanan “Fırat Havzasının Su Ayak İzinin Hesaplanması” adlı tez çalışması 26/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

Danışman

Doç. Dr. Abdullah MURATOĞLU

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim BURGAN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Emre İRAZ

26.01.2021

ÖZET**YÜKSEK LİSANS****FIRAT HAVZASININ SU AYAK İZİNİN HESAPLANMASI****Emre İRAZ****Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı****Doç. Dr. Abdullah MURATOĞLU****2021, 89 Sayfa****Jüri****Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT
Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim BÜRGAN
Doç. Dr. Abdullah MURATOĞLU**

Su, yeryüzünde yaşayan canlıların hayatlarını sürdürebilmeleri için çok büyük bir öneme sahiptir. Son yıllarda nüfustaki hızlı artış, iklim değişikliği, doğal su kaynaklarının kirlenmesi ve kişi başı su tüketiminin artması gibi nedenlerden dolayı temiz su kaynaklarının korunması daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılması gerekliliğinin önemini artırmaktadır. Bu konuda yakın zamanda ortaya atılan su ayak izi (SA) kavramı sürdürülebilir su yönetimi konusunda aktif bir yaklaşım sunmaktadır. SA, birey veya topluluk tarafından kullanılan mal ve hizmetlerin üretilmesi ve tüketilmesi için gereken toplam tatlı su hacmi olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, Fırat havzasındaki 2008-2019 yılları arasında su ayak izinin detaylı olarak hesaplanmasıdır. Mevcut çalışmada, uzun yıllar iklim verisi, evapotranspirasyon tahmini, kişi başı su tüketimi ve son 11 yıllık ortalama yağış verisi kullanılmıştır. Bu bağlamda, Fırat havzasındaki bitkisel ve hayvansal üretimin ile evsel ve endüstriyel su kullanımlarının mavi, yeşil ve gri su ayak izleri ilçe bazında hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda Fırat havzasının toplam su ayak izi miktarı 28.01 milyar m³ olduğu analiz edilmiştir. Fırat havzasında su ayak izi oranı en yüksek % 90 ile tarımsal üretim sektöründe olduğu saptanmıştır. Tarımsal üretiminin toplam su ayak izi 25.29 milyar m³, yeşil su ayak izi 6.33 milyar m³, mavi su ayak izi ise 15.89 milyar m³ ve gri su ayak izi 3.07 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Tarımsal üretimin mavi ve toplam su ayak izi en yüksek Akçakale ilçesiyken, yeşil ve gri su ayak izi en yüksek Siverek ilçesinde olduğu tespit edilmiştir. Hayvansal üretimin toplam su ayak izi 2.51 milyar m³, evsel ve endüstriyel su ayak izi 0.51 milyar m³'tür. Yapılan çalışmanın ülkemizdeki temiz su kaynaklarının sürdürülebilirliği, havza yönetimi ve planlaması konusunda örnek olması, özellikle tarımsal üretimin verimliliğin artırılması ve gereksiz su kullanımının önlenmesi konusunda katkıda bulunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: su ayak izi, fırat havzası, mavi su, yeşil su, gri su.

ABSTRACT**M.Sc. THESIS****CALCULATION OF THE WATER FOOTPRINT OF THE FIRAT BASIN****Emre İRAZ****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
ENGINEERING****Assoc. Prof. Dr. Abdullah MURATOĞLU****2021, 89Pages****Jury****Assist. Prof. Dr. Murat KİLİT****Assist. Prof. Dr. Halil İbrahim BURGAN****Assoc. Prof. Dr. Abdullah MURATOĞLU**

Water has a great importance for the living creatures living on earth to survive. Due to the rapid increase in population in recent years, climate change, pollution of natural water resources and increase in per capita water consumption, protection of clean water resources increases the importance of using them more effectively and efficiently. The concept of water footprint (WF), which was recently proposed in this regard, offers an active approach to sustainable water management. WF is defined as the total volume of fresh water required for the production and consumption of goods and services used by the individual or community. The main purpose of this study is to calculate the water footprint in detail between 2008-2019 in the Euphrates basin. In the present study, long years of climate data, evapotranspiration forecast, per capita water consumption and last 11 years of average rainfall data were used. In this context, the blue, green and gray water footprints of plant and animal production and domestic and industrial water use in the Euphrates basin were calculated on district basis. In the calculations made, it has been analyzed that the total water footprint of the Fırat basin is 28.01 billion m³. It has been determined that the highest water footprint rate in the Fırat basin is in the agricultural production sector with 90%. The total water footprint of agricultural production is calculated as 25.29 billion m³, green water footprint 6.33 billion m³, blue water footprint as 15.89 billion m³ and gray water footprint 3.07 billion m³. It has been determined that the blue and total water footprint of agricultural production is the highest in Akçakale district, while the green and gray water footprint is the highest in Siverek district. The total water footprint of animal production is 2.51 billion m³, and domestic and industrial water footprint is 0.51 billion m³. The study is expected to set an example for the sustainability of clean water resources in our country, basin management and planning, and to contribute to the increase of productivity in agricultural production and the prevention of unnecessary water use.

Keywords: water footprint, euphrates basin, blue water, green water, gray water.

ÖNSÖZ

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

Yüksek lisans tezimi değerlendiren jüri üyelerim Dr. Öğr. Üyesi. Murat KİLİT'e ve Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim BURGAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca çalışma sürecim boyunca yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Muhammed Sungur DEMİR'e, Arş. Gör. İbrahim Özgür DEDEOĞLU'na ve Arş. Gör. Ferhat AKKUŞ'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitim sürecinde tanıdığım, desteğini hissettiğim ve fikir alışverişinde bulunduğum değerli arkadaşlarım Zehra AVANOZ'a ve Erkan ERDEM'e teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Emre İRAZ
BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİL ÇİZELGESİ	xi
TABLO ÇİZELGESİ	ixiii
1. GİRİŞ VE TEMEL KAVRAMLAR	1
1.1. Suyun Önemi	1
1.2. Su Kıtlığı	1
1.3. Su Ayak İzi	2
1.4. Sanal Su Muhtevası	4
1.5. Evapotranspirasyon	4
1.6. Çalışmanı Amacı, Önemi ve Literatüre Katkısı	6
1.7. Çalışmanın Yapısı	7
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Çalışma Alanı	12
3.2. Veri	15
3.3. Metot	19
3.3.1. New_LocClim yazılımı	19
3.3.2. Penman-Monteith yöntemi	20
3.3.3. Alansal enterpolasyon	20
3.3.2. CROPWAT yazılımı	22
3.3.4. Su ayak izi yöntemi	23
4. BULGULAR	25
4.1. Alansal evapotranspirasyon tahmini	25
4.2. Fırat havzasında üretilen bitkisel ürünlerin su ayak izi	27
4.2.1. Tarımsal üretimin toplam su ayak izi	28
4.2.1.1. Tarımsal üretimin mavi su ayak izi	30
4.2.1.2. Tarımsal üretimin yeşil su ayak izi	32
4.2.1.3. Tarımsal üretimin gri su ayak izi	34
4.2.2. Hayvansal üretimin toplam su ayak izi	39
4.2.3. Evsel ve endüstriyel su ayak izi	46
4.3. Fırat havzasındaki bazı tarımsal ürünlerin ilçe bazında değerlendirilmesi	50

5. TARTIŞMA ve SONUÇ	81
5.1. Tartışma	81
5.2. Sonuç	82
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	89

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Bitkinin ekim alanı miktarı
BST	: Bitki su tüketimi
BST_{mavi}	: Bitkisel mavi su tüketimi
BST_{toplam}	: Bitkinin toplam su tüketimi
$BST_{yeşil}$	: Bitkisel yeşil su tüketimi
$BÜGEM$	: Bitkisel üretim genel müdürlüğü
C_d	: Referans bitki türü ve hesaplandığı süre için sabit payda katsayısı
C_n	: Referans bitki türü ve hesaplandığı süre için sabit pay katsayısı
C_{max}	: Maksimum nitrat konsantrasyonu
C_{nat}	: Doğal konsantrasyon
$DSİ$	: Devlet su işleri
e_a	: Gerçek buhar basıncı
e_s	: Doygun buhar basıncı
ET	: Evapotranspirasyon
ET_0	: 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
ha	: Hektar
i	: Gözlem nokta sayısındaki değerler
K_C	: Bitki katsayısı
km	: Kilometre
L	: Suyu direk eklenen kirlenici yükü
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
m^3	: Metreküp
N	: Nokta sayısı
N_i	: Kriging'de kullanılan noktaların değeri
N_P	: Kriging değeri
$OMGİ$	: Otomatik meteoroloji gözlem istasyonu
P	: Bitki üretim miktarı
P_{eff}	: Etkili yağış
P_i	: Kriging'de kullanılan noktaların ağırlık değeri
P_{month}	: Aylık yağış
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_{toplam}	: Toplam sanal su muhtevası
$SSM_{yeşil}$	: Yeşil sanal su muhtevası
T	: Hava sıcaklığı
$TAGEM$	: Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi
t	: Ton
$TÜİK$	: Türkiye İstatistikleri Kurumu
V	: Verim
λ^{-2}	: Lagrange çarpanı
W_i	: $\gamma(X_0-X_i)$ ’ye karşılık gelen ağırlık değerleri
u_2	: Rüzgâr hızı
.	: Ondalık ayraç
,	: Binlik ayraç

ŞEKİL ÇİZELGESİ

Şekil 1.1. Su ayak izi bileşenleri	3
Şekil 1.2. Bitki Su Tüketimi Etkileyen Faktörler	5
Şekil 1.3. Bitki Katsayısının Gelişim Dönemi Değişimi	6
Şekil 3.1. Çalışma alanı	12
Şekil 3.2. Çalışma kapsamındaki noktasal yağış istasyonları	16
Şekil 3.3. New_LocClim programının ara yüzü	19
Şekil 3.4. ArcGIS programının menü çubuğu	21
Şekil 3.5. Cropwat programının ara yüzü	23
Şekil 4.1. Fırat havzasının toplam aylık alansal yağış haritası	25
Şekil 4.2. Tarımsal, hayvansal, evsel ve endüstriyel su ayak izi miktarları ve oranları	27
Şekil 4.3. Fırat havzası toplam su ayak izi miktarları	28
Şekil 4.4. Tarımsal üretimin yeşil, mavi ve gri su ayak izi miktarları ve oranları ..	28
Şekil 4.5. Tarımsal üretimin toplam su ayak izi miktarları	29
Şekil 4.6. Tarımsal ürün gruplarının toplam su ayak izi miktarları	29
Şekil 4.7. Tarımsal üretimin mavi su ayak izi miktarları	30
Şekil 4.8. Tarımsal ürün gruplarının mavi su ayak izi miktarları	31
Şekil 4.9. Tarımsal ürün gruplarının mavi su ayak izi oranları	31
Şekil 4.10. Tarımsal üretimin yeşil su ayak izi miktarları	32
Şekil 4.11. Tarımsal ürün gruplarının yeşil su ayak izi miktarları	33
Şekil 4.12. Tarımsal ürün gruplarının yeşil su ayak izi oranları	33
Şekil 4.13. Tarımsal üretimin gri su ayak izi miktarları	34
Şekil 4.14. Tarımsal ürün gruplarının gri su ayak izi miktarları	35
Şekil 4.15. Tarımsal ürün gruplarının gri su ayak izi oranları	35
Şekil 4.16. Hayvansal üretimin su ayak izi miktarları ve oranları	39
Şekil 4.17. Hayvansal üretimin yeşil, mavi ve gri su ayak izi miktarları ve oranları	40
Şekil 4.18. Hayvansal üretimin toplam su ayak izi miktarları	41
Şekil 4.19. Hayvansal üretimin mavi su ayak izi miktarları	41
Şekil 4.20. Hayvansal üretimin yeşil su ayak izi miktarları	42
Şekil 4.21. Hayvansal üretimin gri su ayak izi miktarları	42
Şekil 4.22. Evsel ve endüstriyel su ayak izi miktarları	46
Şekil 4.23. Üzüm ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları	51
Şekil 4.24. Üzüm ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları	52
Şekil 4.25. Üzüm ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları	53
Şekil 4.26. Antepfıstığı ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları	54
Şekil 4.27. Antepfıstığı ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları	55
Şekil 4.28. Antepfıstığı ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları	56
Şekil 4.29. Arpa ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları	57
Şekil 4.30. Arpa ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları	58

Şekil 4.31. Arpa ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları.....	59
Şekil 4.32. Buğday ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları	60
Şekil 4.33. Buğday ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları.....	61
Şekil 4.34. Buğday ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları.....	62
Şekil 4.35. Kayısı ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları	63
Şekil 4.36. Kayısı ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları.....	64
Şekil 4.37. Kayısı ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları.....	65
Şekil 4.38. Mercimek ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları	66
Şekil 4.39. Mercimek ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları.....	67
Şekil 4.40. Mercimek ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları.....	68
Şekil 4.41. Mısır dane ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları	69
Şekil 4.42. Mısır dane ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları.....	70
Şekil 4.43. Mısır dane ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları.....	71
Şekil 4.44. Pamuk ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları	72
Şekil 4.45. Pamuk ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları.....	73
Şekil 4.46. Pamuk ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları.....	74
Şekil 4.47. Yonca ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları	75
Şekil 4.48. Yonca ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları.....	76
Şekil 4.49. Yonca ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları.....	77
Şekil 4.50. Zeytin ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları	78
Şekil 4.51. Zeytin ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları.....	79
Şekil 4.52. Zeytin ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları.....	80

TABLO ÇİZELGESİ

Tablo 1.1. Falkenmark su kıtlığı indeksi	2
Tablo 1.2. Bazı ürünlerin küresel ortalama sanal su miktarı	4
Tablo 3.1. Fırat havzasındaki bitki desenleri	13
Tablo 3.2. Fırat havzasının sınırları içinde yer alan ilçeler	14
Tablo 3.3. Fırat havzasındaki bazı ilçelerin enlem ve boylam değerleri	15
Tablo 3.4. Çalışma kapsamındaki istasyonların aylık noktasal yağış değerleri	16
Tablo 3.5. Fırat havzası iklim bölgeleri ve istasyon sayısı	17
Tablo 3.6. Şanlıurfa ili için 10 ürünün bitki katysayısı ve dönem uzunlukları.....	17
Tablo 4.1. Alansal yağış hata oranları	26
Tablo 4.2. Fırat havzasında yer alan ilçelerin su ayak izi miktarları	36
Tablo 4.3. Hayvansal üretimin su ayak izi miktarları	40
Tablo 4.4. Hayvansal üretimin su ayak izi miktarları	43
Tablo 4.5. Evsel ve endüstriyel su ayak izi miktarları	47

BÖLÜM 1

GİRİŞ ve TEMEL KAVRAMLAR

1.1. Suyun Önemi

Su, canlıların hayatlarını sürdürmesi için gereken en temel unsurlardan biridir. Su dünya yüzeyinin dörtte üçünü kaplamakta ve insan vücudunun %70'ini oluşturmaktadır. Son yıllarda endüstriyellemenin hızlanması, iklim değişikliği, küresel ısınma, çarpık kentleşmenin artması, doğal su kaynaklarının kirletilmesi ve yok olması gibi nedenlerden dolayı sınırlı su kaynaklarının korunması ve bu konuda stratejilerin geliştirmesi önem kazanmıştır.

Dünya su rezervi 1.4 milyar km³ olup kullanılabilir tatlı su miktarı, mevcut suyun yaklaşık %1'ine karşılık gelmektedir. Yeryüzündeki tatlı su; buz kütleleri, yeraltı suyu ve donmuş buzullardan oluşmaktadır (Hakyemez, 2019). Dünyanın mevcut su varlığı hidrolojik çevrim (su döngüsü) olayı ile sürekliliğini sağlamaktadır. Fakat tüketim hızının su kaynaklarının yenilenme süresinden hızlı olduğu durumlarda belirli zaman periyotları için su varlıklarının azaldığı veya yok olduğunu görülmektedir (Karataş, 2010). Bu durum dünyadaki su sıkıntılarını artırmakta ve suyun önemine dikkat çekmektedir. Su potansiyelinin azalması canlı yaşamını olumsuz etkilemekte olup geniş tarım alanları ise verimsizleşmekte veya tamamen kullanılamaz duruma gelmektedir. Tarım sektörü, su tüketiminin dünyada yaklaşık %70'inden Türkiye'de ise yaklaşık %89'undan sorumludur (WWF, 2014).

Dünya nüfusunun 2050 yılında yaklaşık 9 milyara ulaşması beklenmektedir (Yılmaz, 2015) ve bu durum su rezervlerinin çok yetersiz kalacağını göstermektedir. Nüfus artışı ile gıda ihtiyacının artması daha fazla tarım alanının ihdas edilmesine sebep olmuştur. Tarım alanlarının artması su ihtiyacını da artırmakta ve özellikle nüfus yoğunluğu olan bölgelerde su kıtlığı problemleri oluşturmaktadır.

1.2. Su Kıtlığı

Ekosistem sürekliliği için gerekli bir kaynak olan suyun yeryüzündeki miktarı yıllar içinde değişmemektedir. Nüfus, tarım, evsel ve endüstri su kullanımı arttıkça arz-talep dengesizliği oluşmaktadır. Bu durum su kıtlığı sorununu ortaya çıkarmaktadır (Hakyemez, 2019).

2050 yılında Dünya nüfusunun yaklaşık 9.2 milyar Türkiye nüfusunun ise yaklaşık 93.4 milyon olacağı ön görülmektedir (Atabay, Karasu ve Koca, 2014). Türkiye’de kişi başına düşen su ortalaması 1996-2005 yılları arasında 1,642 m³/yıl olup 2006-2011 yılları arasında 1,977 m³/yıl değerine yükselmiştir (WWF, 2014). Kısa zamanda kişi başına düşen su miktarının artması su yönetimi ile ilgili önlemlerin alınmaması yakın zamanda ülkemizde su kıtlığı yaşanacağını belirtisidir.

Su kıtlığının seviyesini göstermek için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri Falkenmark göstergesidir (Hakyemez, 2019). Falkenmark indeksi, ilgili bölgenin su mevcudiyetinin yaşayan insan sayısına oranı ile ifade edilmektedir.

Tablo 1.1. Falkenmark su kıtlığı indeksi

m³/kişi/yıl	Sınıf
>1700	Stressiz
1000-1700	Su Stresi
500-1000	Kıtlık
<500	Kesin Kıtlık

Falkenmark tarafından oluşturulan su kıtlığı sınıflandırması Tablo 1.1’de verilmiştir. Buna göre ülkemiz 2015 yılında 1422.23 m³/kişi/yıl değeri ile su stresi olan bir ülke konumuna gelmiştir. Nüfus artışı ile birlikte 2017 yılında Falkenmark indeksinin 1385.92 m³/kişi/yıl’a gelmesi, su kıtlığı problemlerimizin arttığını göstermektedir. (Hakyemez, 2019).

Su kirliliği de, su kıtlığı problemlerine sebep olan faktörlerden bir tanesidir Dünyadaki su varlıkları, küresel iklim değişikliği, tarımsal, evsel ve endüstriyel kirlilik gibi nedenlerden yok olma tehdidi altındadır (Kasap, 2018). Türkiye’de su kirliliğine neden olan temel unsurlar, hızlı ve düzensiz kentleşme, nüfus artışı, teknoloji gelişimi ile hızla sanayileşme, evsel atıklar, kimyasal kirleticiler, tarımda kullanılan ilaçlar ve inorganik gübreler gibi faktörlerdir (Şengül, 2013).

1.3. Su Ayak İzi (SA)

Su ayak izi (SA) kavramı UNESCO-IHE’de ilk kez 2002 yılında Arjen Hoekstra tarafında ortaya çıkmıştır. Su ayak izi terimi gömülü su veya sanal su içeriği gibi terimlerle benzerlik göstermekte ve ürün içerisindeki saklı suyu ifade etmektedir (WWF, 2014).

Birey veya topluluk tarafından kullanılan mal ve hizmetlerin üretilmesi ve tüketilmesi için gereken toplam tatlı su hacmi olarak da tanımlanan su ayak izi mavi, yeşil ve gri bileşenlerinin toplamı ile hesaplanmaktadır (Muratoğlu, 2020b). Su ayak sadece suyun hacmini değil aynı zamanda suyun nerede kullanıldığı ve türünü (mavi, yeşil ve gri) de belirten çok boyutlu bir kavramdır (WWF, 2014).



Şekil 1.1.Su ayak izi bileşenleri

Mavi su ayak izi, bir malı üretmek için kullanılan yüzey ve yeraltı sularının toplam hacmidir. Yeşil su ayak izi, bir malın üretiminde kullanılan toplam yağmur suyu hacmidir. Gri su ayak izi ise bir ürünün üretiminden doğan kirli suyun bertaraf edilmesi için kullanılan tatlı hacmidir (Alper, 2015).

Su ayak izi çalışmaları çeşitli amaçlar için hesaplanmaktadır. Bunlar (Hoekstra, Chapagain, Aldaya ve Mekonnen, 2011);

- Bir ürünün su ayak izi
- Bir grup veya bir ulustaki tüketicinin su ayak izi
- Coğrafi olarak belirlenmiş bir alanın su ayak izi
- Bir işletmenin, bir iş sektörünün ve bir bütün olarak insanlığın su ayak izi

Su ayak izi çalışmaları su kullanımına yönelik alternatif bir yöntemdir. Bölgesel su ayak izi hesaplamaları, canlı ve cansız yaşamın devamlılığı için bölgedeki beşeri etmenlerin su kaynakları üzerindeki etkisinin ortaya çıkarılması açısından su yönetimi çalışmalarına fayda sağlamaktadır (Muratoğlu, 2020b).

1.4. Sanal Su Muhtevası (SSM)

Sanal su kavramı, ilk kez 1990'ların başında Ortadoğu ülkelerinin su kıtlığı sorununa çözüm için Profesör J.A. Allan (Allan, 2002) tarafından ortaya atılmıştır. Sanal su, tarımsal ve endüstriyel bir ürünün üretim süreci boyunca kullandığı su miktarı olarak tanımlanmaktadır (Anaç vd., 2011). "Gömülü su" veya "dış kaynaklı su" (Hoekstra, 2003) olarak da isimlendirilen sanal su birim ürün (ton) başına düşen temiz su hacmi (m^3) olarak da ifade edilmektedir (Muratoğlu 2020).

Ürünler farklı değerlerde sanal su muhtevası (SSM) içermektedir. Ürünlerin üretim sürecindeki koşul ve şartlara bağlı olarak sanal su miktarları değişmektedir (Şahin, 2016). Örneğin, uygun iklim koşullarına sahip yağmurla beslenen tahıl üretimi ile iklim koşullarının uygun olmadığı kurak bir ülkede aynı miktardaki tahılın su ihtiyacı aynı olmayacaktır (Hoekstra ve Hung, 2002). Bazı ürünlerin sanal su miktarları Tablo 1.2. de verilmiştir.

Tablo 1.2. Bazı ürünlerin küresel ortalama sanal su miktarı (Chapagain ve Hoekstra, 2004)

Ürün	Sanal su muhtevası (litre)
1 bardak Süt (200 ml)	200
1 fincan kahve (125 ml)	140
1 fincan çay (250 ml)	35
1 yaprak A4 kağıdı (80 g/m ²)	10
1 Yumurta (40 g)	135
1 Hamburger (150 g)	2400
1 pamuklu Tişört (500 g)	4100
1 çift Ayakkabı (deri)	8000
1 mikroçip (2 g)	32
1 patates cipsi (200 g)	185

1.5. Evapotranspirasyon (ET)

Evapotranspirasyon (ET) toprak yüzeyinde oluşan buharlaşma (evaporasyon) ve bitki tarafından yapılan terleme (transpirasyon) olayları sonucu oluşan toplam su buharı miktarıdır (TAGEM ve DSI, 2017). Su döngüsünün en önemli bileşenlerinden olan evapotranspirasyonun (ET) gerçeğe en yakın değerde hesaplanması, su dengesi, ekosistemin sürekliliği ve su kaynaklarının yönetimi gibi çalışmalar için önemlidir

(Karaca vd., 2017). Evapotranspirasyonu etkileyen bir çok faktör bulunmaktadır (Dağdelen, 2012). Bu etkenlerin birbirleri arasındaki zamansal ve mekânsal değişimlerinden dolayı ET 'yi doğru tahmin etmek ve kullanılabilir denklem oluşturmak zorlaşmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için referans evapotranspirasyon (ET_0) kavramı kullanılmıştır (Karaca vd., 2017).



Şekil 1.2. Bitki Su Tüketimini Etkileyen Faktörler

Referans evapotranspirasyon (ET_0), standart koşullar altında kısa boylu (ortalama 12 cm) ve tam örtüye sahip bir bitkinin su tüketimidir (TAGEM ve DSİ, 2017). ET_0 tahmini için Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Makkink, Turc, Priestley-Taylor ve Hargreaves-Samani gibi birçok eşitlik mevcut olup en yaygın kullanılanı ise Penman-Monteith metodudur (Şarlak ve Bağcı, 2020). ET_0 'ı etkileyen temel faktörler sıcaklık, yağış, rüzgâr, bağıl nem ve güneşlenme süresi gibi iklim parametreleridir (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Bitki evapotranspirasyon (ET_c), standart koşullar altında bitki besin elementi bakımında eksiklik çekmediği, hiçbir hastalık etkisinin bulunmadığı ve su sıkıntısı olmadığı ortamdaki bir bitkinin su tüketimidir (TAGEM ve DSİ, 2017).

Bitki katsayısı (K_c), bitki evapotranspirasyonunun (ET_c) referans evapotranspirasyonuna (ET_0) oranıdır (Denklem 1.1).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (1.1)$$

K_c yaklaşımı ilk olarak 1968 yılında Jensen tarafından önerilmiş ve ileriki yıllarda da diğer araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. K_c 'yi belirleyen faktörler; iklim, bitki çeşitliliği ve büyümesidir (Chapagain ve Hoekstra, 2004). K_c değerleri bitki gelişimlerine göre günden güne değişebilmektedir. Bitki su tüketimini hesaplamaları kolaylaştırmak

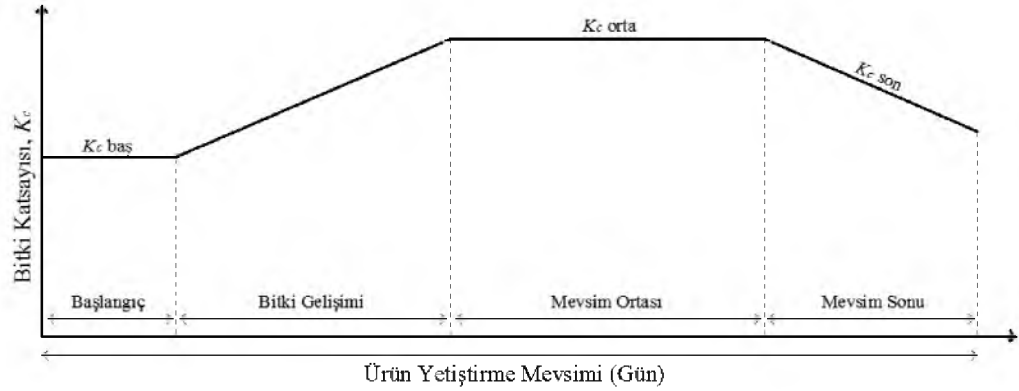
için bitkinin 4 farklı gelişme dönemi için K_C değerleri hesaplanmıştır (TAGEM ve DSİ, 2017).

Başlangıç dönemi, bitkinin ekim-dikim tarihinden toprak yüzeyi yaklaşık %10 oranında örttüğü dönemi kapsamaktadır. Başlangıç dönemi uzunluğu ürün, ürün çeşidi, ekim tarihi ve iklime bağlıdır. İlk dönem boyunca yaprak alanı küçük ve evapotranspirasyon toprak buharlaşma şeklindedir (Chapagain ve Hoekstra, 2004). Bu dönemde K_C değeri sabit kaldığı varsayılmaktadır.

Gelişme dönemi, bitkilerin yeşil kısmının hızla geliştiği dönemi kapsar. K_C değeri zemin örtüsünün boyuna karşılık gelmektedir. K_C değeri ürün su kullanım sıklığına göre değişecektir. Bu dönemde K_C değerinin arttığı varsayılmaktadır.

Orta dönem, bitkinin yeşil kısmının olgunlaşma, çiçeklenme, meyve vermeye başladığı dönemdir ve yaprakların sararmaya başladığı zaman itibarıyla sona ermektedir (TAGEM ve DSİ, 2017). Bu dönemde K_C değerinin sabit kaldığı varsayılmaktadır.

Son dönem, bitkinin yapraklarının dökülmeye başladığı ve yeşil yaprak miktarının çok az kaldığı dönemdir. Bu dönem hasat veya tam yaşılanmaya kadar sürmektedir ve son dönemde K_C değeri azaldığı varsayılmaktadır.



Şekil 1.3. Bitki Katsayısının Gelişim Dönemi Değişimi

1.6. Çalışmanın amacı, önemi ve literatüre katkısı

Dünya nüfusunun artması ile gıda ihtiyacının da fazlalaşmasına yol açmıştır. Bu durum tarımsal üretim için gerekli ana kaynaklar olan yeryüzündeki miktarları değişmeyen toprak ve suyun önemini daha da artırmaktadır (Yüzal, 2019). Dünyada ve Türkiye'de en fazla su tüketiminin tarım sektörü olması (WWF, 2014) yapılan çalışmanın önemini vurgulamaktadır. Çalışmanın temel amacı, ülkemizin en fazla su potansiyeline

sahip Fırat havzasının 2008-2019 yılları arasındaki tarımsal ve hayvansal üretimin ile evsel ve endüstriyel su kullanımlarının mavi, yeşil ve gri su ayak izlerini ayrı ayrı detaylı hesaplamaktadır.

Havza çalışmalarına örnek olacak bu çalışma, havzada ürün yetiştirilme döneminde israf edilen su kullanımını engelleyecek ve havza su yönetimine de katkı sağlayacaktır. Mevcut çalışmada ülkemizin su kaynaklarını korumak ve gri su harcamalarını engellemek için Fırat havzasının tarım ürünlerinin yeşil ve mavi su ayak izleri hesaplanmıştır. Hesaplanan ürünlerin, hangisinin Fırat havzasında yetiştirilmesi su tüketimi açısından uygunluğu konusunda da bilgi vermektedir. Havzada hesaplama sonucu toplam su ayak izi yüksek ürünler analiz edilmekte ve gereksiz su tüketiminin olduğu ürünlerin de tespiti sağlanmaktadır.

1.7. Çalışmanın Yapısı

Birinci bölüm tezin giriş bölümü olup suyun önemi, su kıtlığı, tezin konusu, kapsamı, amacı, önemi, literatüre katkısı ve tezin temel kavramları olan su ayak izi, sanal su muhtevası, evapotranspirasyon özetlenmiştir. İkinci bölümde su ayak izi ve Fırat havzası konuları ile ilgili literatürde detaylı araştırmalar yapılmıştır. Üçüncü bölümde çalışma alanı, veriler ve su ayak izi hesabı geniş kapsamlı anlatılmıştır. Dördüncü bölümde alansal enterpolasyon ile hesaplama sonucu elde edilen değerler harita çizimleri, grafik ve tablolarla analiz edilmiştir. Son bölümde ise bulgulara bağlı olarak tartışma ve sonuçlar detaylandırılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Literatürde küresel su ayak izi ile ilgili birçok çalışma olmasına karşın, ülkemizde yapılan su ayak izi çalışmaları kısıtlıdır. Literatürdeki çalışmaları; küresel, ulusal, havza, ürün bazlı ve Fırat havzası ile ilgili çalışmalar olmak üzere 5 ana başlık altında incelemek mümkündür.

Mekonnen (2011), çalışmasında farklı ülkelerdeki üretim ve tüketimin su ayak izlerini hesaplamıştır. Uluslararası su hacminin su ayak izi bileşenlerine göre dağılımını % 68 yeşil, % 13 mavi ve % 19 gri olarak belirtilmiştir. Diğer bir çalışmada ise, Mekonnen ve Hoekstra (2011), küresel ürün üretiminin CROPWAT yazılımını kullanarak mavi ve yeşil su ayak izlerini hesaplamışlardır. Bitkisel ürünlerin % 78 yeşil, % 12 mavi su ayak izine sahip olduğu ve en fazla su ayak izine sahip bitkisel ürünlerin buğday, mısır ve pirinç olduğu belirtilmiştir. Hoekstra ve Chapagain, (2006) çalışmalarında bazı ülkelerin 1997-2001 yılları için su ayak izlerini hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda küresel ortalama su ayak izi $1240 \text{ m}^3/\text{kişi/yıl}$ olarak analiz etmişlerdir. Hoekstra ve Hung (2005), tarafından yapılan çalışmada uluslararası ithalat ve ihracatı yapılan ürünlerin sanal su hacimleri ölçülmüştür. Sanal su miktarının hesaplanması için (FAO, 2009) FAO verilerine dayanılarak CROPWAT ve CLIMWAT yazılımları kullanılmış ve sonucunda sanal su ithalatı en fazla olan ülkenin Japonya, sanal su ihracatı en fazla olan ülkenin ise Amerika olduğu rapor edilmiştir.

Muratoğlu (2018) çalışmasında tarımsal anlamda havzada en çok ekimi yapılan ürünler olan buğday, fıstık, mercimek, mısır, pamuk ve üzüm gibi ürünleri kullanarak Dicle havzası su ayak izi değerlerini hesaplamıştır. Evapotranspirasyon miktarının hesaplanması için CROPWAT 8.0 modeli kullanılmıştır. Buğday ürününün yeşil su ayak izinin yüksek olması nedeniyle tarımsal verimin artırılması ve su kaybının azaltılması kaydıyla bölgedeki buğday ekiminin teşvik edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Muratoglu (2019) çalışmasında Yukarı Dicle Havzası'nın mavi ve yeşil su ayak izlerini hesaplamıştır. Havzanın 2010-2018 yılları için yıllık ortalama su ayak izi $7.2 \text{ Gm}^3 / \text{yıl}$, mavi su ayak izi $3.4 \text{ Gm}^3 / \text{yıl}$ ve yeşil su ayak izi $3.7 \text{ Gm}^3 / \text{yıl}$ olarak analiz etmiştir. Çalışma alanındaki toplam su ayak izinin yaklaşık % 16'sı hayvancılık, yaklaşık % 5'i ise evsel artı endüstriyel su kullanımı olduğunu saptamıştır. Başka bir çalışmasında Muratoğlu (2020) Diyarbakır ilinin 2008-2019 yılları için tarım, hayvancılık, endüstriyel

Üretim ve evsel kullanımından oluşan mavi ve yeşil su ayak izlerini hesaplamıştır. Diyarbakır ilinin toplam tarımsal su ayak izi hesaplanması için CLIMWAT 2.0 ve CROPWAT 8.0 yazılımları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yıllık toplam su ayak izi 3.4 milyar m³ hesaplamıştır. Toplam su ayak izinin % 86'sı tarımsal su ayak izi olduğunu analiz etmiştir. Alper (2015) ve Engin (2019) yaptıkları çalışmalarda pamuk üretiminin en fazla olduğu illerde mavi ve yeşil su ayak izlerini hesaplamışlardır. rnlerin su ihtiyaı tahmin etmek için CROPWAT yazılımı kullanılmış ve sonuçlarının pamuk ürününün kullanıldığı sektörlerde su sürdürülebilirliği yönünden referans olacağını belirtmişlerdir. Türkiye'nin su ayak izini hesaplamak için yapılan çalışmada WWF (2014) birçok kaynaktan yararlanılmış olup (WFN) tarafından raporlanan su ayak izi ağı verileri kullanılmıştır. Su ayak izi hesabı CROPWAT yazılımı kullanılarak hesaplamıştır. Rapor sonucunda tatlı su kaynaklarının sürdürülebilirliği için havza ve nehir bazlı çalışmaların sayısının artırılması gerektiği ifade edilmiştir. Erdoğan (2018) Türk Mutfak Kültürü'nn sera gazı emisyonunun ve su ayak izinin değerlendirilmesi için yaptığı çalışmada 284 yemek çeşidi değerlendirmiştir. Sera gazı emisyonu ve su ayak izini azaltmak için en önemli faktörün et tüketiminin azalması gerekliliğini ifade etmiştir. Turan (2017) yaptığı çalışmada Türkiye'nin ekonomik sürdürülebilirliği için ülkemizin su kaynaklarının korumasının önemli olduğunu su ayak izi metodu ile ifade etmiştir. Türkiye'nin su ayak izi analizini; üretimdeki ve tüketimdeki su, ihraç edilen ürün ve mallardaki su, ithal edilen ürün ve mallardaki su olmak üzere 4 başlık altında su ayak izini hesaplamıştır. Türkiye'de üretim su ayak izinin % 64' yeşil, % 19'u mavi ve % 17'si gri su ayak izi olduğunu ifade etmiştir. Soytürk (2019) alışmasında, dünya çapındaki aşırı tüketimin su kaynakları üzerindeki baskıyı artırdığını ifade etmiş ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğini su ayak izi metodu ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda tarım ve bazı gıda ürünlerinin küresel analizi sonucunda % 8 mavi su ayak izi , % 85 yeşil su ayak izi ve % 7 ile gri su ayak izi olduğunu tespit etmiştir. Yerli vd., (2019) alışmalarında Van ilinde bazı tarım ürünlerinin (silajlık mısır, patates, şeker pancarı ve yonca) mavi ve yeşil su ayak izlerini hesaplamışlardır. Su ayak izi hesaplanan ürünlerin yeşil su kullanımının az olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan alışma sonucunda su ayak izi en fazla olan yonca ürününün yerine su ayak izi daha düşük ürünlerin yetiştirilmesini önermişlerdir. ankaya (2019) alışmasında Gemlik ilçesinde bulunan Borelik atık su arıtma tesisinin toplam su ayak izini hesaplamıştır. Yapılan hesaplamalarda mavi su ayak izinin 25,606 m³/yıl , yeşil su ayak izinin 317 m³/yıl ve gri su ayak izinin 64,106 m³/yıl olduğu saptanmıştır.

Ding, Wang ve Chen (2019) yaptıkları çalışmada Heilongjiang'da, CLIMWAT ve CROPWAT yazılımlarını kullanarak bazı ürünlerin yeşil ve mavi su ayak izlerini hesaplamış sonucunda çimen, pirinç ve buğdayın en fazla su ayak izine sahip olduğu sonucuna varmıştır. Novoa vd., (2019) yaptıkları çalışmada Cachapol havzasının tarımsal su tüketimi ve mavi su ayak izinin sürdürülebilirliğini değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda su tüketimini azaltmak ve su sürdürülebilirliğini sağlamak için; havza yönetiminin iyileştirilmesi, su kaynaklarının veriminin artırılması, su kaynaklarının dağılımında eşitlik sağlayan kamu politikaları geliştirilmesi gibi önerilerde bulunmuştur. D'Ambrosio, Girolamo ve Rulli (2018) yaptıkları çalışmada Celone tarım havzasında su tüketimini ve sürdürülebilirliğini su ayak izi metodunu kullanarak analiz etmişlerdir. Bitki su kullanımı en yüksek olan ürünün 2521 mm değeri ile domates olduğunu belirtmişlerdir. Havzada su ayak izi bileşenlerinin yüzdesel dağılımı % 30.3 yeşil, % 0.5 mavi, % 69.2 gri olarak hesaplamışlardır. Çalışma sonucu bulunan veriler havza planlaması ve yönetiminde faydalı olacağı ve su sürdürülebilirliği için uygun ürün seçimine yardımcı olacağını ifade etmişlerdir.

Yıldız (2019) yaptığı çalışmada Türkiye'nin önemli su kaynaklarını Fırat havzası içinde bulunan on altı (16) akım gözlem istasyonuna ait akım verileri kullanarak hidrolojik kuraklık analizini yapmıştır. Fırat havzasının en kurak ayı kasım olduğunu ve yıllara göre havzanın kuraklığın arttığını tespit etmiştir. Kayahan (2019) çalışmasında Fırat havzası Şahnahan ovasında Battalgazi sulama birliğinin tarımsal işletmeler düzeyinde sulama performansını değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda sulama oranı ülkemiz ortalamasının altında olması nedeniyle Battalgazi sulama birliği başarısız olduğu saptamıştır. Bölgede ve ülkemizde üretim değeri yüksek olan kayısı yetiştiriciliği için ekonomik desteklemelerin artırılmasını önermiştir. Yurddaş (2018) çalışmasında Fırat havzasında bulunan 31 adet meteoroloji istasyonunu yıllık, mevsimlik, aylık yağış ve sıcaklıklarında meydana gelen değişim ve eğilimleri incelemiştir. Havzada yağışların azalma eğiliminde sıcaklığın ise artma eğiliminde olduğunu ve kuraklığın gittikçe artarak şiddetlendiğini belirtmiştir. Bilbay (2014) Türkiye'nin önemli su kaynaklarından biri olan Fırat Nehri'nin yönetiminde ortaya çıkan sorunları tespit etmek için yaptığı çalışmada sorunlara çözümler bulunması ülkemizin gelişmesinde büyük öneme sahip olacağını belirtmiştir. Çalışma sonucunda su kullanımının fazla olduğu tarım sektörünün su kirliliğini önleyecek ve su tasarrufu sağlayacak politikalar izlenmesi gerektiğini ifade etmiştir. Yiğit ve Çakmak (2018) yaptıkları çalışmada Fırat havzasındaki sulama şebekelerinde tarımsal su kullanımı değerlendirilmiştir. Çalışma alanında sulama

şebekelerinin çoğunda ihtiyaçtan fazla su kullanılmasına rağmen, birim alan ve birim sudan elde edilen üretim değerinin düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Havzada su kaynaklarını verimli şekilde kullanımını sağlayacak yeni yöntemlerin geliştirmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

kış mevsimi soğuk ve uzun sürmekte olup don olayı da çok sık yaşanmaktadır. Yaz mevsiminde ise genel olarak ılık geçerken alçak bölgelerde yüksek sıcaklıklar görülmektedir. Dağlık ana su bölgelerinde yağışlar kar şeklinde düşer ve bazı bölgelerinde 120 güne kadar kar olabilmektedir. İlkbahar mevsiminde karlar erimeye başlamasıyla su seviyesi yükselmekte ve Mart-Mayıs ayları arasında en yüksek değerine ulaşmaktadır (FAO, 2009). Havzanın kuzey bölgelerinde yıllık ortalama yağış miktarı 1000 mm'ye kadar ulaşabilirken, güney bölgelerinde kuraklık artmakta ve yıllık ortalama yağış miktarı azalmaktadır (Venturi ve Capozzoli, 2017). Havzanın bitki örtüsü güneyinde sıcaklık koşullarının geliştirdiği geniş bozkır alanları görülmektedir. Kuzeyinde ise yükseltisi 1500 metrenin üzerinde ve yıllık toplam yağış miktarı 400 mm'nin altında olan yerlerde bozkır bitki örtüsü oluşturmaktadır. Toplam yıllık yağış 500 mm'nin üstündeki yerlerde çayırlar ve dağ bozkırları kaplamaktadır. Havzanın bazı bölgelerinde meşe ormanları, antropojen bozkırlar ve çayırlarda görülmektedir (Atalay ve Mortan, 2006; Çolak, 2009). Bu çalışmada kullanılan Fırat havzasındaki tarım ürünleri Tablo 3.1 'de verilmiştir.

Tablo 3.1.Fırat havzası'n'daki tarım ürünleri

Bitki desenleri	
Tahıllar	Arpa, Buğday, Mısır
Baklagiller	Kırmızı Mercimek, Kuru Fasulye, Nohut, Yeşil Mercimek
Yağ Bitkileri	Ayçiçeği, Susam, Yerfıstığı, Zeytin
Yem Bitkileri	Aspir, Fiğ, Korunga, Yonca
Sanayi Bitkileri	Pamuk, Şeker Pancarı, Tütün
Sebzeler	Bakla, Biber, Domates, Hıyar, Karpuz, Kavun, Marul, Maydanoz, Patates, Patlıcan, Sarımsak, Soğan, Taze Fasulye
Meyveler	Antep Fıstığı, Armut, Badem, Ceviz, Elma, İncir, Kayısı, Kiraz, Nar, Şeftali, Üzüm,

Fırat Havzasını en önemli su kaynağı olan Fırat Nehri, Batı Asya'nın ve Türkiye'nin en geniş drenaj sahasına sahip ırmağıdır (Yıldırım, 2006). Fırat Nehri'nin başlangıç kaynakları Ağrı Diyarı'da, Murat Nehri ve Erzurum Dumludağ'da bulunan Karasu Nehri'dir. Fırat Nehri Tunceli, Erzincan, Malatya, Elazığ, Adıyaman, Diyarbakır, Şanlıurfa ve Gaziantep il sınırlarını belirledikten sonra Suriye, daha sonra Irak sınırlarına girer. Irak'ta Dicle Nehri ile birleşerek Şatt'ül-Arab'ı oluşturur ve Basra Körfezi'ne

dökülür. Nehrin en önemli kolları Murat Nehri, Karasu Nehri, Tohma Çayı, Peri, Çaltı ve Munzur Çayı'dır (Yıldız, 2019). Yaklaşık 2330 km uzunluğunda olan Fırat Nehrinin Murat ve Karasu nehirlerinin birleştiği noktadan itibaren Dicle Nehri'ne kadar olan kısmı, 955 km'si ülkemiz sınırlarında kalmakta olup 559 km'si Suriye'de, 815 km'si ise Irak sınırında yer almaktadır (Bilen, 2009; Bilbay, 2014). 4500 m yüksekliğe kadar ulaşabilen Doğu Anadolu Dağları Fırat Nehri'nin toplam yıllık akışının yaklaşık %90'ını karşılamaktadır (Bozkurt, 2013). Fırat nehri taşıdığı 31.61 milyar m³ su miktarı ile ülkemizdeki su potansiyelinin yaklaşık % 24.93'üne sahiptir (Akın ve Akın, 2007). Fırat Havzasının taşıdığı su potansiyeli ile bölge topraklarına tarımsal ve sulama açısından çok önem kazandırmaktadır. Havzada bulunan su kaynakları üzerinde bulunan birçok baraj inşa edilmiştir (Yıldız, 2019). Ülkemizin en büyük su rezervine sahip Atatürk barajı da Fırat Havzasında bulunmaktadır.

Fırat Havzası 125,854 km² yüzey alanı ile Türkiye'nin en büyük su havzası olarak bilinmektedir. Nüfusu ise yaklaşık 7.6 milyon kişi en kalabalık 2. havza konumundadır (Karşılı, 2011). Havzadaki arazi kullanımı % 50.20 ile tarım alanları, % 36.6 ile otlak ve çayır alanları, % 7.69 ile ormanlık alanlar, % 3.98 endüstri bitkileri tarım alanları, % 1.71 bağlık bahçelik alanlar ve % 0.36 yüksek dağ çayırları oranında yer kaplamaktadır (Yurddaş, 2018). Havza alanında 17 il 117 ilçe bulunmaktadır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2.Fırat havzasının sınırları içinde yer alan ilçeler

İlçeler	
Adıyaman	Çelikhan, Besni, Gölbaşı, Gerger, Kahta, Merkez, Samsat, Sincik, Tut
Ağrı	Dişadin, Eleşkirt, Hamur, Merkez, Patnos, Taşlıçay, Tutak
Bingöl	Adaklı, Genç, Karlıova, Kiğı, Merkez, Solhan, Yayladere, Yedisu
Bitlis	Adilcevaz, Ahlat, Güroymak
Diyarbakır	Çüngüş, Çermik, Ergani
Elazığ	Ağın, Baskil, Karakoçan, Keban, Kovancılar, Maden, Merkez, Palu, Sivrice
Erzincan	İliç, Çayırılı, Üzümlü, Kemah, Kemaliye, Merkez, Otlukbeli, Refahiye, Tercan
Erzurum	Çat, Aşkale, Hınıs, Ilıca, Karaçoban, Karayazı, Merkez, Tekman
Gaziantep	Araban, Şahinbey, Şehitkamil, Karkamış, Nizip, Oğuzeli, Yavuzeli
Kahramanmaraş	Elbistan, Nurhak, Pazarcık
Malatya	Akçadağ, Arapkir, Arguvan, Battalgazi, Darende, Doğanşehir, Doğanşol, Hekimhan, Kale, Kuluncak, Merkez, Pötürge, Yazıhan, Yeşilyurt
Mardin	Ömerli, Derik, Kızıltepe, Merkez, Nusaybin, Yeşilli

Muş	Bulanık, Hasköy, Korkut, Malazgirt, Merkez, Varto
Şanlıurfa	Akçakale, Birecik, Bozova, Ceylanpınar, Halfeti, Harran, Hilvan, Merkez, Siverek, Suruç, Viranşehir
Sivas	İmranlı, Divriği, Gürün, Kangal, Zara
Tunceli	Çemişgezek, Hozat, Mazgirt, Merkez, Nazimiye, Ovacık, Pülümür, Pertek
Van	Erciş

3.2. Veri

Aylık minimum ve maksimum sıcaklıklar, bağıl nem, rüzgâr hızı, güneş ışığı saatleri ve güneş radyasyonu içeren referans evapotranspirasyon (ET_0) modellemesi için uzun vadeli meteorolojik veriler (aylık ortalama sıcaklık, minimum ve maksimum sıcaklık, aylık toplam yağış, su buharı basıncı, potansiyel evapotranspirasyon, rüzgar hızı ve güneş) New_LocClim yazılımından alınmıştır. Meteorolojik verilerin hesabı için Fırat havzasındaki ilçe merkezlerinin enlem ve boylam değerleri kullanılmıştır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3.Fırat havzasındaki bazı ilçelerin enlem ve boylam değerleri

İller	İlçeler	Enlem	Boylam
Adıyaman	Kahta	37.78333330	38.61666670
Ağrı	Patnos	39.23333330	42.86666670
Bingöl	Yedisu	39.43333330	40.55000000
Bitlis	Ahlat	38.75277780	42.49444440
Diyarbakır	Çüngüş	38.21666670	39.28333330
Elazığ	Keban	38.79392960	38.74193670
Erzincan	Otlukbeli	39.97396550	40.02241650
Erzurum	Aşkale	39.92025000	40.69236110
Gaziantep	Nizip	37.01666670	37.80000000
Kahramanmaraş	Elbistan	38.20266000	37.20616900
Malatya	Doğanşehir	38.09583330	37.87916670
Mardin	Nusaybin	37.07568760	41.21452070
Muş	Varto	39.16944440	41.45416670
Şanlıurfa	Akçakale	36.71100000	38.94800000
Sivas	Divriği	39.36586000	38.12725100
Tunceli	Pülümür	39.48333330	39.90000000
Van	Erciş	39.02653540	43.35333400

2008-2019 yılları için (11 yıllık) aylık noktasal yağış ortalamaları Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir (Tablo 3.4). Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) alınan OMGİ (Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu) ve MANUEL aylık

yağış değerleri Fırat havzası sınırları içinde ve çevresindeki olan yağış datalarının en az 5 yıl değeri bilinen bütün istasyon ölçümleri kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Çalışma kapsamındaki noktasal yağış istasyonları

Tablo 3.4. Çalışma kapsamındaki bazı istasyonların aylık noktasal yağış değerleri

İSTASYON ADI	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM
Çelikhan	161	75	92	56	85	17	2	4	19	59	61	96	729
Taşlıçay	35	21	42	37	70	32	15	13	15	59	32	30	401
Yayladere	120	136	138	79	95	26	14	14	23	84	64	85	878
Güroymak	103	61	74	56	78	14	3	4	18	83	64	80	639
Çermik	123	75	62	47	43	12	1	1	3	38	50	108	563
Maden	161	65	74	62	69	12	2	1	15	59	59	120	698
Kemah	44	26	59	45	70	37	9	10	20	35	23	29	407
Şahinbey	112	75	66	41	29	10	5	0	8	46	32	100	525
Nurhak	100	54	152	40	52	18	3	3	16	57	48	90	633
Arapkir	78	58	48	60	69	16	5	1	14	43	57	60	510
Muş	83	72	85	50	66	26	9	2	14	61	49	66	585
Kangal	36	23	38	45	67	43	4	7	13	34	28	31	367
Siverek	96	67	63	73	48	13	2	2	14	35	73	89	574
Mazgirt	113	71	78	76	75	16	4	4	13	50	49	103	652

Ürün ekim ve hasat tarihleri, farklı aşamalar için bitki katsayı (K_C) değerleri, bitki gelişim periyotları ve Fırat Havzasında yetiştirilen bitkilerin yetiştği bölgeler (11 iklim bölgesi, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’da) baz alınarak TAGEM ve DSİ tarafından yayınlanan Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberinden (TAGEM ve DSİ, 2017)

alınmıştır. TAGEM ve DSİ (2017) bitki katsayılarını FAO veri tabanlarından yararlanarak enterpolasyon tekniği ile hesaplamıştır (Avanoz, 2020).

Tablo 3.5. Fırat Havzası İklim Bölgeleri ve İstasyon Sayısı (TAGEM ve DSİ, 2017)

İklim Tipi	İstasyon Sayısı
Doğu-2	6
Erzurum-Kars Yaylası	2
Van	1
Güneydoğu-1	6
Güneydoğu-2	8
Güneydoğu-Geçit	8
Yukarı Fırat-Murat	10
Akdeniz-Güneydoğu Geçit	1
Dağ Yamacı-Doğu	4

Tablo 3.6. Şanlıurfa ili için 10 ürünün bitki katsayısı ve dönem uzunlukları

	Kc başlangı ç	Kc orta	Kc son	Başlangıç Dönemi (gün)	Gelişme Dönemi (gün)	Orta Dönem (gün)	Son Dönem (gün)
Pamuk	0.32	1.24	0.61	30	50	55	45
Buğday	0.67	1.13	0.25	30	111	40	30
Antepfıstığı	0.40	1.10	0.47	20	63	80	60
Mısır (Dane)	0.29	1.26	0.39	30	40	55	35
Arpa	0.93	1.14	0.26	30	111	35	20
Mercimek	0.67	1.09	0.31	30	110	40	30
Üzüm	0.51	0.91	0.46	23	55	85	67
Kayısı	0.45	0.95	0.75	30	40	115	40
Zeytin	0.52	0.77	0.72	27	76	54	76
Yonca	0.40	1.22	1.18	3	12	8	7

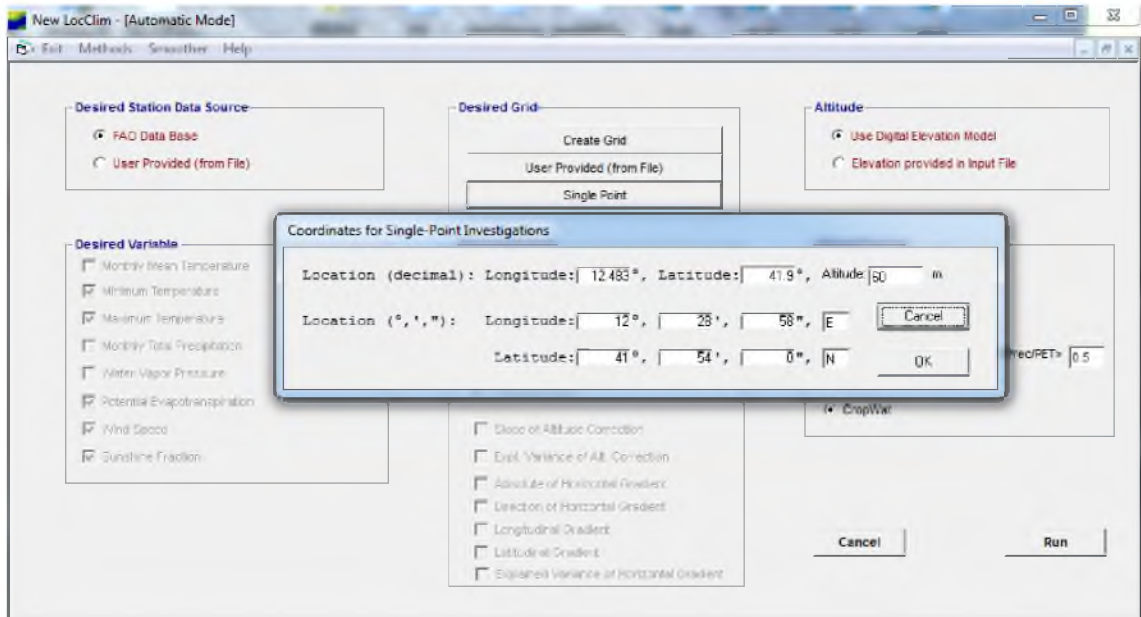
Fırat havzasında bitkisel üretim istatistiklerine (üretim miktarı, ekilen alan ve verim) ilişkin veriler Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2019) veri tabanından alınmıştır. Bu çalışmada, meyveler (armut, badem, ceviz, elma, incir, fıstık, kayısı, kiraz, nar, şeftali ve üzüm), sebzeler (bakla, biber, domates, hıyar, karpuz, kavun, marul, maydanoz, patates, patlıcan, sarımsak, soğan ve fasulye), yemler (arpa, yonca, mısır, aspir, fiğ ve korunga), tahıllar (nohut, mercimek, mısır ve buğday), diğer ürünler (ayçiçeği, susam, zeytin, pamuk, şeker pancarı ve tütün) olmak üzere 41 farklı ürün türü incelenmiştir. Tarımsal üretimin gri su ayak izi miktarı için gerekli olan azot miktarı BÜGEM ve TAGEM (2018) rehberinden alınmıştır. Büyükbaş, koyun, keçi ve kümes hayvanlarının yıllık toplam sayısını gösteren hayvan istatistikleri (TÜİK, 2019) veri tabanından elde edilmiştir. Her bir hayvan kategorisinin ortalama yıllık su ayak izi miktarları için ulusal istatistikler ilgili literatürden elde edilmiştir (Mekonnen ve Hoekstra, 2012). Çalışma alanı için sanayi ve evsel su tüketim istatistikleri Türkiye İstatistik Kurumu'ndan elde edilmiştir (TÜİK, 2019). Hem endüstriyel hem de evsel faaliyetler dahil olmak üzere kişi başına su tüketimi kullanılmıştır. Havzadaki ilçelerin toplam nüfusu dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

3.3. Metot

3.3.1. New_LocClim yazılımı

New_LocClim programı, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün Agrometeoroloji Grubu tarafından geliştirilen bir yazılımdır. Program fiziksel gözlemin bulunmadığı konumdaki iklim koşullarını, mevcut gözlemlerdeki verileri enterpolasyon yöntemiyle tahminini sağlamaktadır. Uzun vadeli gözlem istasyon verilerini (50 yıllık ortalamalar) kullanan New_LocClim yazılımı, minimum ve maksimum sıcaklık, yağış, su buharı basıncı, potansiyel buharlaşma, rüzgâr hızı ve güneş fraksiyonu tahminlerini sağlamaktadır (Rypel, 2014).

New_LocClim, otomatik mod, tek nokta modu ve çalışma modu olmak üzere 3 modda çalışmaktadır. Yapılan çalışmada otomatik mod kullanılmıştır. Otomatik mod, kullanıcı tarafından seçilen biçimleri ve yöntemleri kullanarak otomatik olarak dosyalara yazmaktadır. Bu çalışmada New_LocClim yazılımında FAO veri tabanı kullanılarak Fırat havzasında yer alan ilçe merkezlerinin enlem ve boylam değerleri girdi olarak kullanılmıştır. Minimum ve maksimum sıcaklık, potansiyel evapotranspirasyon, rüzgâr hızı ve güneş ışığı oranı CROPWAT yazılımı ile uyumlu bir şekilde elde edilmiştir. New_LocClim yazılımının kullanılma amacı Penman-Monteith yöntemi için gerekli olan iklim datalarının elde edilmesidir.



Şekil 3.3. New_LocClim programının ara yüzü

3.3.2. Penman-Monteith yöntemi

Referans evapotranspirasyonu (ET_0) tahmin etmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalara göre en doğru ve güvenilir metod Penman-Monteith yöntemi olarak kabul edilir ve genellikle diğer ampirik yöntemleri doğrulamak için kullanılmaktadır (Chen et al., 2005). Referans evapotranspirasyonu (ET_0) hesabı CROPWAT yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu program referans evapotranspirasyonu (ET_0) Penman-Monteith yöntemine göre hesaplamaktadır. Penman-Monteith yöntemindeki iklim verileri New_LocClim yazılımından elde edilmiştir. Referans evapotranspirasyon (ET_0) Penman-Monteith modeline göre,

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \frac{C_n}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + (1 + C_d u_2)} \quad (3.1)$$

hesaplanmıştır. Burada ET_0 , referans evapotranspirasyon (mm/gün); R_n , bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ/m^2); G , zemin ısı değişim yoğunluğu (MJ/m^2 gün); T , hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$); 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 ($C_d=0.34$) olarak tanımlanmaktadır (Almorox vd., 2016).

3.3.3. Alansal enterpolasyon

Noktasal yağış ölçümlerini alansal yağış değerlerine çevirmek için ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. Fırat havzası ve çevresinde yer alan noktasal yağış ölçümleri programa tanımlanmış ve alansal enterpolasyon tekniği ile değerler elde edilmiştir. ArcGIS yazılımının tercih edilmesinin en önemli etkenleri arasında gelişmiş ara yüze sahip olması, veri yönetimi, coğrafi analiz, haritalama ve görselleştirme, veri paylaşımı, gelişmiş düzenleme ve koordinat geometrisi (COGO) araçları vb. özellikleri yer almaktadır. ArcGIS yazılımıyla alansal enterpolasyon, Doğal Komşuluk Enterpolasyon Tekniği (Natural Neighbors Interpolation), Jeostatistiksel analiz kapsamında Ters Ağırlıklı Mesafe (IDW) Yöntemi, Kriging Yöntemi ve Spline Enterpolasyon Tekniği ile gerçekleştirilmektedir (Tural, 2011). Yapılan çalışmada kullanılan enterpolasyon tekniği Kriging metodu olmuştur.

Kriging yöntemi bilinen yakın noktalardan ağırlıkları oranında yararlanarak diğer bilinmeyen noktaların ölçüm değerlerini hesaplamak için uygulanan bir enterpolasyon tekniğidir (Tural, 2011). Kriging yönteminde kullanılan temel eşitlik;

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

Burada N_p , Kriging değeri; N 'nin hesabında kullanılan her N_i değerine karşılık gelen ağırlık değeri; N_i , n , tahminde kullanılan nokta sayısı; i , 1'den n 'ye kadar gözlem noktasındaki değerler; P_i , N_p 'nin hesabında kullanılan noktaların değerini ifade etmektedir (Yaprak ve Arslan, 2008).

Kriging metodu, tahmin edilen her bir nokta veya alan için bir varyans değeri hesaplayabilmesi diğer enterpolasyon metotlarından ayıran en önemli özelliğidir. Hesaplanan varyans değeri tahmin edilen her bir nokta veya alanın güven derecesinin bir ölçüsüdür (Başkan, 2004; Yaprak ve Arslan, 2008). Kriging yönteminde hata varyansı eşitliği;

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^N W_i \gamma(X_0 - X_i) + \gamma \quad (3.3)$$

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



Şekil 3.4. ArcGIS programının menü çubuğu

3.3.4. CROPWAT yazılımı

CROPWAT yazılımı, 1992 yılında FAO Su Kaynakları Geliştirme ve Yönetim Hizmeti için geliştirilmiştir. Bu yazılım Penman Monteith yöntemini kullanarak aylık toplam ET_0 değerini hesaplamakta ve bitkinin farklı gelişim dönemlerindeki K_C değerleri biliniyorsa bitkinin ihtiyaç duyduğu sulama suyu miktarını da tahmin etmektedir (Karaca, Büyüктаş ve Tekelioğlu, 2017).

Referans bitki su tüketimi (ET_0) ve ürün bitki su tüketimi (ET_C) hesaplamaları için tasarlanan yazılımın gerekli giriş verileri meteorolojik veriler (sıcaklık, bağıl nem, yağış, rüzgâr hızı, güneşli saatler), ürün verileri (bitki katsayısı, kök uzunluğu, gelişim dönemi uzunlukları, ekim ve hasat zamanları) ve toprak verilerinden (toprak suyu miktarı, sızma oranı) oluşmaktadır (Kartal vd., 2019). CROPWAT yazılımının temel işlevleri olan; referans bitki su tüketimi, bitki su tüketimi, bitkinin sulama suyu ihtiyacını, sulama sisteminin geliştirilmesini hesaplayabilmektedir.

Bu çalışmada Penman-Monteith yöntemi için gerekli Fırat havzasındaki ilçelerin iklim dataları New_LocClim yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Referans evapotranspirasyon (ET_0) değerleri CROPWAT yazılımı kullanılarak Penman-Monteith yöntemi ile hesaplanmıştır. ArcGIS yazılımının alansal enterpolasyon yöntemini kullanarak elde edilen Fırat havzasındaki ilçelerin alansal yağış değerleri CROPWAT yazılımın eşitlik [3.4] ve [3.5] kullanarak efektif yağış değerleri hesaplanmıştır.

$$P_{eff} = P_{month} \times (125 - 0.2 \times P_{month}) / (125) \quad P_{month} \leq 250 \text{ mm} \quad (3.5)$$

$$P_{eff} = 125 + (0.1 \times P_{month}) \quad P_{month} > 250 \text{ mm} \quad (3.6)$$

Cropwat yazılımının "Crop" menüsüne TAGEM ve DSİ (2017) tarafından yayınlanan rehberden Fırat havzasında yer alan ürünlerin ekim ve hasat tarihleri, farklı aşamalar için bitki katsayı (K_C) değerleri, bitki gelişim periyotları kaydedilmiştir. Yazılımdaki "CRW" menüsünden eşitlik [3.6] kullanarak Bitki evapotranspirasyon (ET_C) hesaplanmıştır.

$$ET_C = K_C \times ET_0 \quad (3.7)$$

Month	Decade	Stage	Kc	Etc	Etc	Eff rain	In. Req
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Oct	3	Ini	0.67	2.23	25.2	9.5	15.2
Nov	1	Ini	0.67	1.68	16.9	11.0	7.9
Nov	2	Deve	0.67	1.50	15.0	12.4	2.6
Nov	3	Deve	0.70	1.35	13.5	13.8	0.0
Dec	1	Deve	0.74	1.22	12.2	15.7	0.0
Dec	2	Deve	0.79	1.08	10.8	17.3	0.0
Dec	3	Deve	0.83	1.12	12.3	16.5	0.0
Jan	1	Deve	0.86	1.18	11.8	15.7	0.0
Jan	2	Deve	0.92	1.23	12.3	15.2	0.0
Jan	3	Deve	0.97	1.41	15.6	14.3	0.6
Feb	1	Deve	1.07	1.61	16.1	14.5	1.6
Feb	2	Deve	1.06	1.62	16.2	14.1	4.0
Feb	3	Deve	1.09	2.23	17.8	14.1	3.7
Mar	1	Deve	1.13	2.67	26.7	14.5	12.2
Mar	2	Mid	1.15	3.08	30.8	14.6	16.2
Mar	3	Mid	1.16	3.45	37.9	13.1	24.8
Apr	1	Mid	1.16	3.74	37.4	11.2	26.2
Apr	2	Late	1.15	4.05	40.5	9.7	20.9
Apr	3	Late	0.96	4.01	40.1	8.6	20.4
May	1	Late	0.66	3.20	32.0	10.5	21.6
May	2	Late	0.37	2.04	20.4	9.5	7.7
					463.3	278.1	205.7

Şekil 3.5.Cropwat programının ara yüzü

3.3.5. Su ayak izi metodu

Toplam su ayak izi; tarımsal su ayak izi, hayvansal üretimin su ayak izi, evsel ve endüstriyel kullanımın su ayak izi bileşenlerinin toplamına eşittir (Muratoğlu, 2018). Yapılan çalışmada Fırat havzasının tarımsal su ayak izinin hesaplamalarında (Hoekstra vd., 2011) tarafından geliştirilen metod kullanılmıştır.

$$SA_{toplam} = SA_{tarımsal} + SA_{hayvansal} + SA_{evsel\ ve\ endüstriyel} \quad (3.8)$$

Tarımsal su ayak izinin hesaplanabilmesi için öncelikli ilk parametre mavi ve yeşil evapotranspirasyon miktarlarının bulunmasıdır. ET_{mavi} , yüzey ve yeraltı suyunun evapotranspirasyonu (mm); $ET_{yeşil}$, yağışın evapotranspirasyonu (mm); P_{eff} , efektif yağış, ET_C ise bitki evapotranspirasyonu ifade etmektedir (Muratoğlu, 2020).

$$ET_{mavi} = \max(0, ET_C - P_{eff}) \quad (3.9)$$

$$ET_{yeşil} = \min(ET_C, P_{eff}) \quad (3.10)$$

Bitki su tüketimi miktarı (BST , m^3/ha), mavi ve yeşil su tüketiminin toplamı olarak hesaplanmaktadır (Muratoglu, 2019). Burada BST_{mavi} , bitkinin mavi su tüketimi; $BST_{yeşil}$, bitkinin yeşil su tüketimi; BST_{toplam} , bitkinin toplam su tüketimidir.

$$BST_{mavi} = 10 \sum ET_{mavi} \quad (3.11)$$

$$BST_{yeşil} = 10 \sum ET_{yeşil} \quad (3.12)$$

$$BST_{toplam} = BST_{mavi} + BST_{yeşil} \quad (3.13)$$

Bitki üretim miktarının ekilen alana bölünmesiyle elde edilen verim değerinin BST bölünmesiyle sanal su muhtevaları (SSM , m³/ton) bulunmaktadır. Sanal su muhtevası ürünlerin harcanan ve işletilen toplam su miktarını ifade etmektedir (Muratoğlu, 2020). V , verim; P , üretim miktarı; A , ekilen alan; SSM_{mavi} , mavi sanal su muhtevası; $SSM_{yeşil}$, yeşil sanal su muhtevası; SSM_{toplam} , toplam sanal su muhtevasıdır.

$$V = \frac{P}{A} \quad (3.14)$$

$$SSM_{mavi} = \frac{BST_{mavi}}{V} \quad (3.15)$$

$$SSM_{yeşil} = \frac{BST_{yeşil}}{V} \quad (3.16)$$

$$SSM_{toplam} = SSM_{mavi} + SSM_{yeşil} \quad (3.17)$$

Her ürünün mavi ve yeşil su ayak izi (m³) ise sanal su muhtevalarıyla üretim miktarlarının çarpımıyla elde edilmektedir (Muratoğlu, 2020).

$$SA_{mavi + yeşil} = \sum SSM_i \times P_i \quad (3.18)$$

Her ürünün gri su ayak izi (m³) tarımsal aktiviteler sonucu suya direk eklenen kirletici yükünün maksimum nitrat konsantrasyonun doğal konsantrasyon farkına bölünmesi sonucu elde edilmektedir.

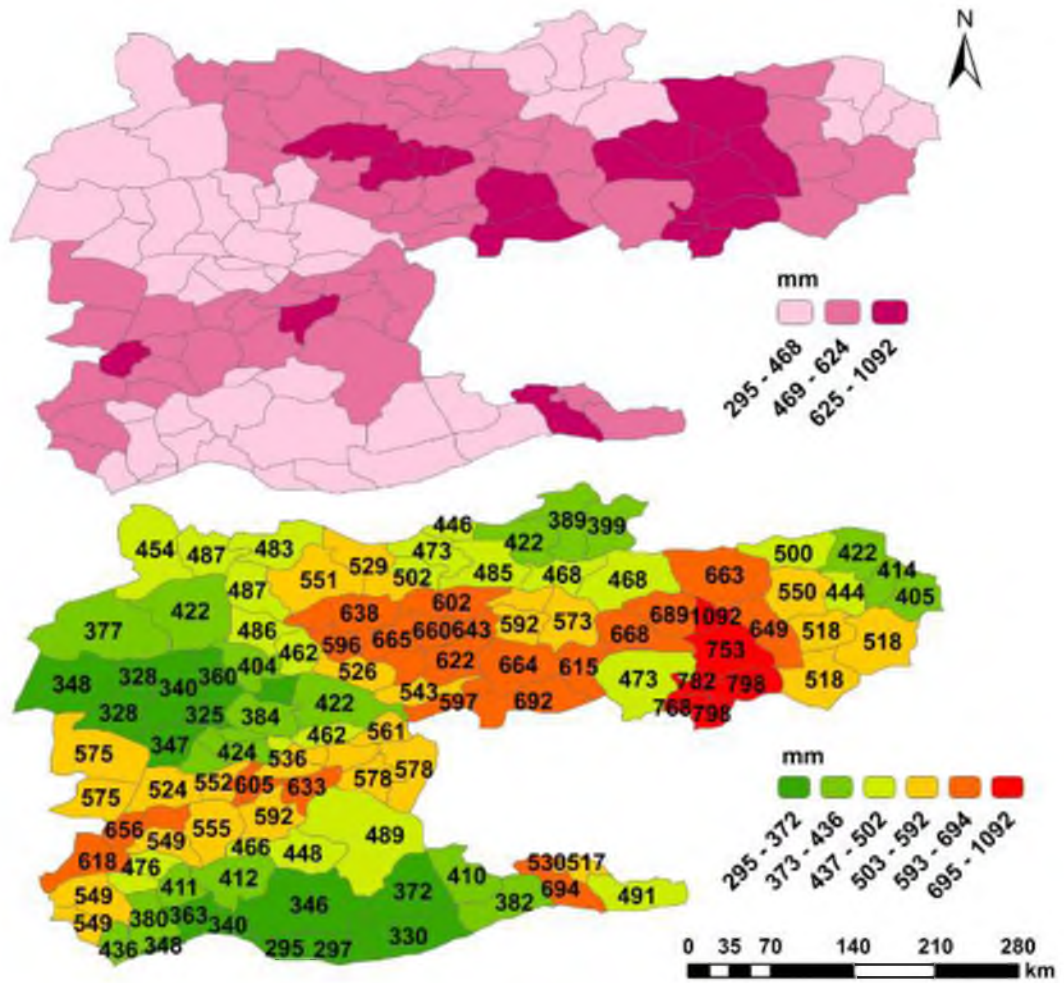
$$SA_{gri} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad (3.19)$$

BÖLÜM 4

BULGULAR

4.1. Alansal evapotranspirasyon tahmini

MGM'den alınan noktasal aylık yağış değerleri ArcGIS yazılımıyla Kriging metodu (Bölüm 3.3.3.) kullanılarak alansal yağış değerlerine dönüştürülmüştür. Yapılan işlemlerde MGM tarafından kaydedilen 185 meteoroloji istasyon verileri kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Fırat havzası toplam aylık alansal yağış haritası

ArcGIS yazılımının Geostatistical analyst modülünde (3.3) denklemi uygulanarak alansal dağılımdaki hata payı (Root-Mean-Square-Standardized) asgari seviyeye indirgenmiştir. Tablo 4.1'de elde edilen hata oranları düşük değere sahip olduğu için gerçeğe yakın değerler ve haritalar elde edilmiştir.

Tablo 4.1.Alansal yağış hata oranları

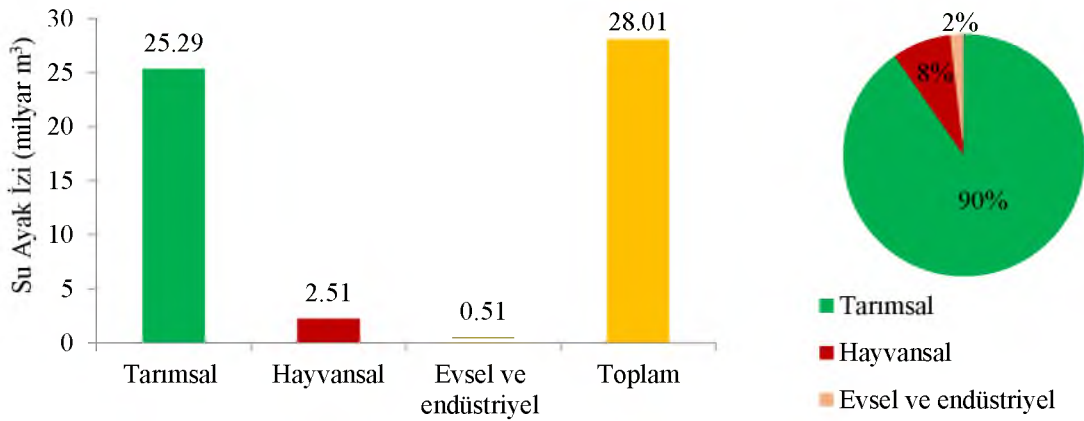
Aylar	Hata oranı
Ocak	0.98
Şubat	1.08
Mart	1.09
Nisan	1.07
Mayıs	1.07
Haziran	1.13
Temmuz	0.95
Ağustos	1.03
Eylül	1.20
Ekim	1.12
Kasım	1.12
Aralık	0.96
Toplam	1.08

ArcGIS yazılımında Şekil 4.1’de Geostatistical analyst modülünün bir tekniği olan Kriging metodunda denklem (3.2) uygulanarak alansal enterpolasyon yapılmıştır. Bu metotla hem mesafe hem de uzaysal düzen dikkate alınmış ve verinin olmadığı noktaların değerleri tahmin edilmiştir.

ArcGIS yazılımında Şekil 4.1’de Zonal Statistics modülü kullanılarak bölgesel istatistik analizi uygulanmıştır. Bu analiz bir veri kümesinin bölgelerinde herhangi bir raster değerleri hakkındaki istatistikleri hesaplamaktadır. Zonal Statistic as Table modülü ise bir veri kümesinin bölgelerinde raster değerlerini özetlemekte ve sonuçları bir tabloya rapor etmektedir.

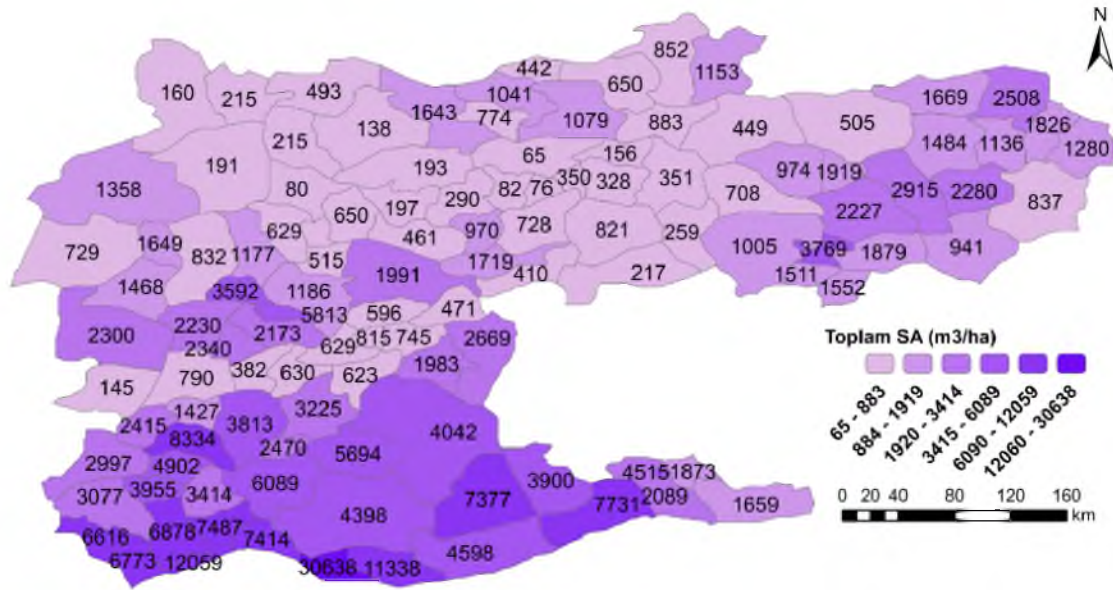
4.2. Fırat havzası toplam su ayak izi

Fırat Havzası'nda ortalama yıllık su ayak izi 2010–2018 için 28.01 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Tarımsal su ayak izi 25.29 milyar m³ olup, toplam SA'nin % 90'ına tekabül etmektedir. Bitkisel üretim, hayvancılık üretimi ve evsel ve endüstriyel tüketime ilişkin SA'nin ayrıntılı gösterimi Şekil 4.2'de verilmiştir. Tarım ve hayvancılık faaliyetleri, Fırat havzasındaki su kullanımının temel kaynağıdır. Havzanın hayvansal SA 2.21 milyar olup toplam su ayak izinin yaklaşık % 8'ine tekabül etmektedir ve temelde yeşil suya dayanmaktadır. Evsel ve endüstriyel su kullanımının havza içindeki toplam SA'nin yaklaşık % 2'si olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.2. Fırat havzasının tarımsal, hayvancılık ve evsel artı endüstriyel su ayak izi miktarları ve oranları

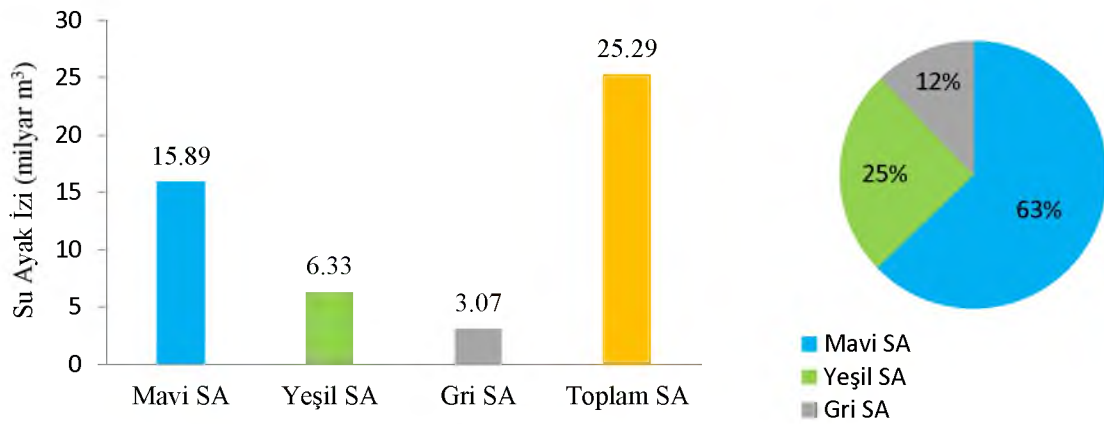
Fırat havzasının toplam su ayak izi incelendiğinde (Şekil 4.3) güney kısmında kalan ilçelerin su ayak izi miktarının kuzeyindeki ilçelere göre daha yüksek olduğu analiz edilmiştir. Çalışma alanının da en fazla su ayak izi miktarına sahip olan ilçeler Akçakale (30,638 m³/ha) ve Harran (11,338 m³/ha) olduğu saptanmıştır. Bu ilçelerin toplam su ayak izinin en büyük oranına sahip pamuk ürünü olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Fırat havzası toplam su ayak izi miktarları

4.2.1. Tarımsal üretimin toplam su ayak izi

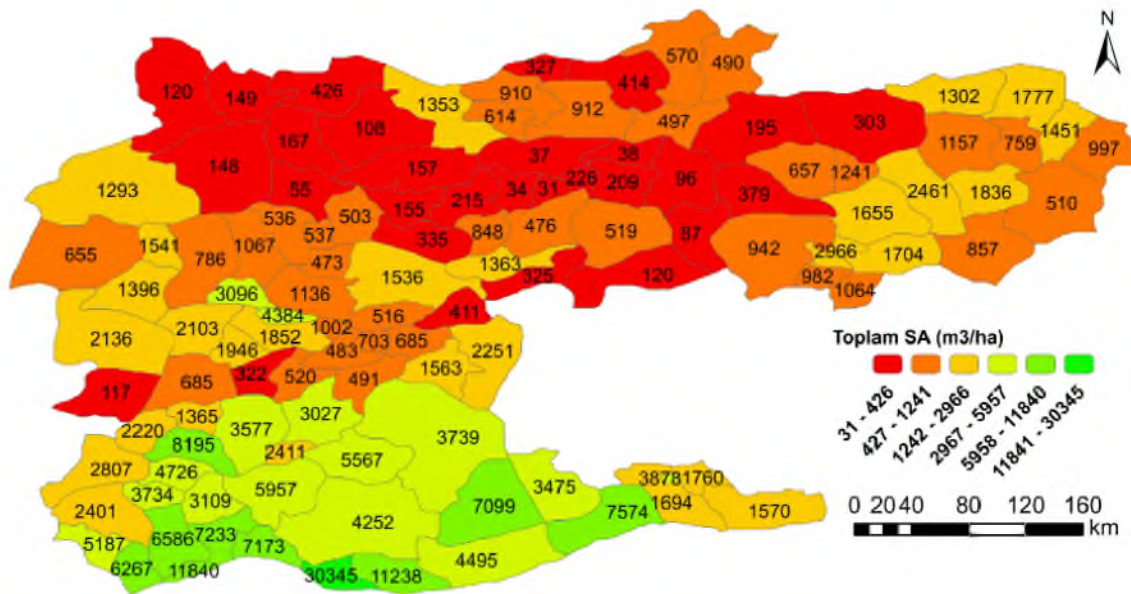
Çalışma kapsamında Fırat havzasında üretilen 41 ürünün 2008-2019 yılları arasındaki toplam tarımsal üretiminin toplam su ayak izi ortalaması 25.29 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.4'te gösterildiği gibi toplam tarımsal su ayak izi miktarının büyük bir kısmını oluşturan mavi su ayak izi miktarı 15.89 milyar m³, yeşil su ayak izi miktarı 6.33 milyar m³ ve daha az bir kısmını oluşturan gri su ayak izi miktarı 3.07 milyar m³ olarak tahmin edilmiştir. Bu bağlamda tarımda kullanılan mavi su oranı % 63, yeşil su oranı % 25 iken gri su oranı % 12'ye denk gelmektedir (Şekil 4.4).



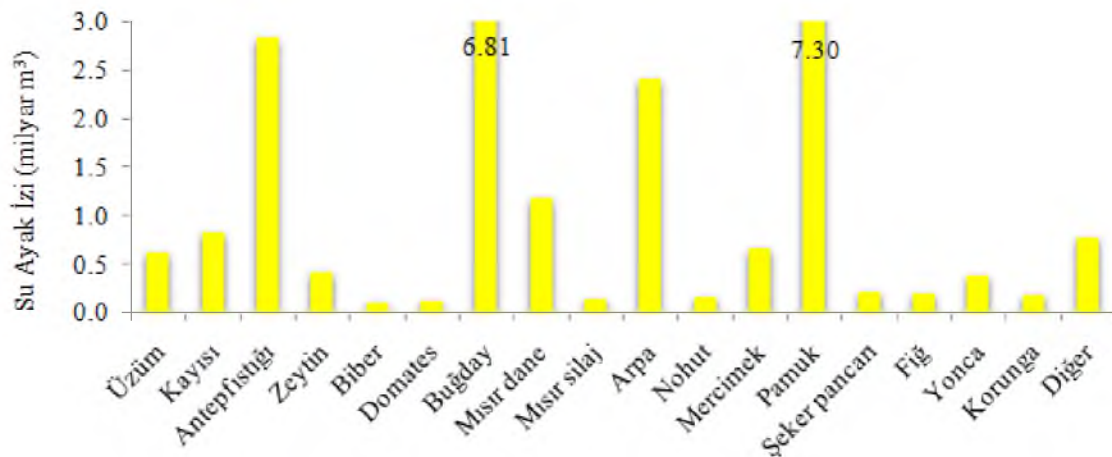
Şekil 4.4. Tarımsal üretimin yeşil, mavi ve toplam su ayak izi miktarları ve oranları

Fırat havzasında üretilen tarımsal üretimin toplam su ayak izi incelendiğinde (Tablo 4.2) % 6.40 oranında en büyük paya sahip ilçe Akçakale olduğu ve % 0.01 oranında en düşük paya sahip ilçe Yayladere olduğu analiz edilmiştir. Akçakale ilçesinin toplam su ayak izi miktarı 1.78 milyar m³ olup sırasıyla Siverek, Şanlıurfa Merkez, Viranşehir ve Kızıltepe ilçeleri takip etmiştir.

Şekil 4.6'de gösterildiği gibi tarımsal ürün gruplarından toplam su ayak izi miktarları en yüksek 7.30 milyar m³ ve 6.81 milyar m³ değerleriyle pamuk ve buğday ürünleri olduğu saptanmıştır. Pamuk ve Buğday ürünleri Fırat havzasındaki toplam su ayak izi miktarının yaklaşık % 59.74'üne sahiptir. Pamuk ve buğday ürünlerini antepfıstığı, arpa, mısır dane, kayısı, mercimek ve üzüm ürünleri takip etmiştir.



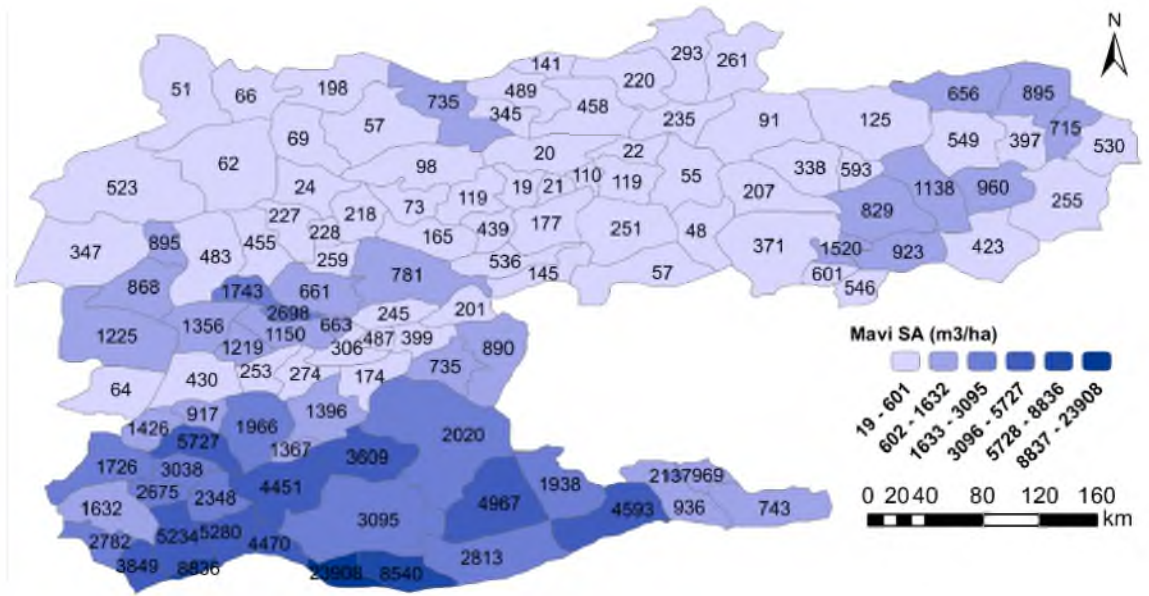
Şekil 4.5. Tarımsal üretimin toplam su ayak izi miktarları



Şekil 4.6. Tarımsal ürün gruplarının toplam su ayak izi miktarları

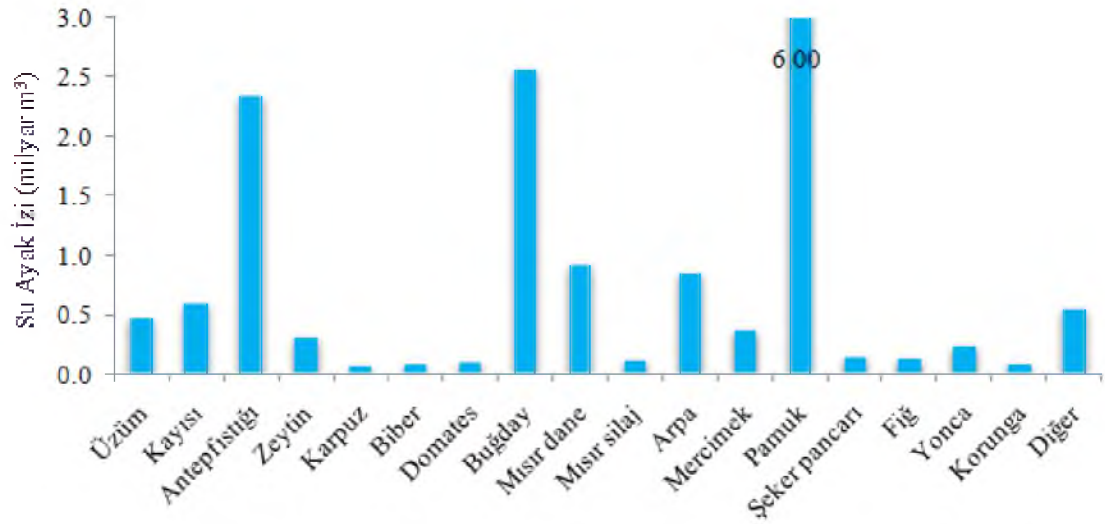
4.2.1.1. Tarımsal üretimin mavi su ayak izi

Fırat havzasında tarımsal üretimin yaklaşık % 63 oranına sahip mavi su ayak izinin toplam miktarı 15.89 milyar m³'tür. Tablo 4.2 incelendiğinde havzanın ilçe bazında en yüksek mavi su ayak izi miktarı (1.406 milyar m³) ile Akçakale ilçesi olup en düşük mavi su ayak izi miktarı (0.604 milyon m³) ile Yayladere ilçesi olduğu saptanmıştır. Akçakale ilçesininin mavi su ayak izi miktarı toplam mavi su ayak izi miktarının yaklaşık % 8'ini karşıladığı analiz edilmiştir. Akçakale ilçesini Şanlıurfa merkez, Viranşehir, Siverek Harran ve Bozova ilçeleri takip etmiştir.

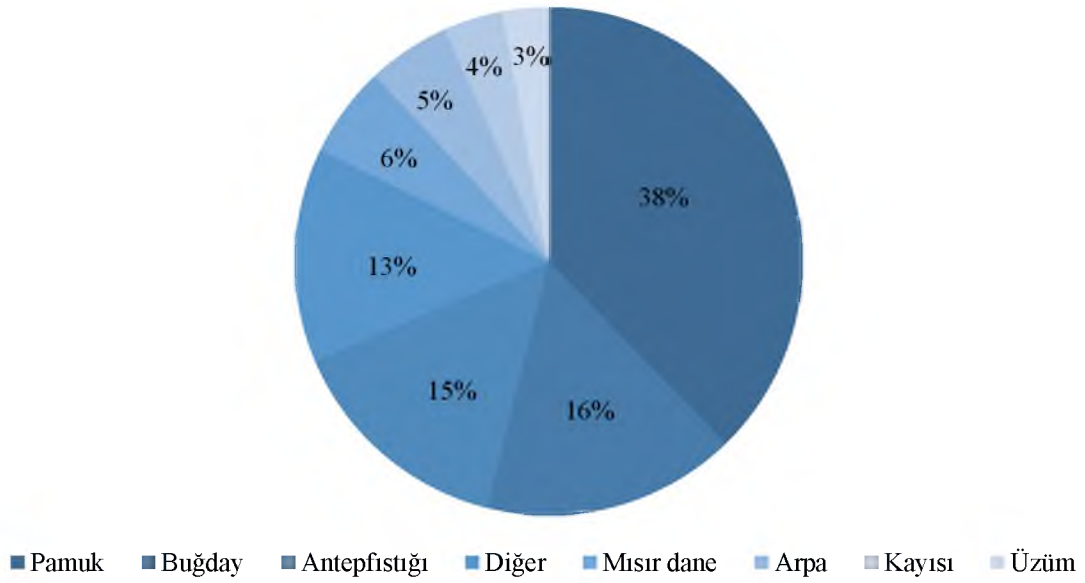


Şekil 4.7. Fırat havzasındaki tarımsal üretimin mavi su ayak izi miktarları

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'de gösterildiği gibi tarımsal ürün gruplarından mavi su ayak izi oranı en yüksek olan pamuk ürününün su ayak izi miktarı 6.00 milyar m³ olduğu hesaplanmıştır. Pamuk ürününün Fırat havzasındaki toplam mavi su ayak izi miktarının yaklaşık % 36'sına sahiptir. Pamuk ürününü buğday, antepfıstığı, mısır dane, arpa, kayısı, ve üzüm ürünleri takip etmiştir. Fırat havzasında yetiştirilen ürünlerden düşük mavi su ayak izine sahip ürünler sırasıyla maydanoz, marul , incir, kabak, şeftali, armut, kiraz ve sarımsak ürünleridir.



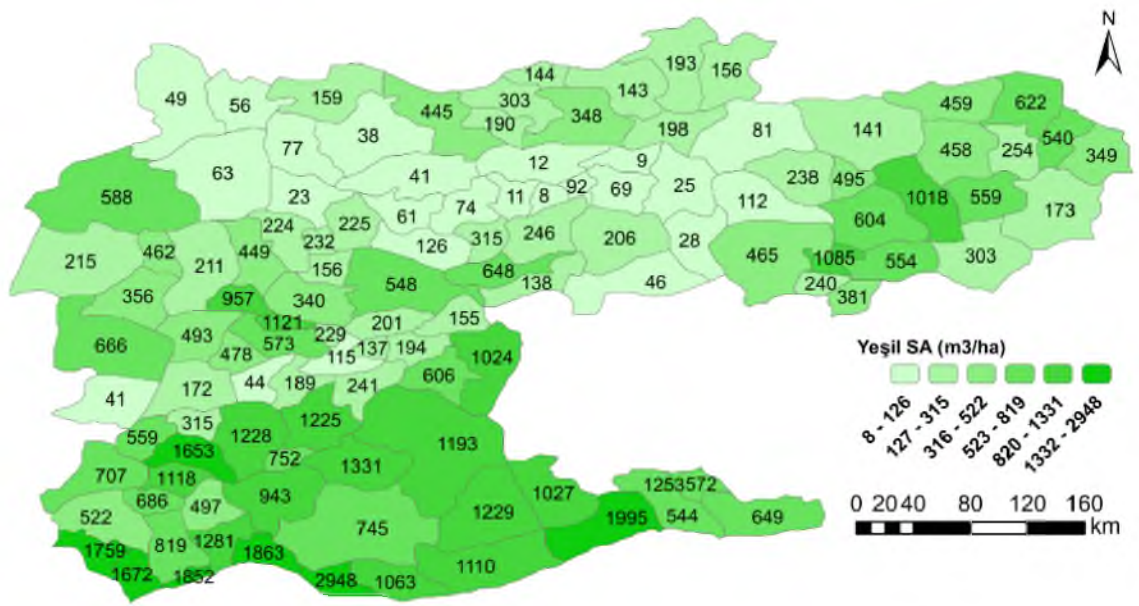
Şekil 4.8. Tarımsal ürün gruplarının mavi su ayak izi miktarları



Şekil 4.9. Tarımsal ürün gruplarının mavi su ayak izi oranları

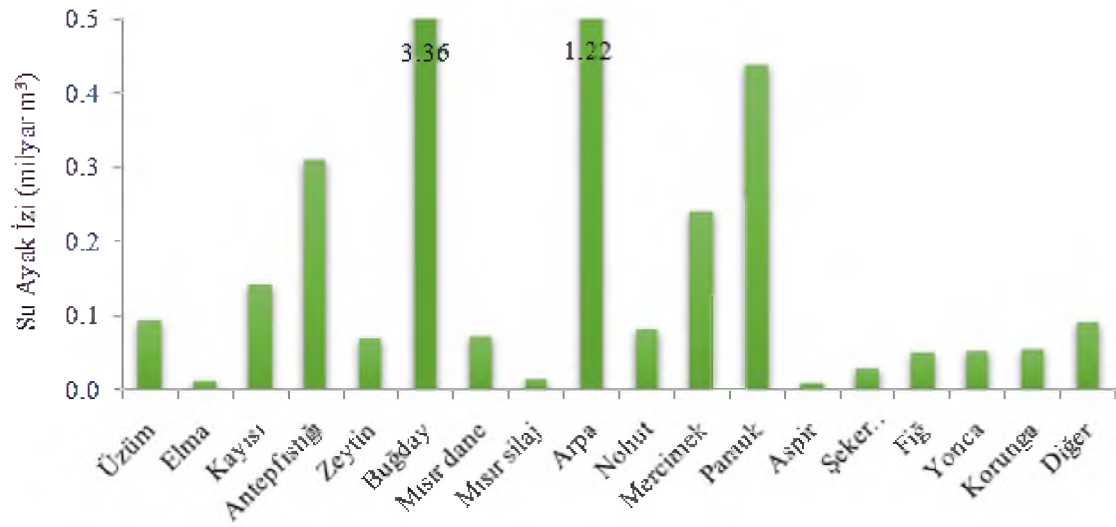
4.2.1.2. Tarımsal üretimin yeşil su ayak izi

Fırat havzasında tarımsal üretimin yaklaşık % 25 oranına sahip mavi su ayak izinin toplam miktarı 6.33 milyar m³'tür. Tablo 4.2 incelendiğinde havzanın ilçe bazında en yüksek yeşil su ayak izi miktarı (5.286 milyar m³) ile Siverek ilçesi olup en düşük mavi su ayak izi miktarı (0.234 milyon m³) ile Yayladere ilçesi olduğu saptanmıştır. Siverek ilçesinin yeşil su ayak izi miktarı toplam yeşil su ayak izi miktarının yaklaşık % 7'sini karşıladığı analiz edilmiştir. Siverek ilçesini Kızıltepe, Şanlıurfa merkez, Viranşehir, Ceylanpınar ve Kangal ilçeleri takip etmiştir

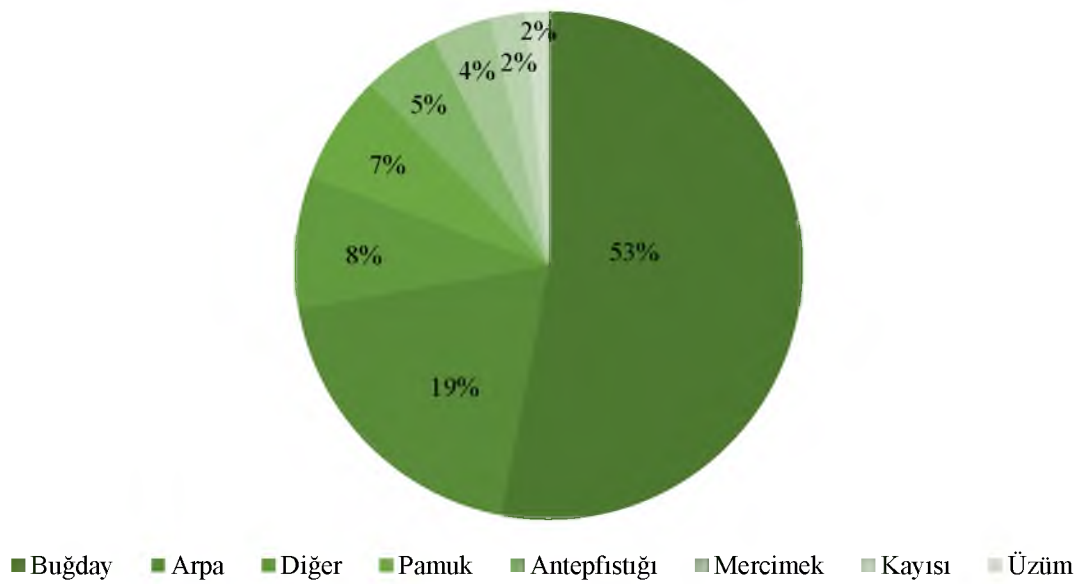


Şekil 4.10. Fırat havzasındaki tarımsal üretimin yeşil su ayak izi miktarları

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterildiği gibi tarımsal ürün gruplarından yeşil su ayak izi miktarları en yüksek 3.36 milyar m³ ve 1.22 milyar m³ değerleriyle buğday ve arpa ürünleri olduğu saptanmıştır. Buğday ve Arpa ürünleri Fırat havzasındaki toplam su ayak izi miktarının yaklaşık % 72'sine sahiptir. Buğday ve arpa ürünlerini pamuk, antepfıstığı, mercimek, kayısı ve üzüm ürünleri takip etmiştir.



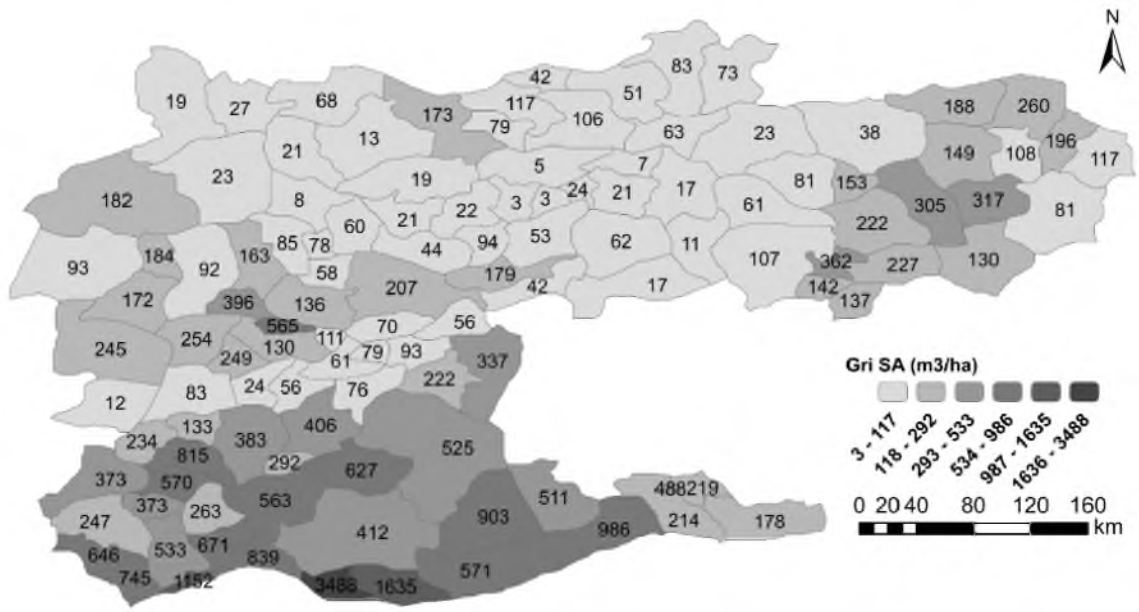
Şekil 4.11. Tarımsal ürün gruplarının yeşil su ayak izi miktarları



Şekil 4.12. Tarımsal bazı gruplarının yeşil su ayak izi oranları

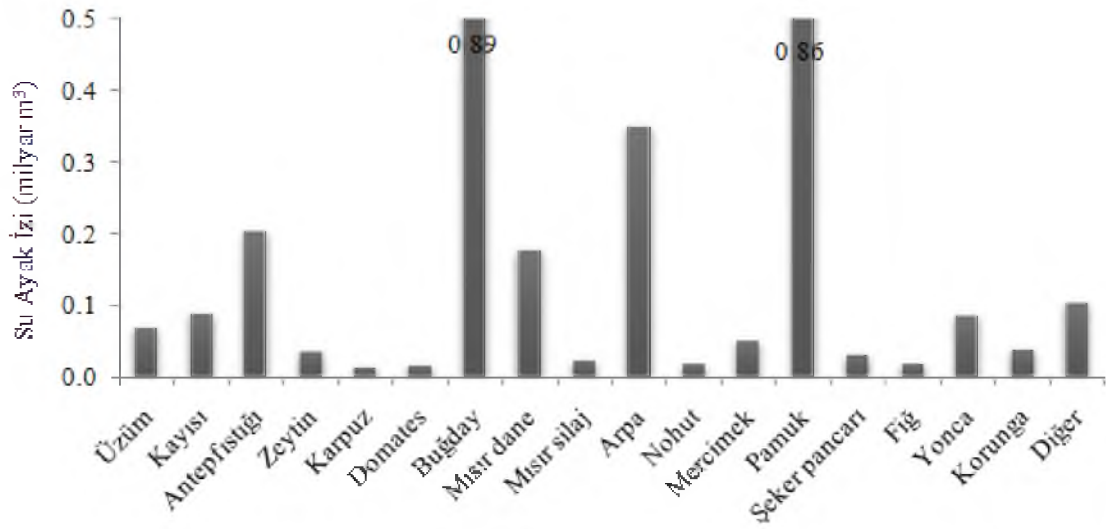
4.2.1.3. Tarımsal üretimin gri su ayak izi

Fırat havzasında tarımsal üretimin yaklaşık % 12 oranına sahip gri su ayak izinin toplam miktarı 3.07 milyar m³'tür. Tablo 4.2 incelendiğinde havzanın ilçe bazında en yüksek gri su ayak izi miktarı (2.327 milyar m³) ile Siverek ilçesi olup en düşük gri su ayak izi miktarı (0.092 milyon m³) ile Yayladere ilçesi olduğu saptanmıştır. Siverek ilçesinin gri su ayak izi miktarı toplam gri su ayak izi miktarının yaklaşık % 7'sini karşıladığı analiz edilmiştir. Siverek ilçesini Akçakale, Harran, Kızıltepe, Şanlıurfa merkez ve Ceylanpınar ilçeleri takip etmiştir

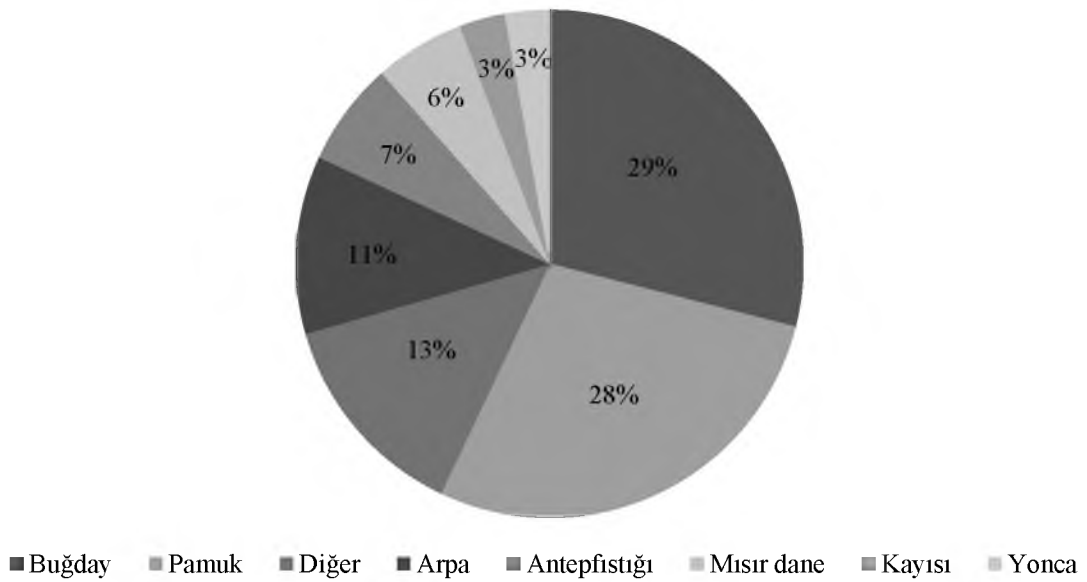


Şekil 4.13. Fırat havzasındaki tarımsal üretimin gri su ayak izi miktarları

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te gösterildiği gibi tarımsal ürün gruplarından gri su ayak izi miktarları en yüksek 0.89 milyar m³ ve 0.86 milyar m³ değerleriyle buğday ve pamuk ürünleri olduğu saptanmıştır. Buğday ve pamuk ürünleri Fırat havzasındaki toplam su ayak izi miktarının yaklaşık % 57'sine sahiptir. Buğday ve pamuk ürünlerini arpa, antepfıstığı, mısır dane, yonca, kayısı ve üzüm ürünleri takip etmiştir. Fırat havzasında yetiştirilen ürünlerden düşük mavi su ayak izine sahip ürünler sırasıyla maydanoz, marul, kabak, şeftali, incir, susam, armut, taze fasulye, kiraz ve sarımsak ürünleridir.



Şekil 4.14. Tarımsal ürün gruplarının gri su ayak izi miktarları



Şekil 4.15. Tarımsal ürün gruplarının gri su ayak izi oranları

Tablo 4.2. Fırat havzasında yer alan ilçelerin su ayak izi miktarları

Fırat Havzasında Yer Alan İller	Fırat Havzasında Yer Alan İlçeler	İlçe Alanları (ha)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m³)	Gri Su Ayak İzi (milyon m³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m³)
Adıyaman	Besni	89500	513	148	73	733
Adıyaman	Gölbaşı	68200	97	38	16	151
Adıyaman	Gerger	84000	15	20	6	41
Adıyaman	Kahta	132300	185	162	54	400
Adıyaman	Merkez	160100	315	197	61	573
Adıyaman	Samsat	30400	42	23	9	73
Adıyaman	Sincik	66800	18	13	4	35
Adıyaman	Tut	50000	46	16	7	68
Adıyaman	Çelikhan	64300	16	3	2	21
Ağrı	Patnos	112500	108	63	36	207
Ağrı	Taşlıçay	73300	52	40	14	106
Ağrı	Merkez	133000	119	83	35	236
Ağrı	Diyadin	108600	58	38	13	108
Ağrı	Eleşkirt	132400	87	61	25	172
Ağrı	Tutak	153400	84	70	23	178
Ağrı	Hamur	83400	33	21	9	63
Bingöl	Kiğı	25300	3	2	1	6
Bingöl	Yedisu	56300	1	1	0	2
Bingöl	Yayladere	30300	1	0	0	1
Bingöl	Merkez	185100	47	38	11	96
Bingöl	Karlıova	146300	8	4	2	14
Bingöl	Genç	169700	10	8	3	20
Bingöl	Adaklı	89400	11	6	2	19
Bingöl	Solhan	112700	5	3	1	10
Bitlis	Adilcevaz	173800	74	53	23	149
Bitlis	Ahlat	108300	100	60	25	185
Bitlis	Güroymak	52800	29	20	7	56
Diyarbakır	Ergani	160500	143	164	54	361
Diyarbakır	Çermik	94600	70	57	21	148
Diyarbakır	Çüngüş	60800	24	12	6	42
Elazığ	Baskil	129800	86	44	18	147
Elazığ	Karakoçan	129500	23	32	7	62
Elazığ	Keban	50800	13	8	3	24
Elazığ	Kovancılar	87800	47	57	16	120
Elazığ	Maden	70000	14	11	4	29
Elazığ	Merkez	222800	174	122	46	342
Elazığ	Palu	83700	12	12	4	27
Elazığ	Sivrice	69800	17	14	5	36
Elazığ	Ağın	28200	6	7	2	15
Erzincan	Kemah	213600	12	8	3	23
Erzincan	Tercan	163200	75	57	17	149

Tablo 4.2'nin devamı

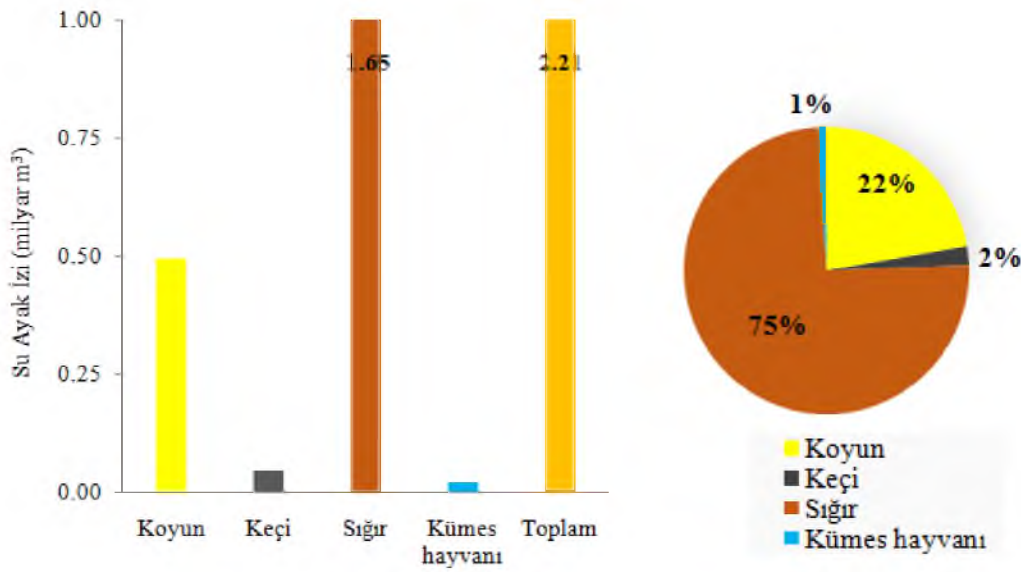
Fırat Havzasında Yer Alan İller	Fırat Havzasında Yer Alan İlçeler	İlçe Alanları (ha)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m³)	Gri Su Ayak İzi (milyon m³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m³)
Erzincan	Refahiye	157900	31	25	11	67
Erzincan	Otlukbeli	45000	6	6	2	15
Erzincan	Kemaliye	107000	3	2	1	6
Erzincan	Üzümlü	59500	21	11	5	37
Erzincan	Çayırlı	105300	52	32	12	96
Erzincan	İliç	130900	9	10	3	22
Erzincan	Merkez	173000	127	77	30	234
Erzurum	Çat	105100	25	21	7	52
Erzurum	Aşkale	141300	31	20	7	59
Erzurum	Hınıs	129400	44	31	10	85
Erzurum	Ilıca	162800	48	31	14	93
Erzurum	Karaçoban	48300	29	24	7	60
Erzurum	Karayazı	258400	32	36	10	78
Erzurum	Merkez	142000	37	22	10	70
Erzurum	Tekman	222400	20	18	5	43
Gaziantep	Karkamış	20200	178	37	23	239
Gaziantep	Araban	61300	186	69	35	290
Gaziantep	Şehitkamil	147000	240	77	36	353
Gaziantep	Nizip	115800	606	95	62	763
Gaziantep	Oğuzeli	63900	246	107	48	400
Gaziantep	Yavuzeli	49700	133	34	19	186
Gaziantep	Şahinbey	67700	188	119	44	351
K.maraş	Elbistan	261500	320	174	64	559
K.maraş	Nurhak	136800	9	6	2	16
K.maraş	Pazarcık	138800	240	98	52	390
Malatya	Doğanyol	26100	13	4	2	18
Malatya	Yeşilyurt	55900	68	27	14	109
Malatya	Yazıhan	52400	91	50	21	162
Malatya	Pötürge	66100	20	8	4	32
Malatya	Merkez	92100	106	53	12	171
Malatya	Kuluncak	54100	48	25	10	83
Malatya	Hekimhan	187100	90	40	17	147
Malatya	Doğanşehir	137200	59	24	11	94
Malatya	Darende	128900	112	46	22	180
Malatya	Battalgazi	27700	75	31	16	121
Malatya	Arguvan	106900	49	48	17	114
Malatya	Arapkir	87900	20	20	7	47
Malatya	Akçadağ	111800	152	55	28	235
Malatya	Kale	19200	13	4	2	19
Mardin	Ömerli	43700	42	25	10	77
Mardin	Yeşilli	6200	13	8	3	24

Tablo 4.2 'nin devamı

Fırat Havzasında Yer Alan İller	Fırat Havzasında Yer Alan İlçeler	İlçe Alanları (ha)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m³)	Gri Su Ayak İzi (milyon m³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m³)
Mardin	Nusaybin	152900	114	99	27	240
Mardin	Merkez	124900	46	58	13	118
Mardin	Derik	149000	289	153	76	518
Mardin	Kızıltepe	164200	754	328	162	1244
Muş	Bulanık	171700	142	104	38	284
Muş	Varto	145900	30	16	9	55
Muş	Merkez	268800	252	146	57	455
Muş	Hasköy	37600	23	9	5	37
Muş	Malazgirt	149400	170	152	46	368
Muş	Korkut	41400	63	45	15	123
Şanlıurfa	Halfeti	80300	189	40	21	250
Şanlıurfa	Suruç	65100	291	121	55	467
Şanlıurfa	Siverek	443100	895	529	233	1657
Şanlıurfa	Merkez	380900	1179	284	157	1620
Şanlıurfa	Harran	103100	880	110	169	1159
Şanlıurfa	Viranşehir	223600	1111	275	202	1587
Şanlıurfa	Ceylanpınar	219300	617	243	125	986
Şanlıurfa	Bozova	177600	791	167	100	1058
Şanlıurfa	Birecik	76200	402	98	51	551
Şanlıurfa	Akçakale	58800	1406	173	205	1784
Şanlıurfa	Hilvan	146400	528	195	92	815
Sivas	Zara	251600	13	12	5	30
Sivas	Kangal	374600	196	220	68	484
Sivas	Gürün	273300	95	59	25	179
Sivas	İmranlı	121700	8	7	3	18
Sivas	Divriği	285400	18	18	6	42
Tunceli	Çemişgezek	88700	19	20	5	45
Tunceli	Hozat	80900	6	5	2	13
Tunceli	Mazgirt	60500	27	19	6	51
Tunceli	Merkez	92700	11	7	2	20
Tunceli	Nazımiye	55800	1	1	0	2
Tunceli	Ovacık	176000	17	7	3	28
Tunceli	Pülümür	144100	3	2	1	5
Tunceli	Pertek	107600	18	14	5	36
Van	Erciş	216300	55	37	18	110

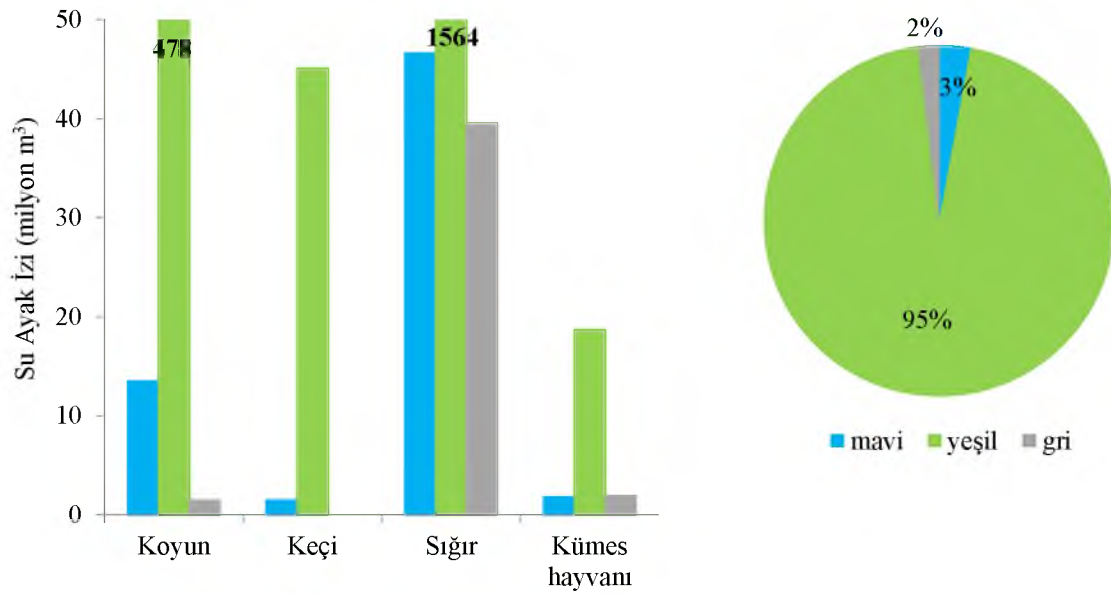
4.2.2. Hayvansal üretimin toplam su ayak izi

Fırat havzasında toplam canlı hayvan miktarı 10.89 milyon olup en fazla koyun grubu (6.81milyon) oluşmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara (Şekil 4.16) göre 2008-2018 yılları arasındaki toplam hayvansal su ayak izi ortalaması 2.21 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Havzada hayvansal üretimin yaklaşık % 75 oranına sahip sığır grubunun toplam su ayak izi miktarı 1.65 milyar m³'tür. Sığır grubunu 0.49 milyar m³ ile koyun, 0.05 milyar m³ ile keçi ve 0.02 milyar m³ ile kümes hayvanları takip etmiştir.



Şekil 4.16. Fırat havzasının hayvancılık üretiminin su ayak izi miktarları ve oranları

Fırat havzasında hayvansal üretimin yaklaşık % 95 oranına sahip yeşil su ayak izinin toplam miktarı 2.11 milyar m³'tür. Havzada hayvansal üretimin su ayak izi miktarının daha az bir kısmını oluşturan mavi su ayak izi 0.06 milyar m³ ve gri su ayak izi miktarı 0.04 milyar m³ olarak elde edilmiştir. Havzada en fazla mavi, yeşil ve gri su ayak izi miktarını sığır grubu oluştururken, en düşük mavi ve yeşil su ayak izi miktarını kümes hayvanı oluşturmaktadır.



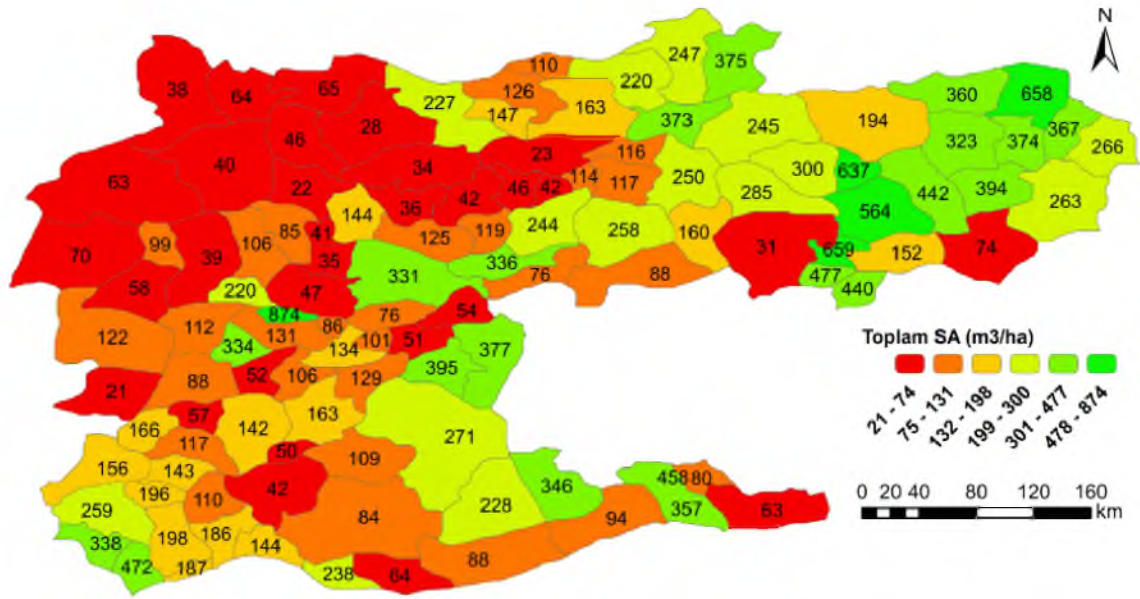
Şekil 4.17. Hayvansal üretimin yeşil, mavi ve toplam su ayak izi miktarları ve oranları

Tablo 4.3. Fırat havzasındaki hayvansal üretimin su ayak izi miktarları

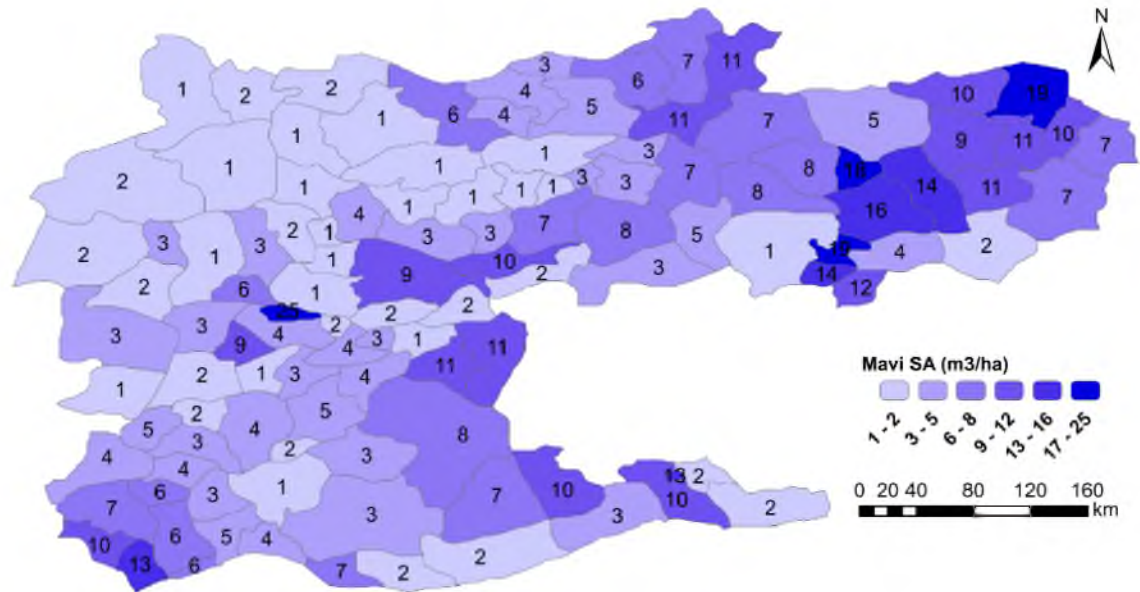
Ürünler	Yeşil Su Ayak İzi (milyar m³)	Mavi Su Ayak İzi (milyar m³)	Gri Su Ayak İzi (milyar m³)	Toplam Su Ayak İzi (milyar m³)
Koyun	0.478	0.014	0.001	0.493
Keçi	0.045	0.001	0.000	0.047
Sığır	1.564	0.047	0.040	1.650
Kümes hayvanı	0.019	0.002	0.002	0.022

Çalışma kapsamında Fırat havzasında hayvansal üretimin 2008-2018 yılları arasındaki toplam su ayak izi ortalaması 2.21 milyar m³ olarak elde edilmiştir. Tablo 4.4'te gösterildiği gibi toplam hayvansal üretimin ilçe bazında en yüksek su ayak izi miktarının 120 milyon m³ ile Siverek ilçesi olup en düşük toplam su ayak izi miktarı 1.2 milyon m³ ile Ağın ilçesi olduğu saptanmıştır. Siverek ilçesini 96.8 milyon m³ ile Bulanık ilçesi ve 95.8 milyon m³ ile Muş merkez ilçesi olduğu analiz edilmiştir.

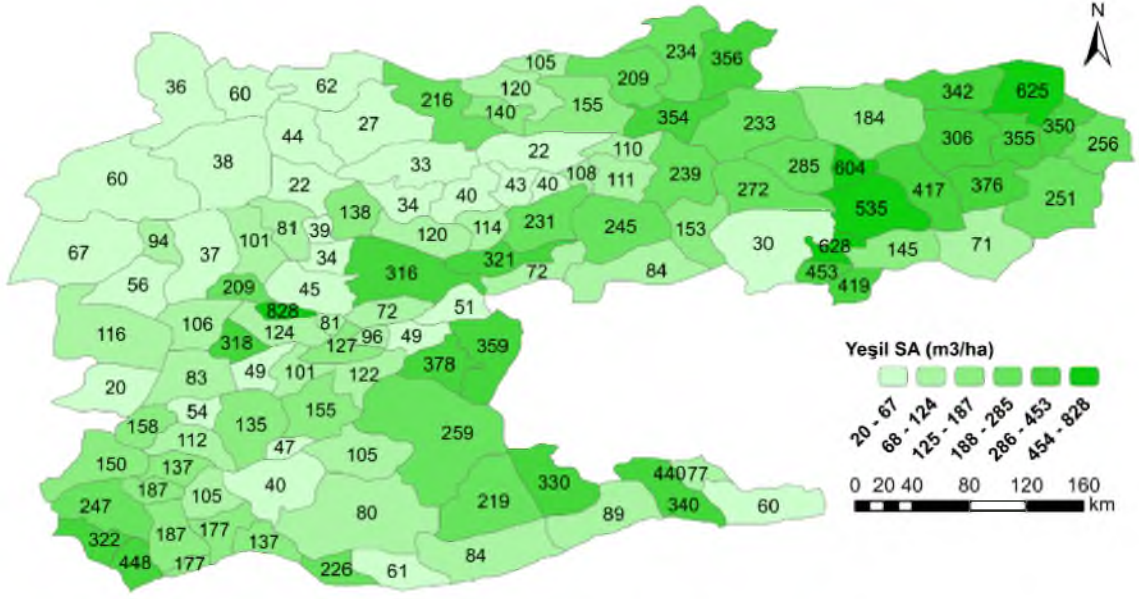
Şekil 4.20 incelendiğinde havzanın hayvansal üretiminin en yüksek oranına sahip yeşil su ayak izinin ilçe bazında en fazla 115 milyon m³ ile Siverek ilçesi olduğu hesaplanmıştır. Mavi ve gri su ayak izi miktarları (Tablo 4.4) ise en yüksek Siverek ve Bulanık ilçelerinde olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.18. Hayvansal üretimin toplam su ayak izi miktarları



Şekil 4.19. Hayvansal üretimin mavi su ayak izi miktarları



Şekil 4.20. Hayvansal üretimin yeşil su ayak izi miktarları



Şekil 4.21. Hayvansal üretimin gri su ayak izi miktarları

Tablo 4.4. Fırat havzasındaki hayvansal üretimin su ayak izi miktarları

Fırat Havzasında Yer Alan İller	Fırat Havzasında Yer Alan İlçeler	İlçe Alanları (ha)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m³)	Gri Su Ayak İzi (milyon m³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m³)
Adıyaman	Besni	89500	0.30	10.04	0.17	10.50
Adıyaman	Gölbaşı	68200	0.32	10.77	0.23	11.32
Adıyaman	Gerger	84000	0.31	10.29	0.24	10.84
Adıyaman	Kahta	132300	0.61	20.49	0.46	21.57
Adıyaman	Merkez	160100	0.65	21.56	0.46	22.66
Adıyaman	Samsat	30400	0.05	1.43	0.04	1.51
Adıyaman	Sincik	66800	0.20	6.74	0.16	7.10
Adıyaman	Tut	50000	0.08	2.72	0.06	2.86
Adıyaman	Çelikhan	64300	0.09	3.16	0.07	3.32
Ağrı	Patnos	112500	1.27	42.30	0.75	44.32
Ağrı	Taşıçay	73300	0.76	25.64	0.51	26.92
Ağrı	Merkez	133000	2.47	83.10	1.92	87.50
Ağrı	Diyaadin	108600	0.81	27.79	0.34	28.94
Ağrı	Eleşkirt	132400	1.36	45.26	1.07	47.70
Ağrı	Tutak	153400	1.45	46.90	1.15	49.49
Ağrı	Hamur	83400	0.89	29.60	0.66	31.15
Bingöl	Kığı	25300	0.09	2.73	0.06	2.88
Bingöl	Yedisu	56300	0.19	6.20	0.14	6.52
Bingöl	Yayladere	30300	0.04	1.21	0.03	1.28
Bingöl	Merkez	185100	1.39	45.30	1.11	47.80
Bingöl	Karlıova	146300	1.04	35.01	0.54	36.59
Bingöl	Genç	169700	0.43	14.25	0.33	15.01
Bingöl	Adaklı	89400	0.30	9.93	0.19	10.42
Bingöl	Solhan	112700	0.51	17.19	0.30	18.00
Bitlis	Adilcevaz	173800	0.37	12.38	0.16	12.90
Bitlis	Ahlat	108300	0.47	15.74	0.24	16.45
Bitlis	Güroymak	52800	0.66	22.14	0.42	23.22
Diyarbakır	Ergani	160500	1.74	57.58	1.22	60.54
Diyarbakır	Çermik	94600	1.05	35.76	0.51	37.32
Diyarbakır	Çüngüş	60800	0.09	2.96	0.07	3.12
Elazığ	Baskil	129800	0.17	5.80	0.13	6.11
Elazığ	Karakoçan	129500	0.90	29.97	0.68	31.55
Elazığ	Keban	50800	0.05	1.70	0.03	1.78
Elazığ	Kovancılar	87800	0.84	28.14	0.53	29.51
Elazığ	Maden	70000	0.11	3.60	0.08	3.78
Elazığ	Merkez	222800	2.09	70.38	1.39	73.86
Elazığ	Palu	83700	0.18	6.05	0.13	6.36
Elazığ	Sivrice	69800	0.15	5.05	0.09	5.28
Elazığ	Ağın	28200	0.03	1.11	0.02	1.16
Erzincan	Kemah	213600	0.17	5.84	0.07	6.08

Tablo 4.4 'ün devamı

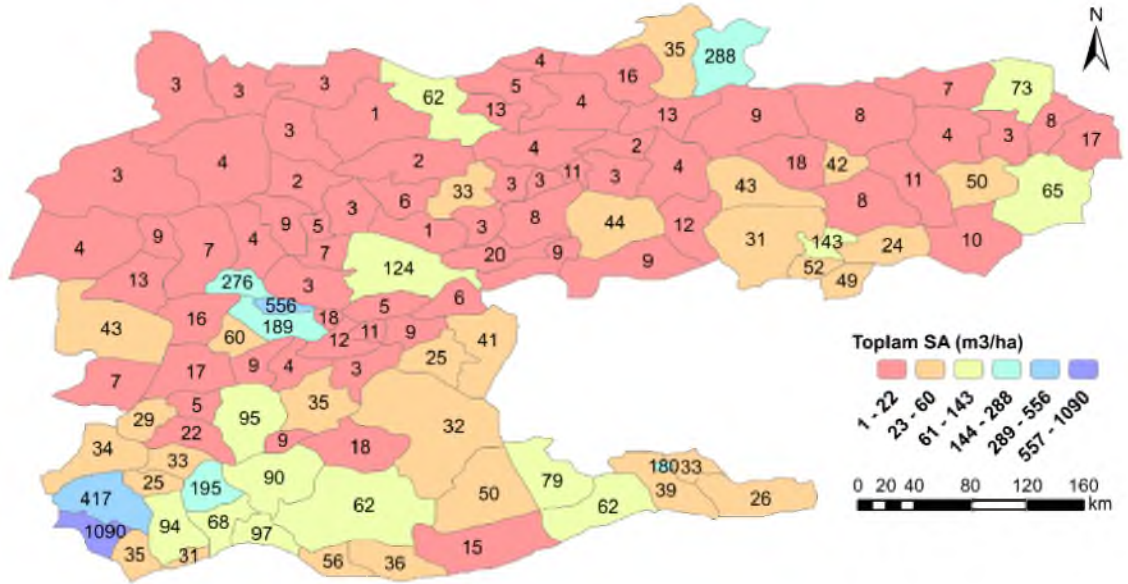
Fırat Havzasında Yer Alan İller	Fırat Havzasında Yer Alan İlçeler	İlçe Alanları (ha)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m ³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m ³)	Gri Su Ayak İzi (milyon m ³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m ³)
Erzincan	Refahiye	157900	0.29	9.72	0.24	10.25
Erzincan	Otlukbeli	45000	0.14	4.72	0.12	4.97
Erzincan	Kemaliye	107000	0.07	2.31	0.02	2.40
Erzincan	Üzümlü	59500	0.25	8.36	0.16	8.76
Erzincan	Çayırlı	105300	0.38	12.63	0.28	13.29
Erzincan	İliç	130900	0.17	5.75	0.05	5.97
Erzincan	Merkez	173000	1.11	37.36	0.79	39.26
Erzurum	Çat	105100	1.11	37.24	0.83	39.19
Erzurum	Aşkale	141300	0.88	29.48	0.72	31.08
Erzurum	Hınıs	129400	1.10	36.86	0.83	38.79
Erzurum	İlica	162800	1.14	38.10	0.94	40.18
Erzurum	Karaçoban	48300	0.88	29.20	0.67	30.75
Erzurum	Karayazı	258400	1.42	47.53	1.09	50.04
Erzurum	Merkez	142000	1.51	50.49	1.24	53.24
Erzurum	Tekman	222400	1.54	51.76	1.09	54.40
Gaziantep	Karkamış	20200	0.12	3.57	0.10	3.78
Gaziantep	Araban	61300	0.25	8.40	0.14	8.79
Gaziantep	Şehitkamil	147000	1.08	36.35	0.71	38.14
Gaziantep	Nizip	115800	0.67	21.70	0.55	22.91
Gaziantep	Oğuzeli	63900	0.86	28.62	0.67	30.15
Gaziantep	Yavuzeli	49700	0.28	9.29	0.17	9.74
Gaziantep	Şahinbey	67700	0.65	21.81	0.44	22.90
K.maraş	Elbistan	261500	0.91	30.28	0.67	31.86
K.maraş	Nurhak	136800	0.08	2.80	0.04	2.93
K.maraş	Pazarcık	138800	0.61	20.78	0.29	21.68
Malatya	Doğanyol	26100	0.07	2.49	0.06	2.63
Malatya	Yeşilyurt	55900	0.53	17.76	0.40	18.69
Malatya	Yazıhan	52400	0.32	10.96	0.24	11.52
Malatya	Pötürge	66100	0.25	8.42	0.20	8.88
Malatya	Merkez	92100	0.34	11.44	0.28	12.07
Malatya	Kuluncak	54100	0.15	5.11	0.10	5.37
Malatya	Hekimhan	187100	0.21	6.94	0.15	7.30
Malatya	Doğanşehir	137200	0.34	11.43	0.24	12.01
Malatya	Darende	128900	0.21	7.18	0.13	7.52
Malatya	Battalgazi	27700	0.69	22.95	0.57	24.20
Malatya	Arguvan	106900	0.32	10.77	0.20	11.29
Malatya	Arapkir	87900	0.21	7.12	0.11	7.44
Malatya	Akçadağ	111800	0.35	11.89	0.27	12.51
Malatya	Kale	19200	0.05	1.56	0.04	1.65

Tablo 4.4 'ün devamı

Fırat Havzasında Yer Alan İller	Fırat Havzasında Yer Alan İlçeler	İlçe Alanları (ha)	Mavi Su Ayak İzi (milyon m ³)	Yeşil Su Ayak İzi (milyon m ³)	Gri Su Ayak İzi (milyon m ³)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m ³)
Mardin	Ömerli	43700	0.10	3.35	0.05	3.51
Mardin	Yeşilli	6200	0.08	2.73	0.03	2.84
Mardin	Nusaybin	152900	0.28	9.21	0.13	9.63
Mardin	Merkez	124900	0.11	3.72	0.06	3.90
Mardin	Derik	149000	1.46	49.22	0.82	51.50
Mardin	Kızıltepe	164200	0.50	14.66	0.35	15.50
Muş	Bulanık	171700	2.83	91.82	2.16	96.80
Muş	Varto	145900	1.20	39.72	0.74	41.65
Muş	Merkez	268800	2.79	91.38	1.68	95.84
Muş	Hasköy	37600	0.51	17.04	0.38	17.93
Muş	Malazgirt	149400	2.06	62.29	1.72	66.07
Muş	Korkut	41400	0.78	26.02	0.48	27.28
Şanlıurfa	Halfeti	80300	0.26	8.39	0.18	8.83
Şanlıurfa	Suruç	65100	0.27	8.95	0.18	9.40
Şanlıurfa	Siverek	443100	3.42	114.98	1.80	120.21
Şanlıurfa	Merkez	380900	0.96	30.46	0.62	32.05
Şanlıurfa	Harran	103100	0.20	6.31	0.12	6.64
Şanlıurfa	Viranşehir	223600	1.46	48.88	0.68	51.02
Şanlıurfa	Ceylanpınar	219300	0.54	18.48	0.27	19.30
Şanlıurfa	Bozova	177600	0.21	7.04	0.17	7.43
Şanlıurfa	Birecik	76200	0.41	13.48	0.30	14.19
Şanlıurfa	Akçakale	58800	0.40	13.32	0.25	13.97
Şanlıurfa	Hilvan	146400	0.46	15.30	0.26	16.02
Sivas	Zara	251600	0.27	9.05	0.20	9.52
Sivas	Kangal	374600	0.67	22.44	0.45	23.55
Sivas	Gürün	273300	0.54	18.22	0.32	19.08
Sivas	İmranlı	121700	0.22	7.36	0.18	7.76
Sivas	Divriği	285400	0.32	10.75	0.22	11.28
Tunceli	Çemişgezek	88700	0.35	12.28	0.11	12.74
Tunceli	Hozat	80900	0.08	2.76	0.04	2.88
Tunceli	Mazgirt	60500	0.20	6.88	0.13	7.22
Tunceli	Merkez	92700	0.11	3.69	0.08	3.88
Tunceli	Nazımiye	55800	0.07	2.42	0.06	2.55
Tunceli	Ovacık	176000	0.17	5.76	0.11	6.04
Tunceli	Pülümür	144100	0.10	3.21	0.07	3.38
Tunceli	Pertek	107600	0.37	12.92	0.12	13.42
Van	Erciş	216300	1.60	54.36	0.89	56.86

4.2.3. Evsel ve endüstriyel su ayak izi

Çalışma kapsamında Fırat havzasında 2008-2019 yılları arasındaki toplam su ayak izi yaklaşık % 2 oranına sahip evsel ve endüstriyel su ayak izinin toplam miktarı 0.51 milyar m³'tür. Tablo 4.5 incelendiğinde havzanın ilçe bazında en yüksek evsel ve endüstriyel su ayak izi miktarı (52.6 milyon m³) ile Şehitkamil ilçesi olup en düşük evsel ve endüstriyel su ayak izi miktarı (0.08 milyon m³) ile Yayladere ilçesi olduğu saptanmıştır. Şehitkamil ilçesinin evsel ve endüstriyel su ayak izi miktarı toplam evsel ve endüstriyel su ayak izi miktarının yaklaşık % 10'unu karşıladığı analiz edilmiştir. Şehitkamil ilçesini Şahinbey, Erzurum merkez, Elazığ merkez, Şanlıurfa merkez ve Elazığ merkez ilçeleri takip etmiştir.



Şekil 4.22. Evsel ve endüstriyel su ayak izi miktarları

Tablo 4.5. Evsel ve endüstriyel su ayak izi miktarları

Fırat Havzasında Yer Alan İller	Fırat Havzasında Yer Alan İlçeler	İlçe Alanları (ha)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m³)
Adıyaman	Besni	89500	1.974
Adıyaman	Gölbaşı	68200	1.987
Adıyaman	Gerger	84000	0.213
Adıyaman	Kahta	132300	4.640
Adıyaman	Merkez	160100	15.172
Adıyaman	Samsat	30400	0.277
Adıyaman	Sincik	66800	0.284
Adıyaman	Tut	50000	0.250
Adıyaman	Çelikhan	64300	0.566
Ağrı	Patnos	112500	5.606
Ağrı	Taşlıçay	73300	0.569
Ağrı	Merkez	133000	9.769
Ağrı	Diyadin	108600	1.807
Ağrı	Eleşkirt	132400	0.941
Ağrı	Tutak	153400	0.629
Ağrı	Hamur	83400	0.283
Bingöl	Kiğı	25300	0.266
Bingöl	Yedisu	56300	0.113
Bingöl	Yayladere	30300	0.085
Bingöl	Merkez	185100	8.097
Bingöl	Karlıova	146300	0.600
Bingöl	Genç	169700	1.510
Bingöl	Adaklı	89400	0.263
Bingöl	Solhan	112700	1.346
Bitlis	Adilcevaz	173800	1.731
Bitlis	Ahlat	108300	2.561
Bitlis	Güroymak	52800	2.594
Diyarbakır	Ergani	160500	6.573
Diyarbakır	Çermik	94600	2.392
Diyarbakır	Çüngüş	60800	0.527
Elazığ	Baskil	129800	0.399
Elazığ	Karakoçan	129500	1.060
Elazığ	Keban	50800	0.369
Elazığ	Kovancılar	87800	1.772
Elazığ	Maden	70000	0.407
Elazığ	Merkez	222800	27.553
Elazığ	Palu	83700	0.726
Elazığ	Sivrice	69800	0.320
Elazığ	Ağın	28200	0.139
Erzincan	Kemah	213600	0.266
Erzincan	Tercan	163200	0.647

Tablo 4.5'in devamı

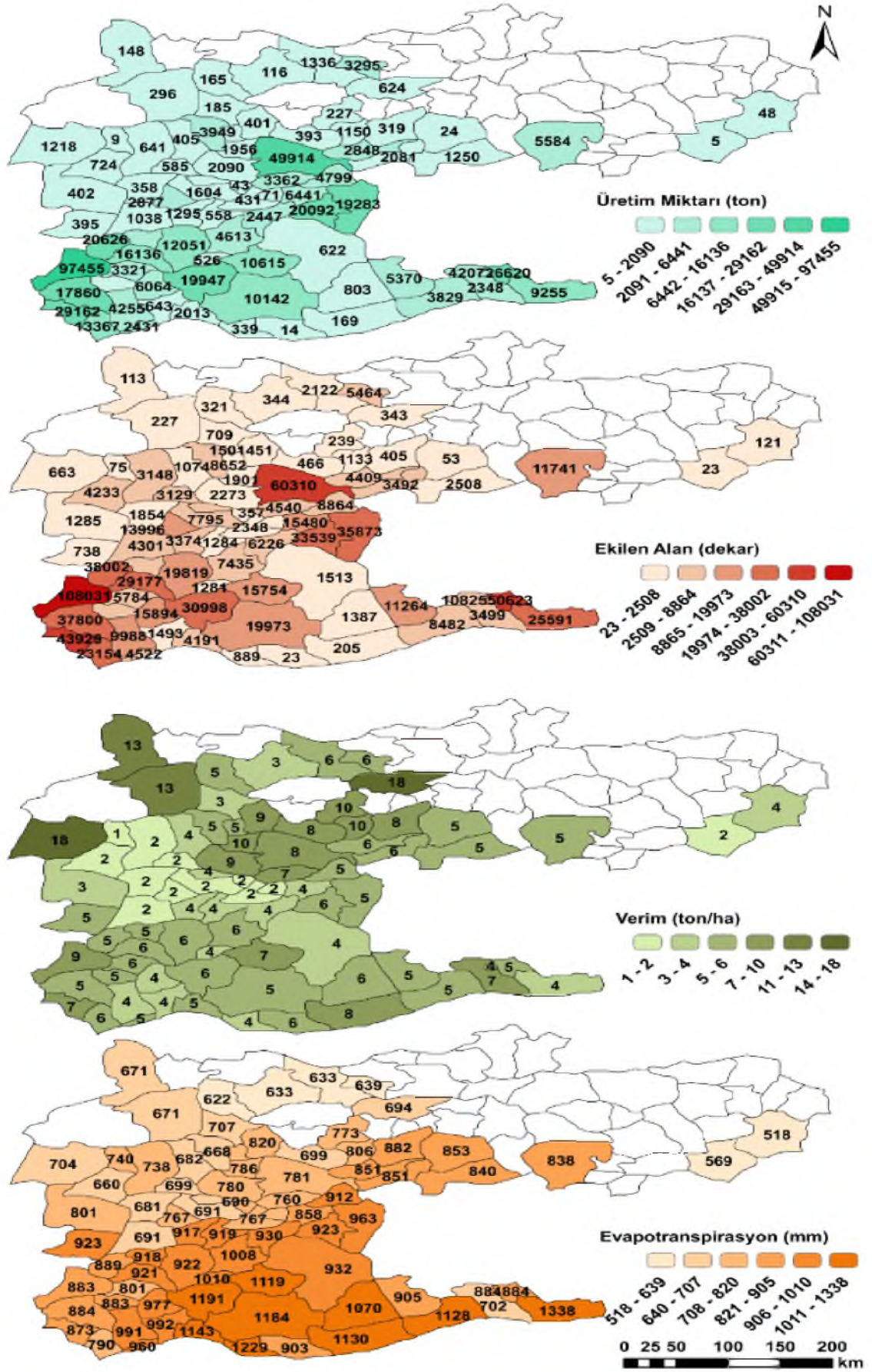
Fırat Havzasında Yer Alan İller	Fırat Havzasında Yer Alan İlçeler	İlçe Alanları (ha)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m³)
Erzincan	Refahiye	157900	0.439
Erzincan	Otlukbeli	45000	0.190
Erzincan	Kemaliye	107000	0.235
Erzincan	Üzümlü	59500	0.790
Erzincan	Çayırlı	105300	0.493
Erzincan	İliç	130900	0.340
Erzincan	Merkez	173000	10.803
Erzurum	Çat	105100	1.404
Erzurum	Aşkale	141300	2.192
Erzurum	Hınıs	129400	2.300
Erzurum	Ilıca	162800	5.775
Erzurum	Karaçoban	48300	2.023
Erzurum	Karayazı	258400	2.171
Erzurum	Merkez	142000	40.854
Erzurum	Tekman	222400	1.936
Gaziantep	Karkamış	20200	0.635
Gaziantep	Araban	61300	2.010
Gaziantep	Şehitkamil	147000	61.325
Gaziantep	Nizip	115800	10.915
Gaziantep	Oğuzeli	63900	2.208
Gaziantep	Yavuzeli	49700	1.241
Gaziantep	Şahinbey	67700	73.823
K.maraş	Elbistan	261500	11.169
K.maraş	Nurhak	136800	0.899
K.maraş	Pazarcık	138800	4.782
Malatya	Doğanyol	26100	0.280
Malatya	Yeşilyurt	55900	3.327
Malatya	Yazıhan	52400	14.470
Malatya	Pötürge	66100	0.807
Malatya	Merkez	92100	17.444
Malatya	Kuluncak	54100	0.477
Malatya	Hekimhan	187100	1.261
Malatya	Doğanşehir	137200	2.379
Malatya	Darende	128900	1.723
Malatya	Battalgazi	27700	15.398
Malatya	Arguvan	106900	0.472
Malatya	Arapkir	87900	0.771
Malatya	Akçadağ	111800	1.764
Malatya	Kale	19200	0.349
Mardin	Ömerli	43700	1.432
Mardin	Yeşilli	6200	1.113

Tablo 4.5' in devamı

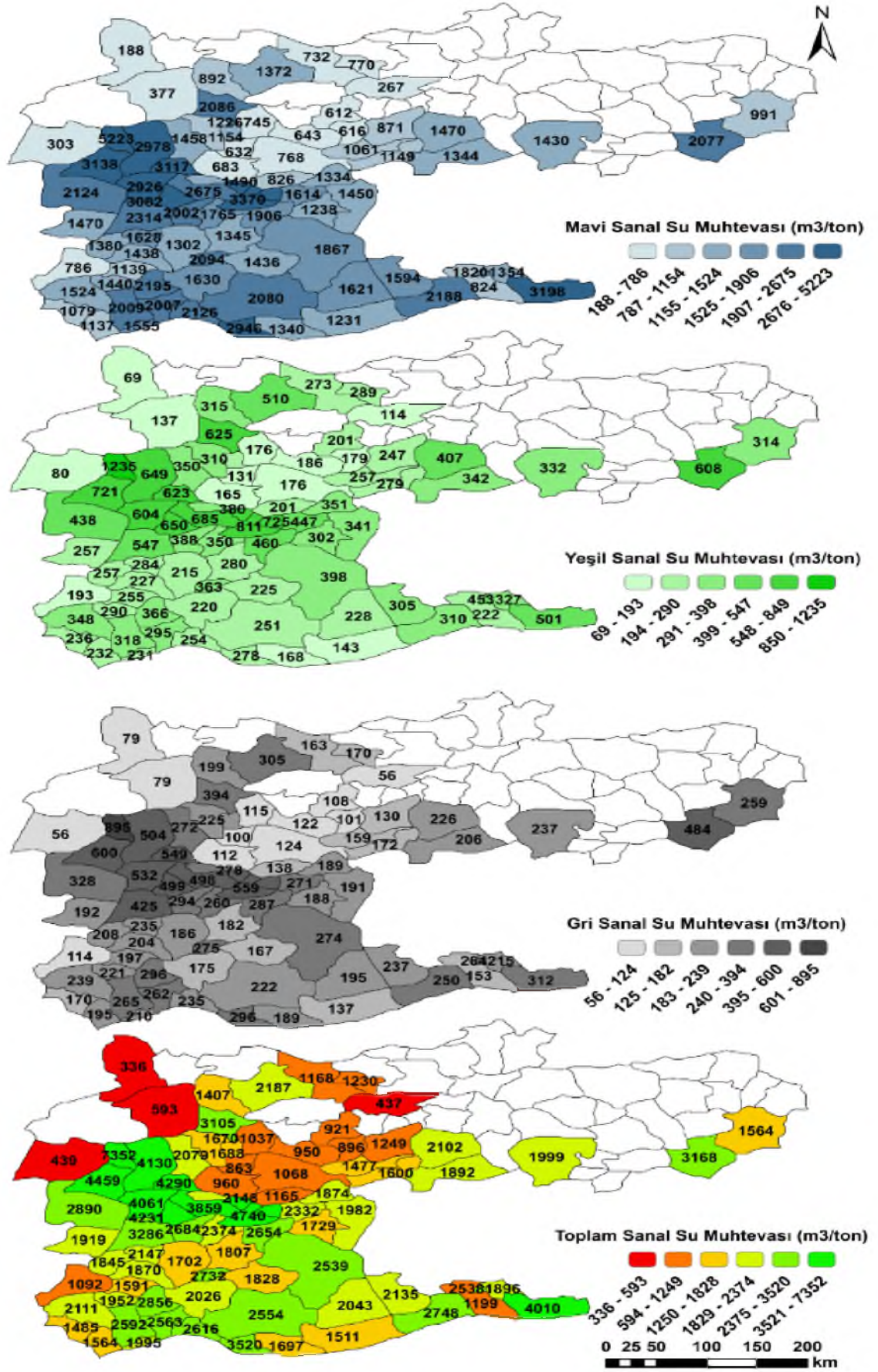
Fırat Havzasında Yer Alan İller	Fırat Havzasında Yer Alan İlçeler	İlçe Alanları (ha)	Toplam Su Ayak İzi (milyon m³)
Mardin	Nusaybin	152900	4.008
Mardin	Merkez	124900	3.861
Mardin	Derik	149000	11.759
Mardin	Kızıltepe	164200	10.208
Muş	Bulanık	171700	1.377
Muş	Varto	145900	6.277
Muş	Merkez	268800	10.354
Muş	Hasköy	37600	1.940
Muş	Malazgirt	149400	1.658
Muş	Korkut	41400	5.931
Şanlıurfa	Halfeti	80300	15.671
Şanlıurfa	Suruç	65100	6.288
Şanlıurfa	Siverek	443100	14.308
Şanlıurfa	Merkez	380900	23.581
Şanlıurfa	Harran	103100	3.688
Şanlıurfa	Viranşehir	223600	11.073
Şanlıurfa	Ceylanpınar	219300	3.232
Şanlıurfa	Bozova	177600	15.986
Şanlıurfa	Birecik	76200	5.181
Şanlıurfa	Akçakale	58800	3.280
Şanlıurfa	Hilvan	146400	2.564
Sivas	Zara	251600	0.675
Sivas	Kangal	374600	0.978
Sivas	Gürün	273300	1.018
Sivas	İmranlı	121700	0.315
Sivas	Divriği	285400	1.035
Tunceli	Çemişgezek	88700	0.291
Tunceli	Hozat	80900	0.500
Tunceli	Mazgirt	60500	0.164
Tunceli	Merkez	92700	3.079
Tunceli	Nazımiye	55800	0.159
Tunceli	Ovacık	176000	0.319
Tunceli	Pülümür	144100	0.635
Tunceli	Pertek	107600	0.148
Van	Erciş	216300	14.022

4.3. Fırat havzasındaki bazı tarımsal ürünlerin ilçe bazında değerlendirilmesi

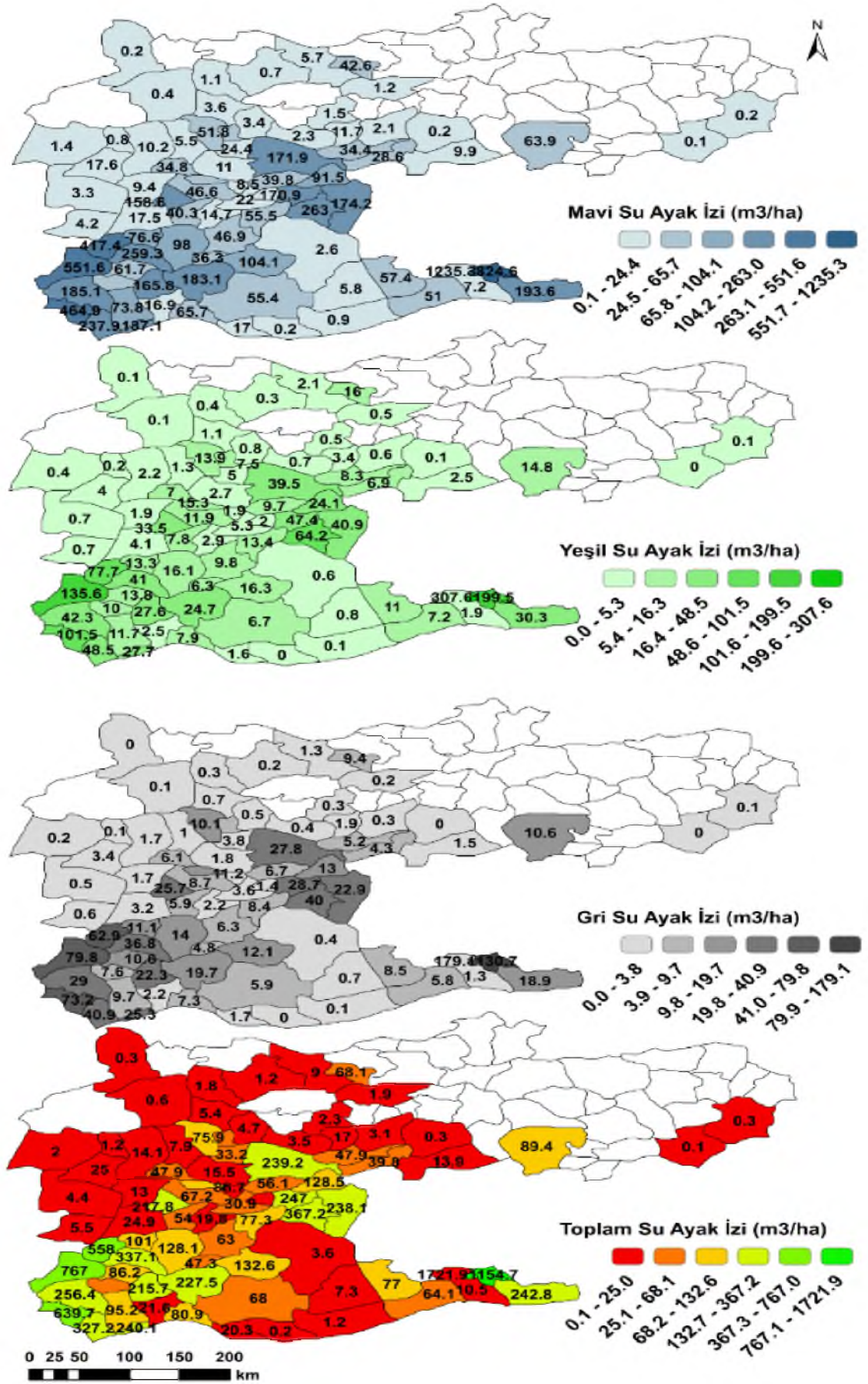
Fırat havzasında SA en yüksek 10 tarım ürünü sırasıyla buğday, pamuk, antepfıstığı, arpa, mısır dane, kayısı, üzüm, mercimek, yonca ve zeytindir. 7.86 milyar m³ SA miktarına sahip buğday ürününün yaklaşık % 37 mavi, % 50 yeşil ve % 13 gri SA bileşenlerinden oluşmaktadır. Buğday ürününün SSM değeri 576,767 m³ / ton olduğu analiz edilmiştir. Buğday ürününün ilçe bazlı değerlendirildiğinde üretim miktarının ve su ayak izi değerlerinin en fazla olduğu ilçe Kızıltepe'dir. Sanal su muhtevasının en fazla olduğu ilçe Kemah ilçesi olduğu saptanmıştır. SA miktarı en yüksek ikinci ürün olan pamuk SA miktarı 7.49 milyar m³'tür. Pamuk ürününün yaklaşık % 82 mavi, % 6 yeşil ve % 12 gri SA bileşenlerinden oluştuğu saptanmıştır. Pamuk ürününün SSM değeri 121,501 m³ / ton olduğu hesaplanmıştır. Pamuk ürününün ilçe bazlı değerlendirildiğinde üretim miktarının, su ayak izi ve sanal su muhtevası değerlerinin en fazla olduğu ilçe Akçakale'dir. 2.99 milyar m³ SA miktarı ile en yüksek üçüncü ürün antepfıstığıdır. Antepfıstığı ürününün yaklaşık % 82 mavi, % 11 yeşil ve % 7 gri SA bileşenlerinden oluştuğu hesaplanmıştır. Antepfıstığı ürününün SSM değeri 918,905 m³ / ton olduğu saptanmıştır. Antepfıstığı ürününün ilçe bazlı değerlendirildiğinde üretim miktarının ve su ayak izi değerlerinin en fazla olduğu ilçe Nizip'tir. Sanal su muhtevasının en fazla olduğu ilçe Akçakale ilçesi olduğu analiz edilmiştir.



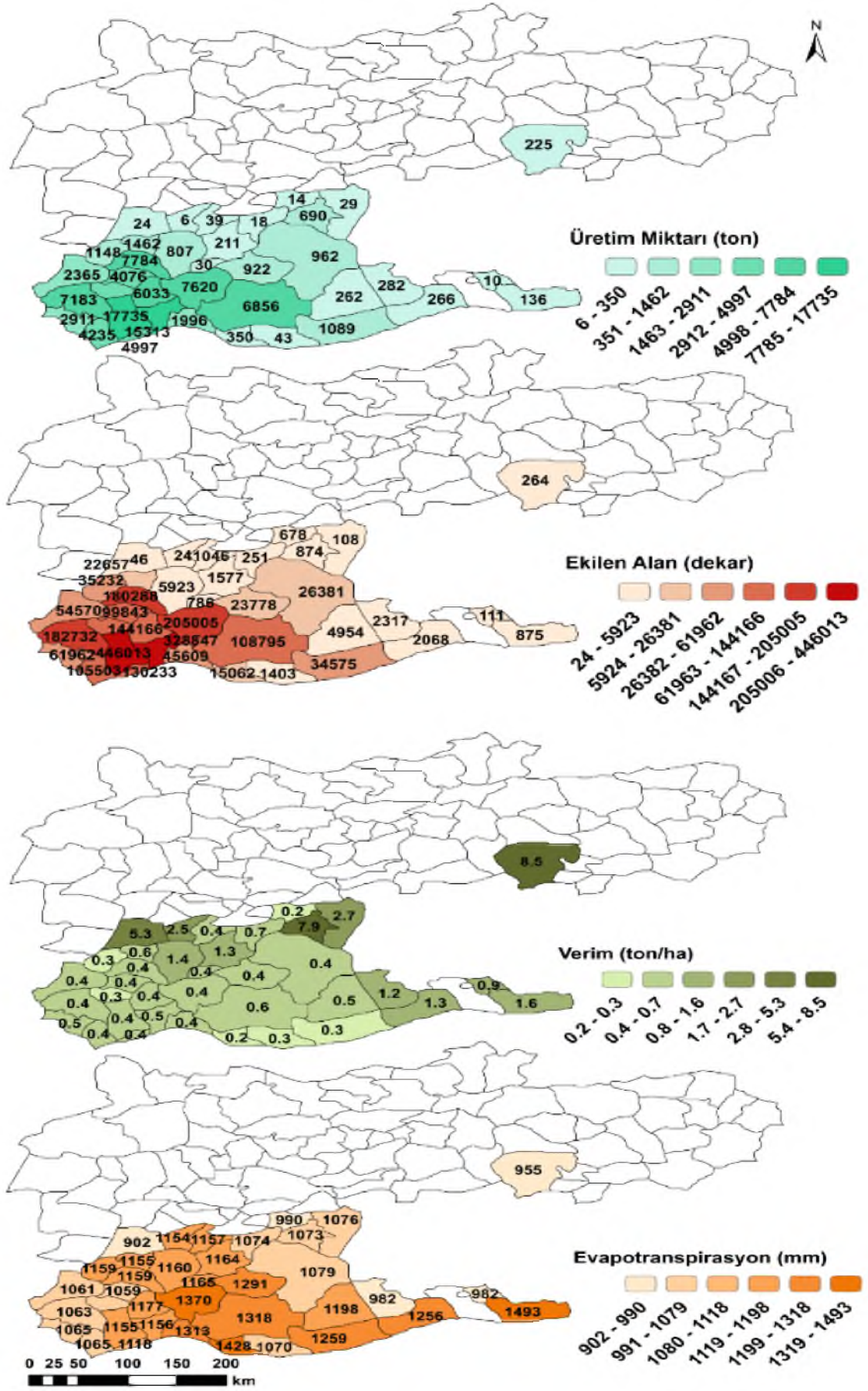
Şekil 4.23. Üzüm ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları



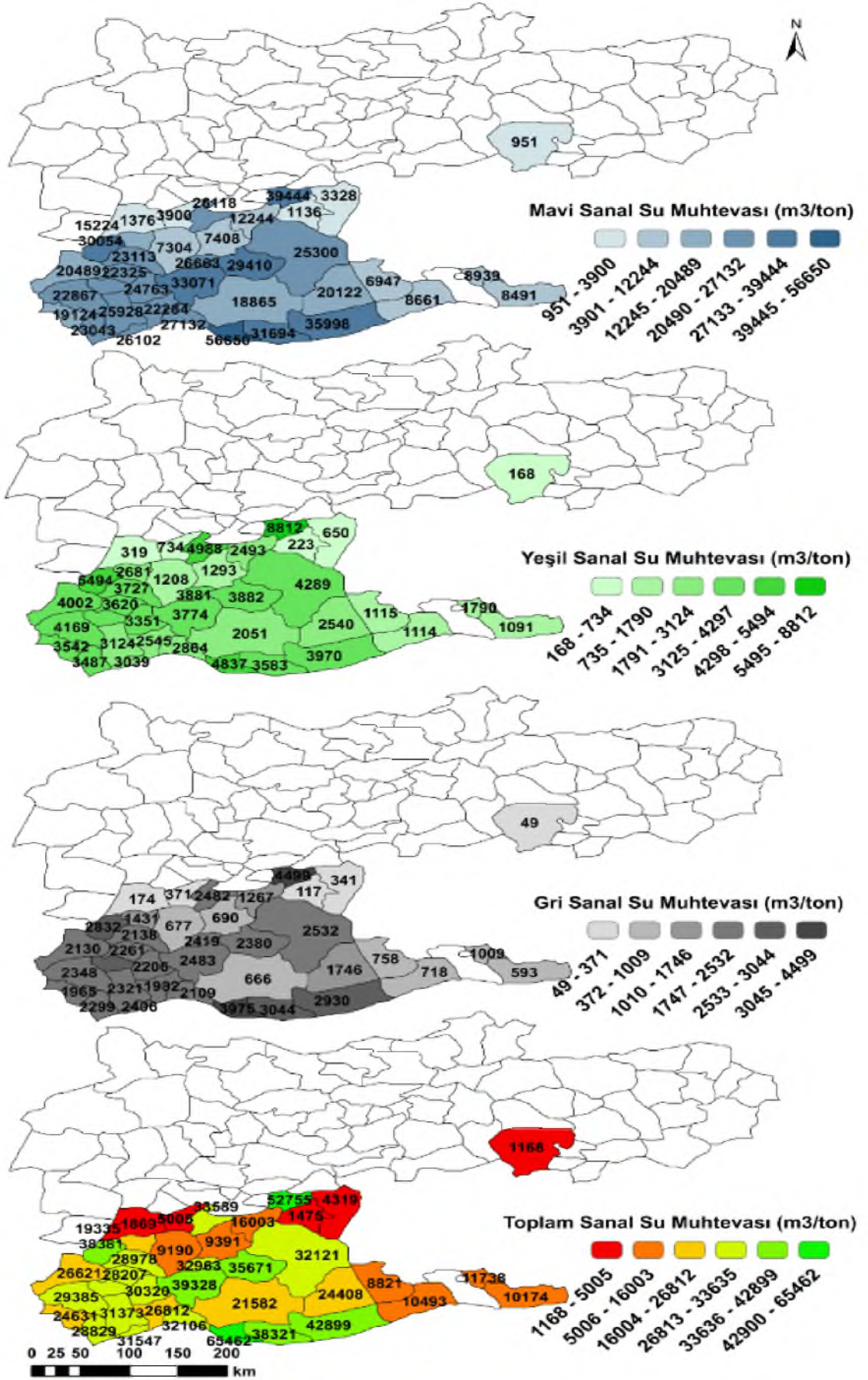
Şekil 4.24. Üzüm ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları



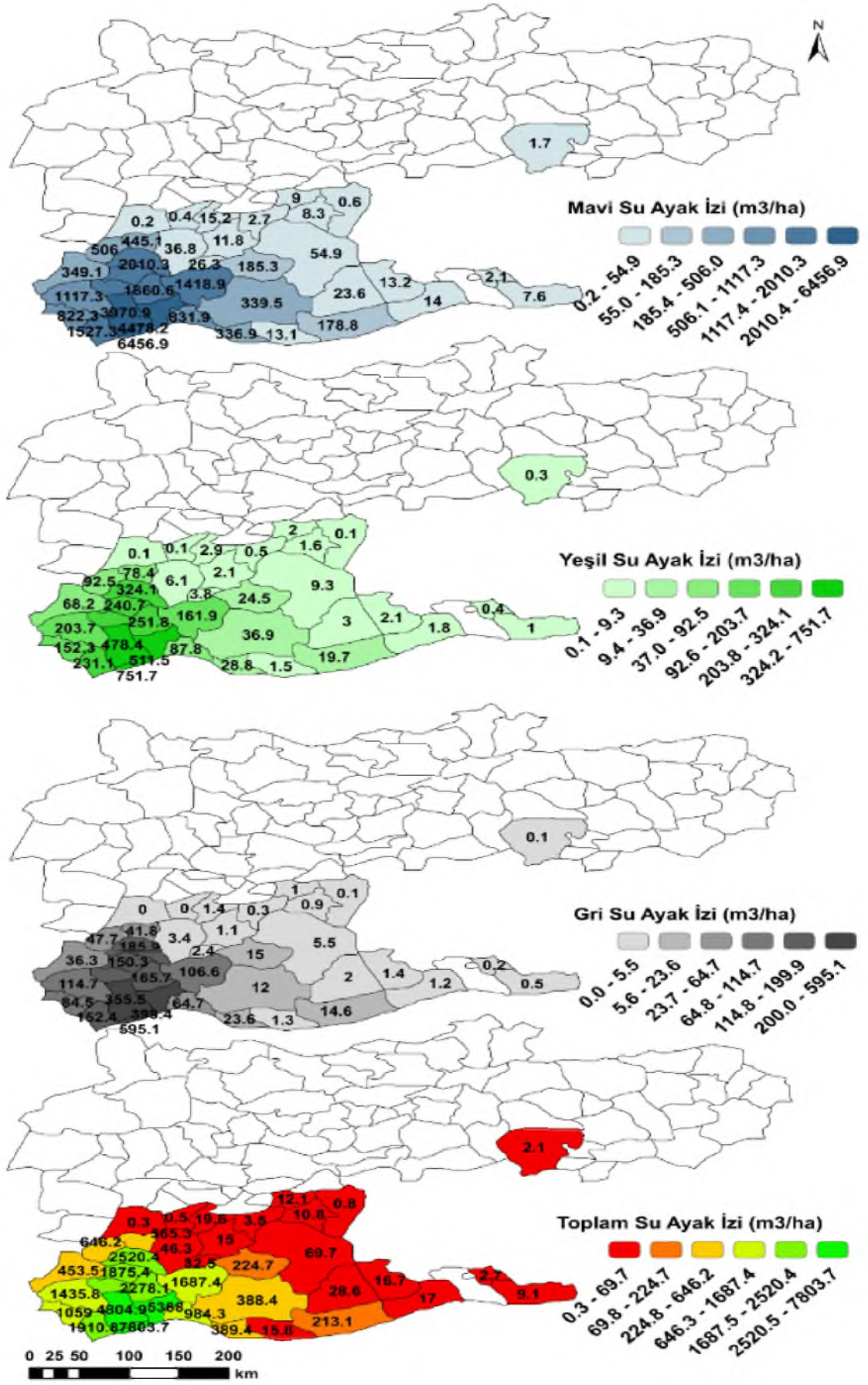
Şekil 4.25. Üzüm ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları



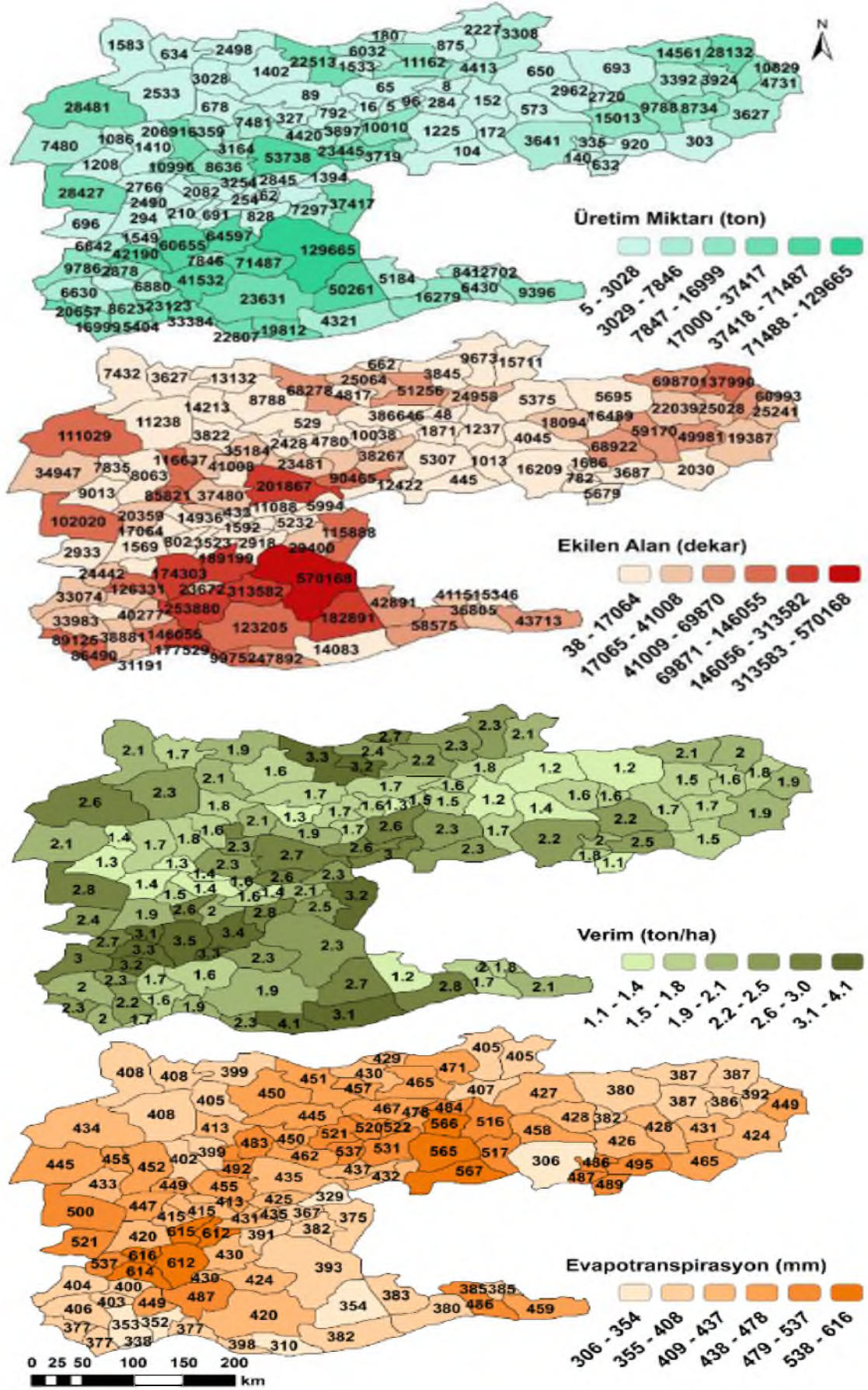
Şekil 4.26. Antepfıstığı ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları



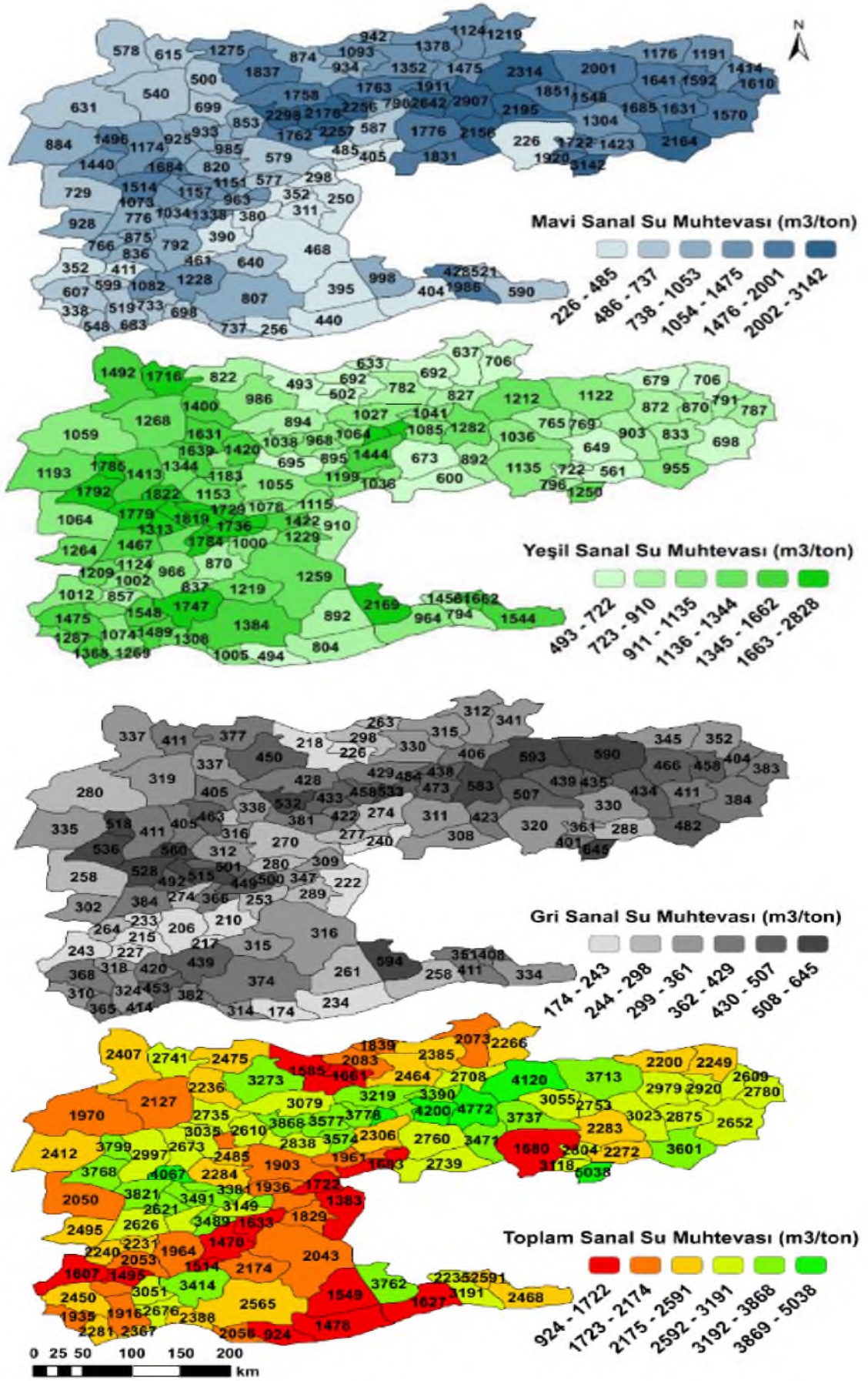
Şekil 4.27. Antepfıstığı ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları



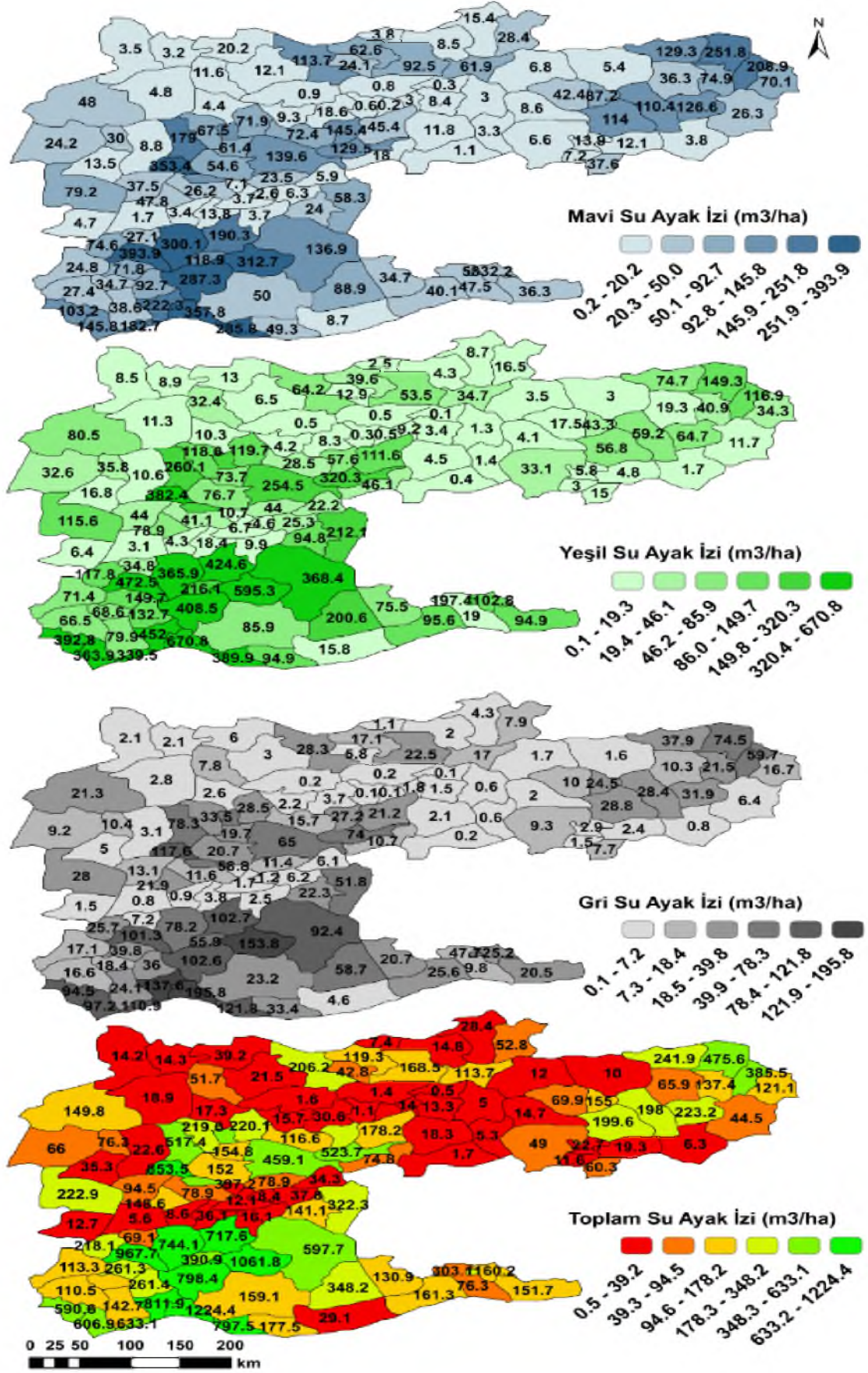
Şekil 4.28. Antepfıstığı ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları



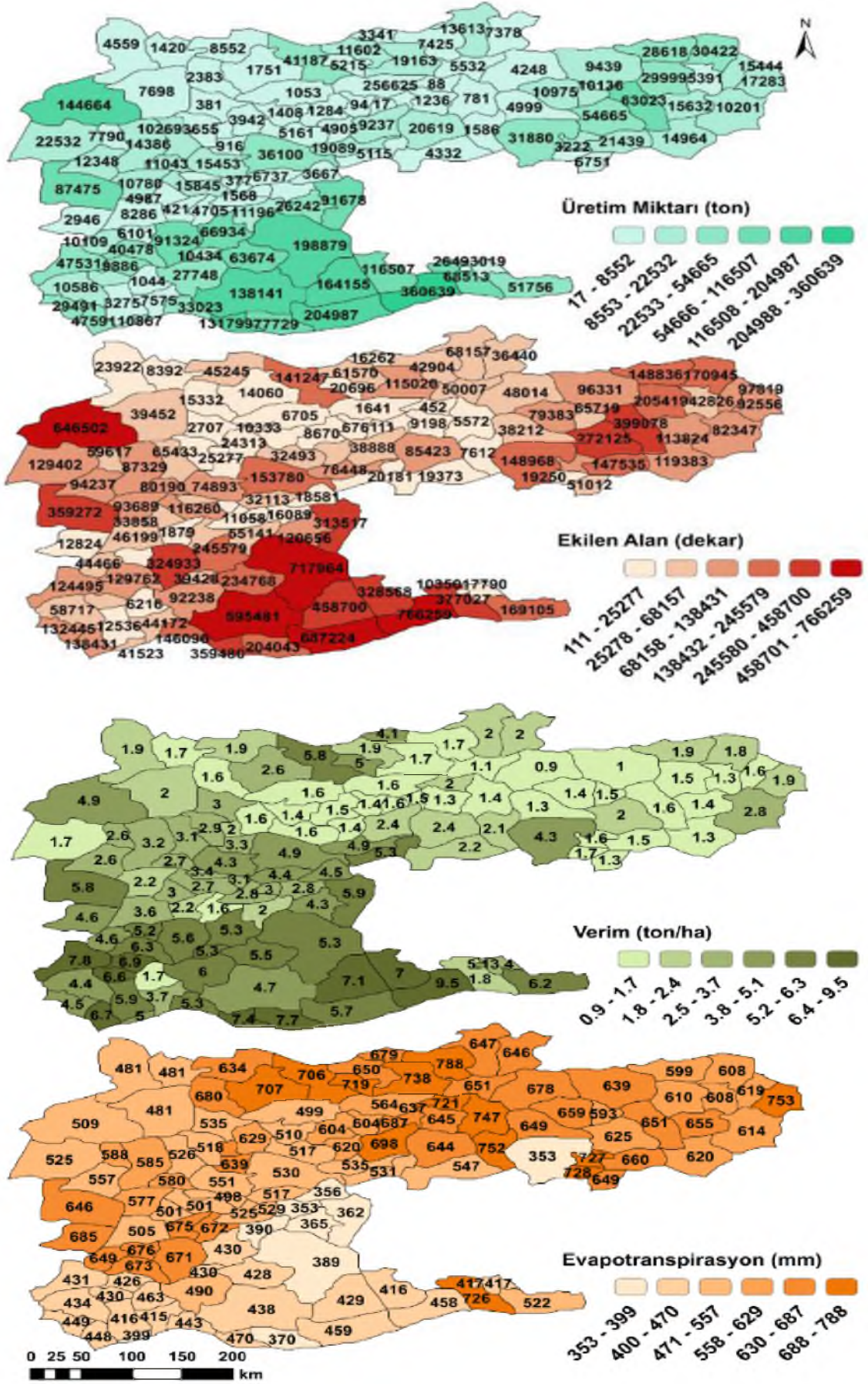
Şekil 4.29. Arpa ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları



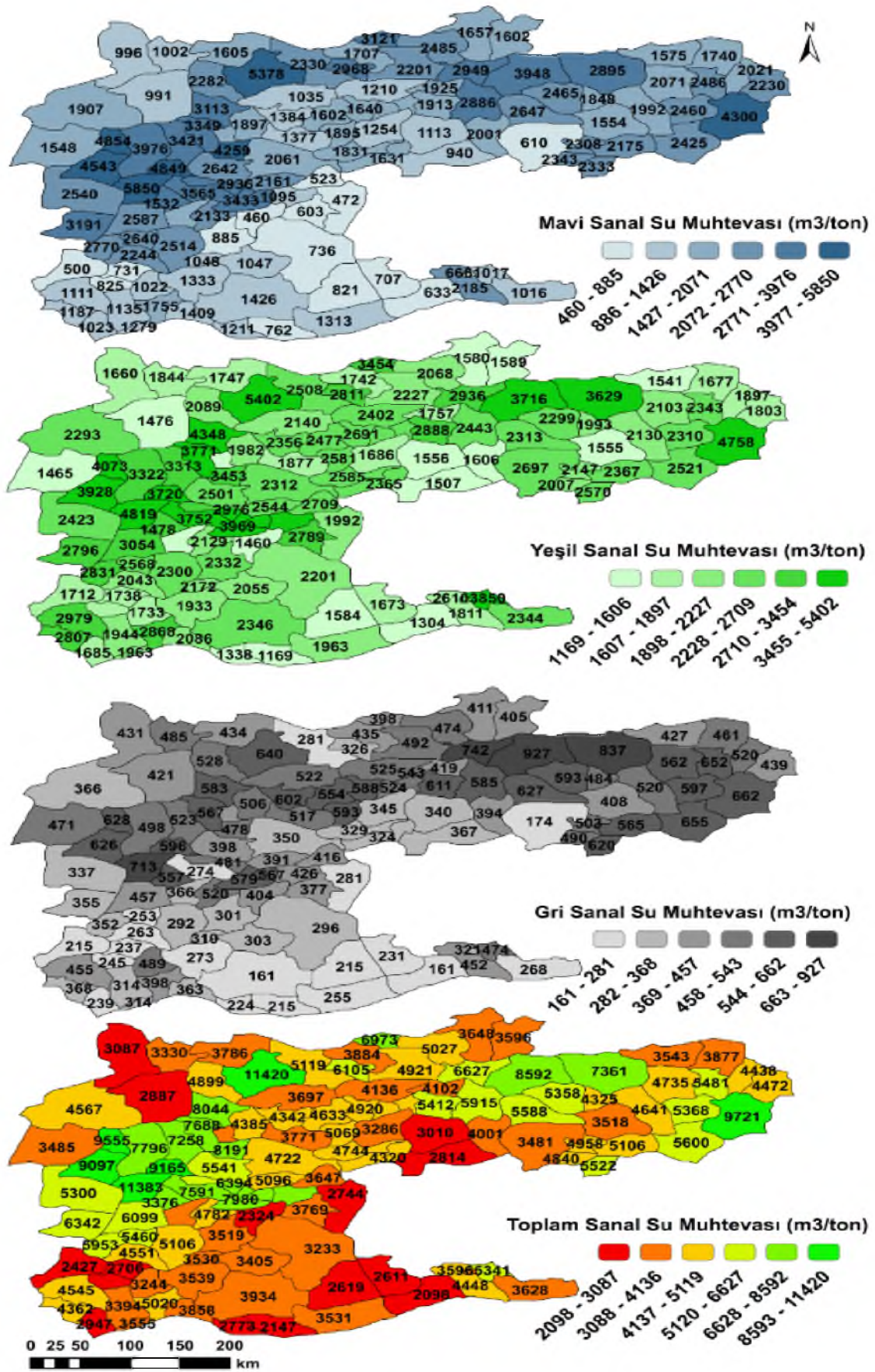
Şekil 4.30. Arpa ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları



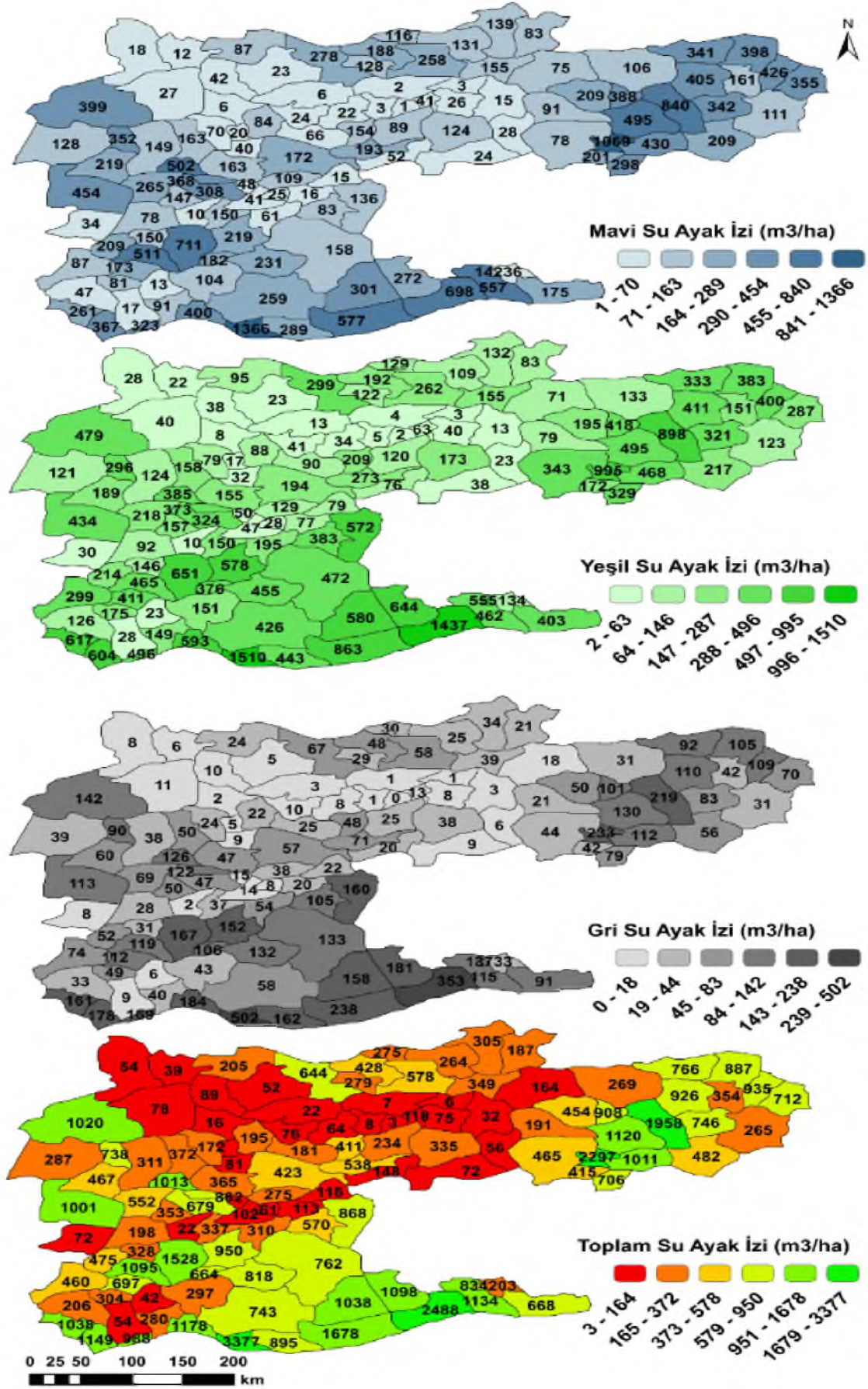
Şekil 4.31. Arpa ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları



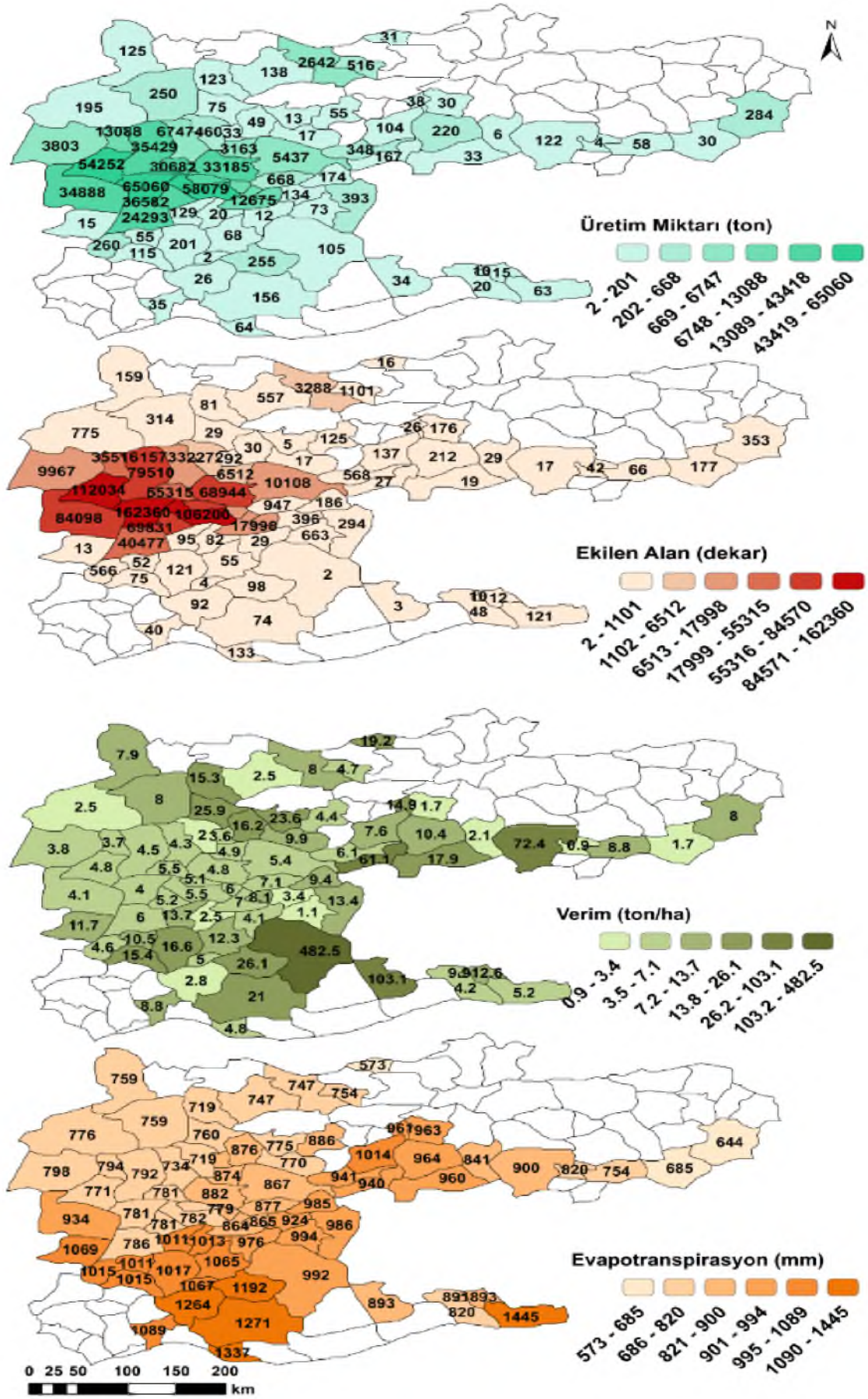
Şekil 4.32. Buğday ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları



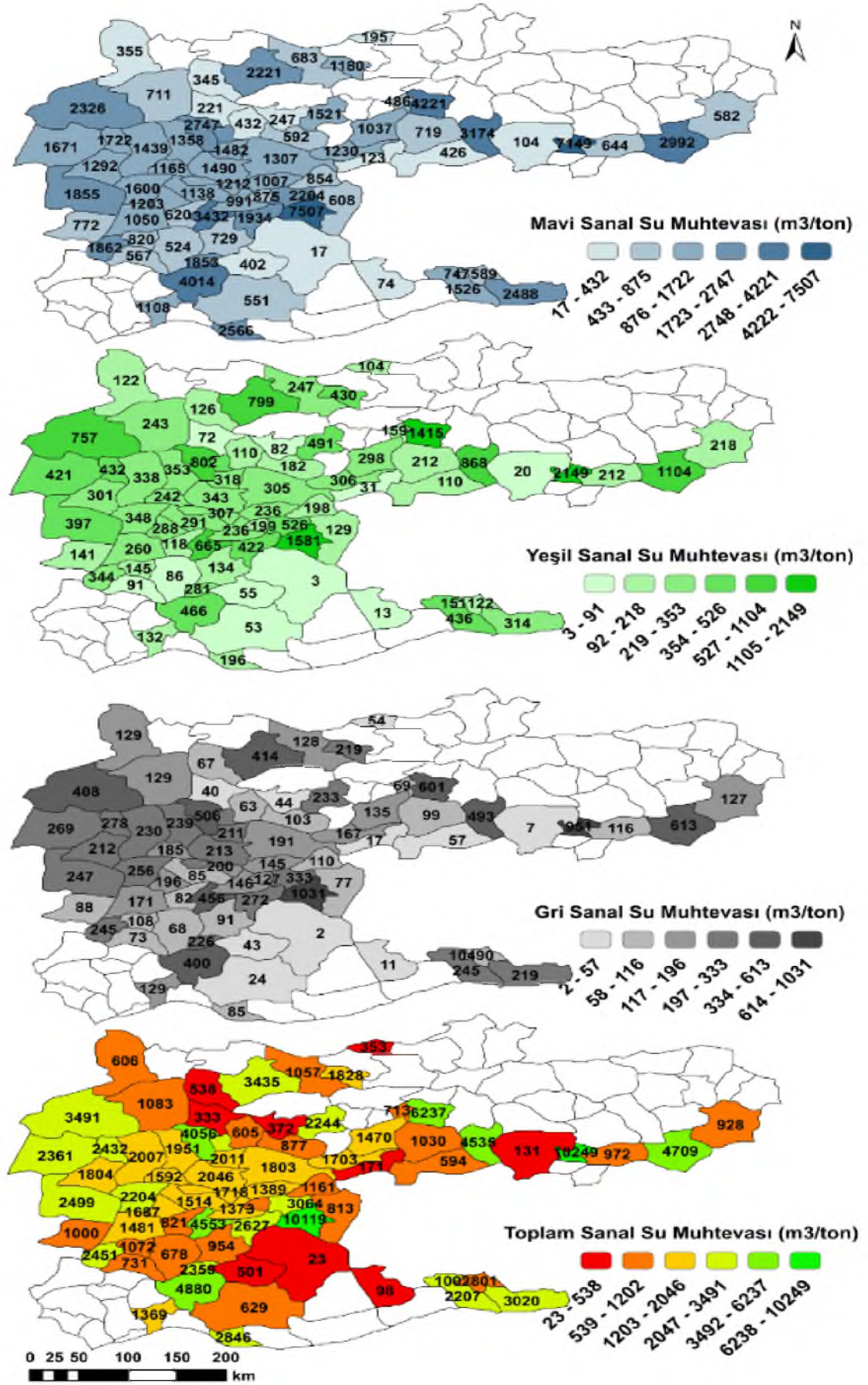
Şekil 4.33. Arpa ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları



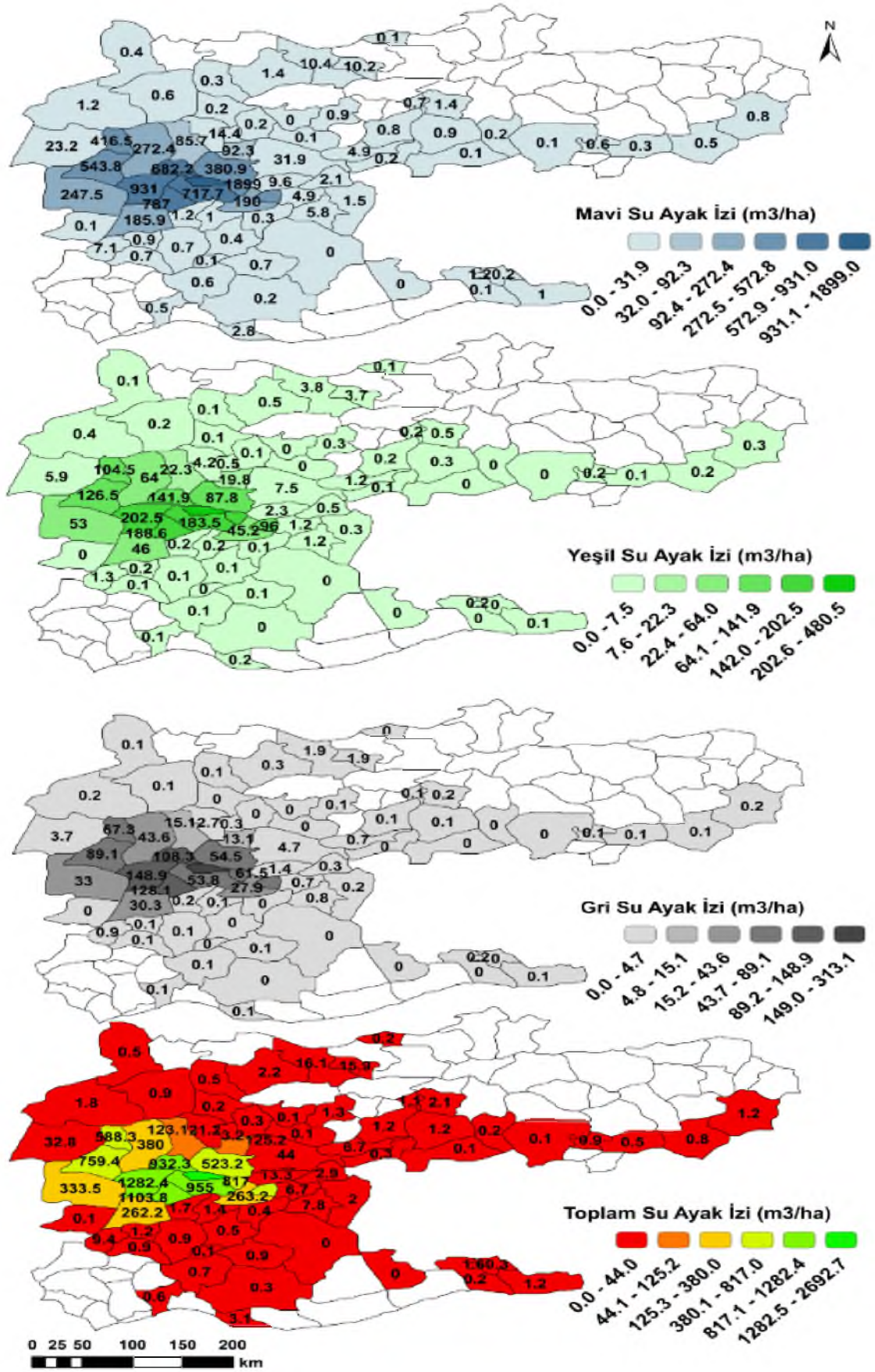
Şekil 4.34. Buğday ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları



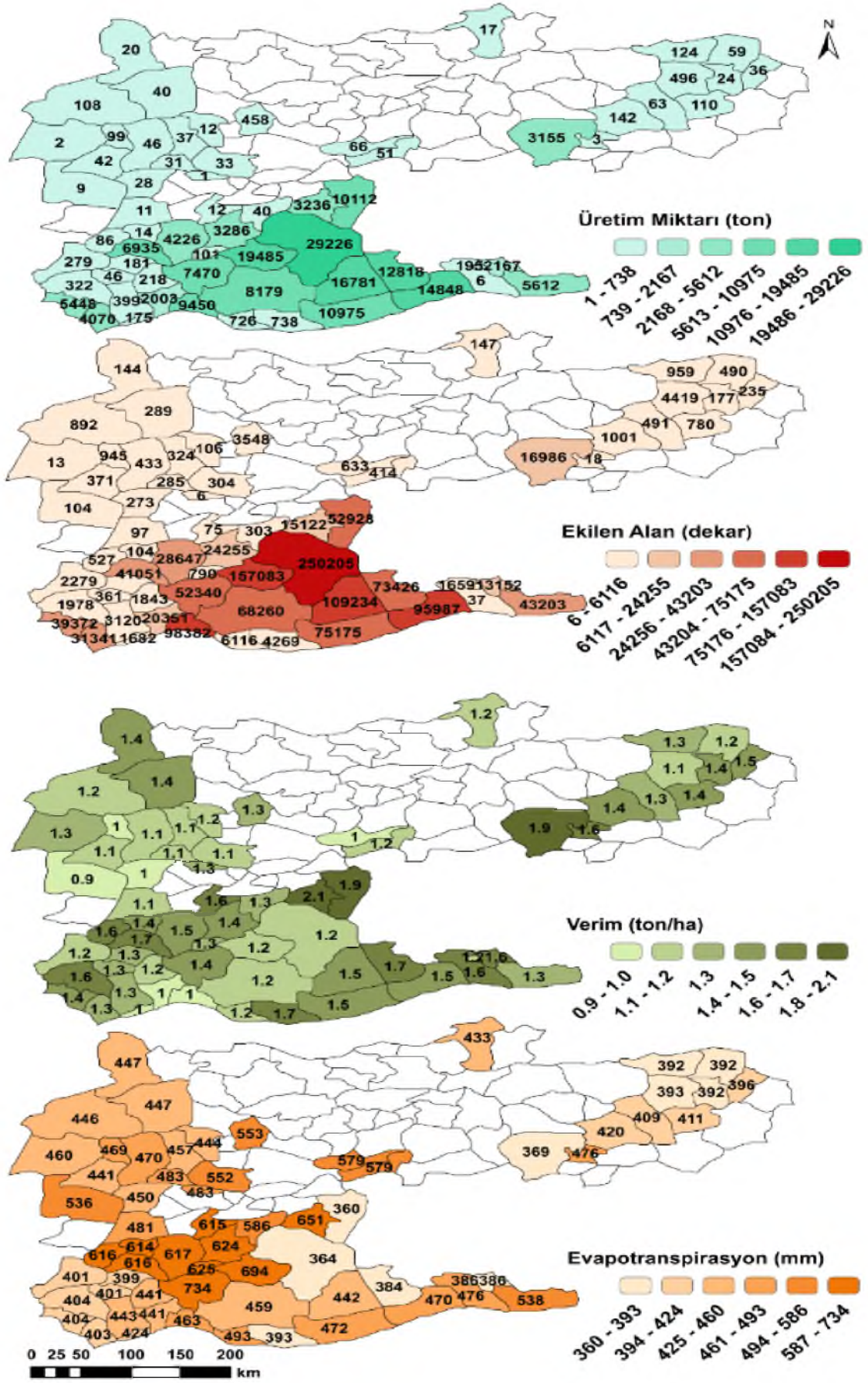
Şekil 4.35. Kayısı ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları



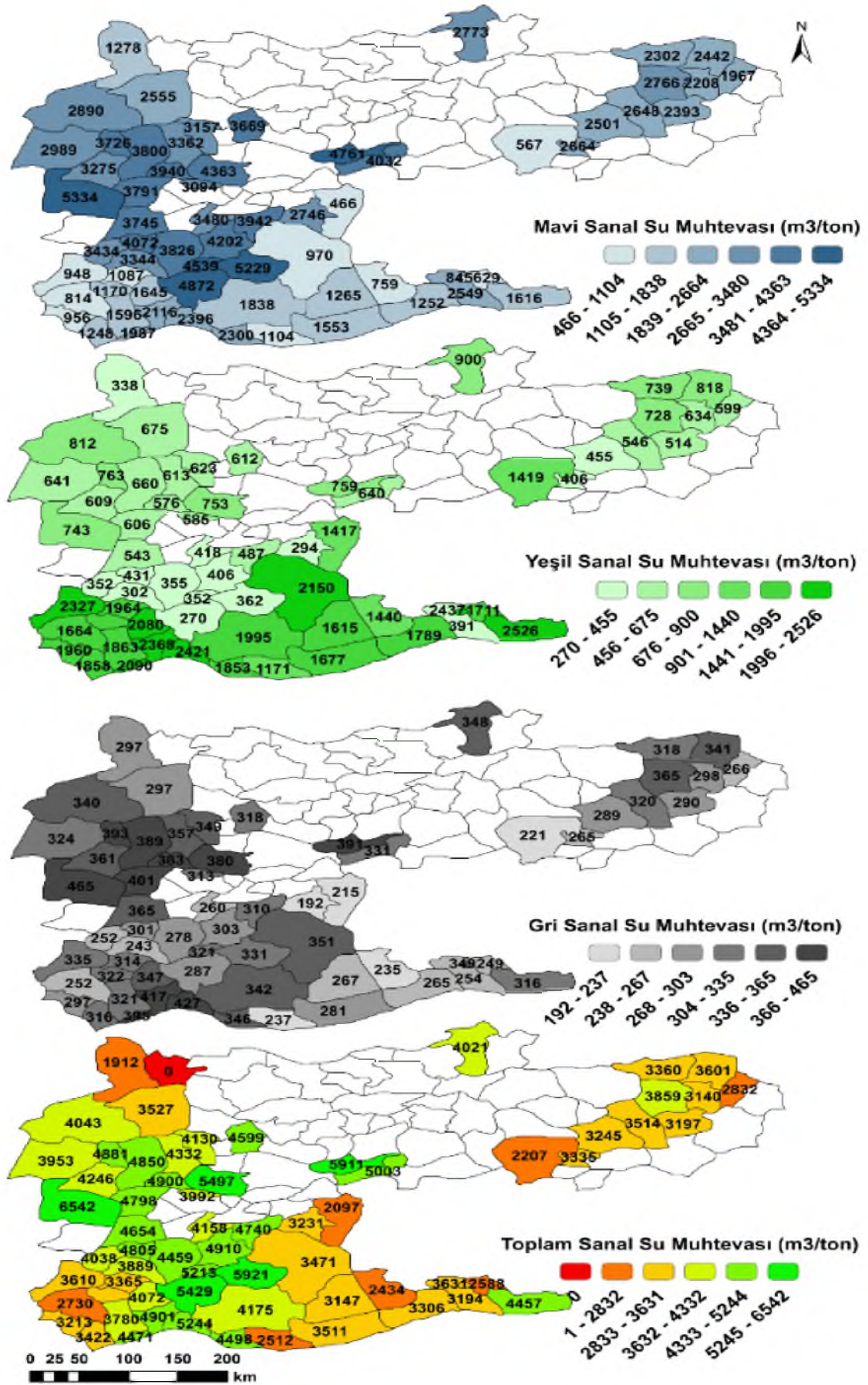
Şekil 4.36. Kayısı ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları



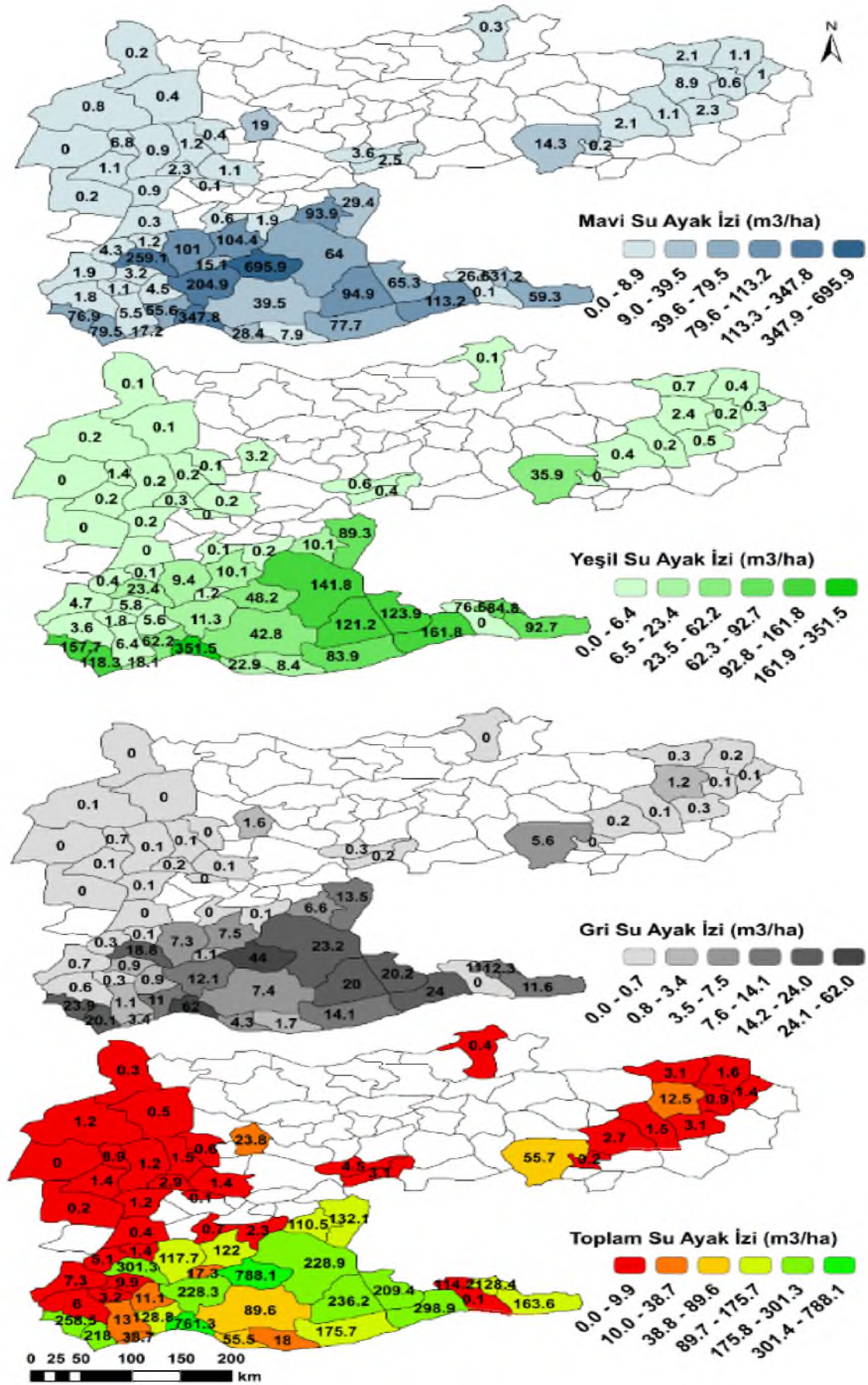
Şekil 4.37. Kayısı ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları



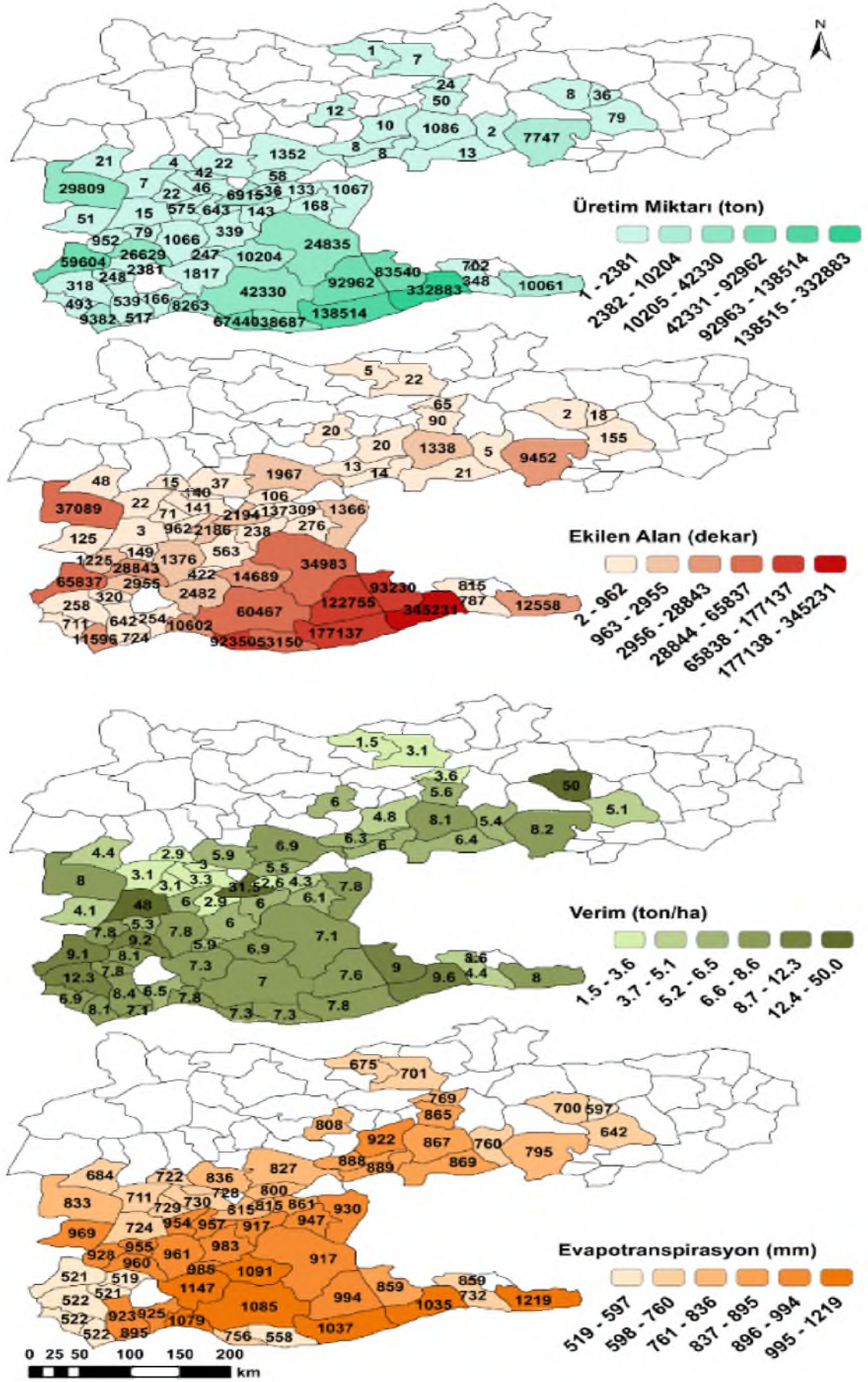
Şekil 4.38. Mercimek ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları



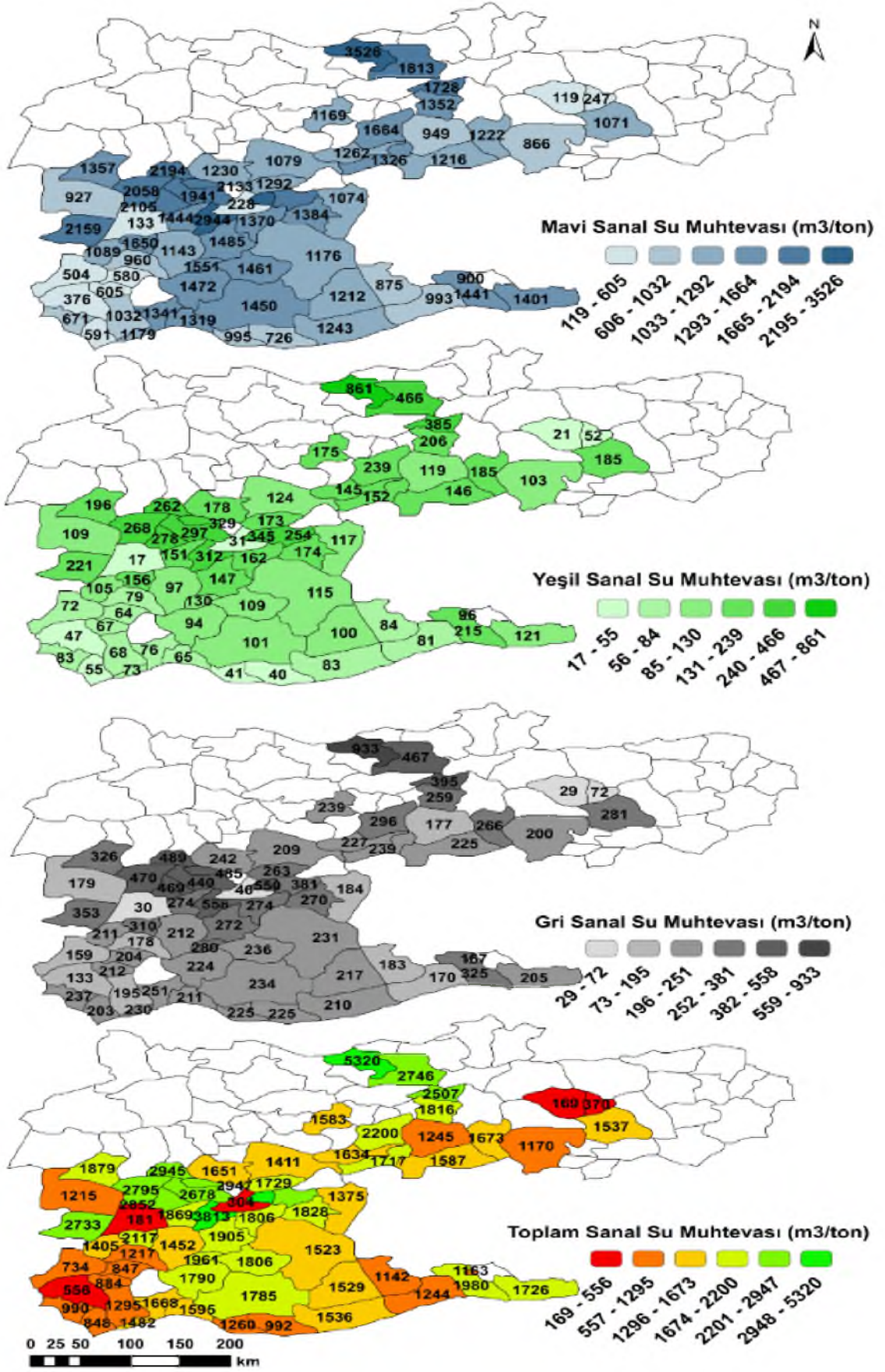
Şekil 4.39. Mercimek ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları



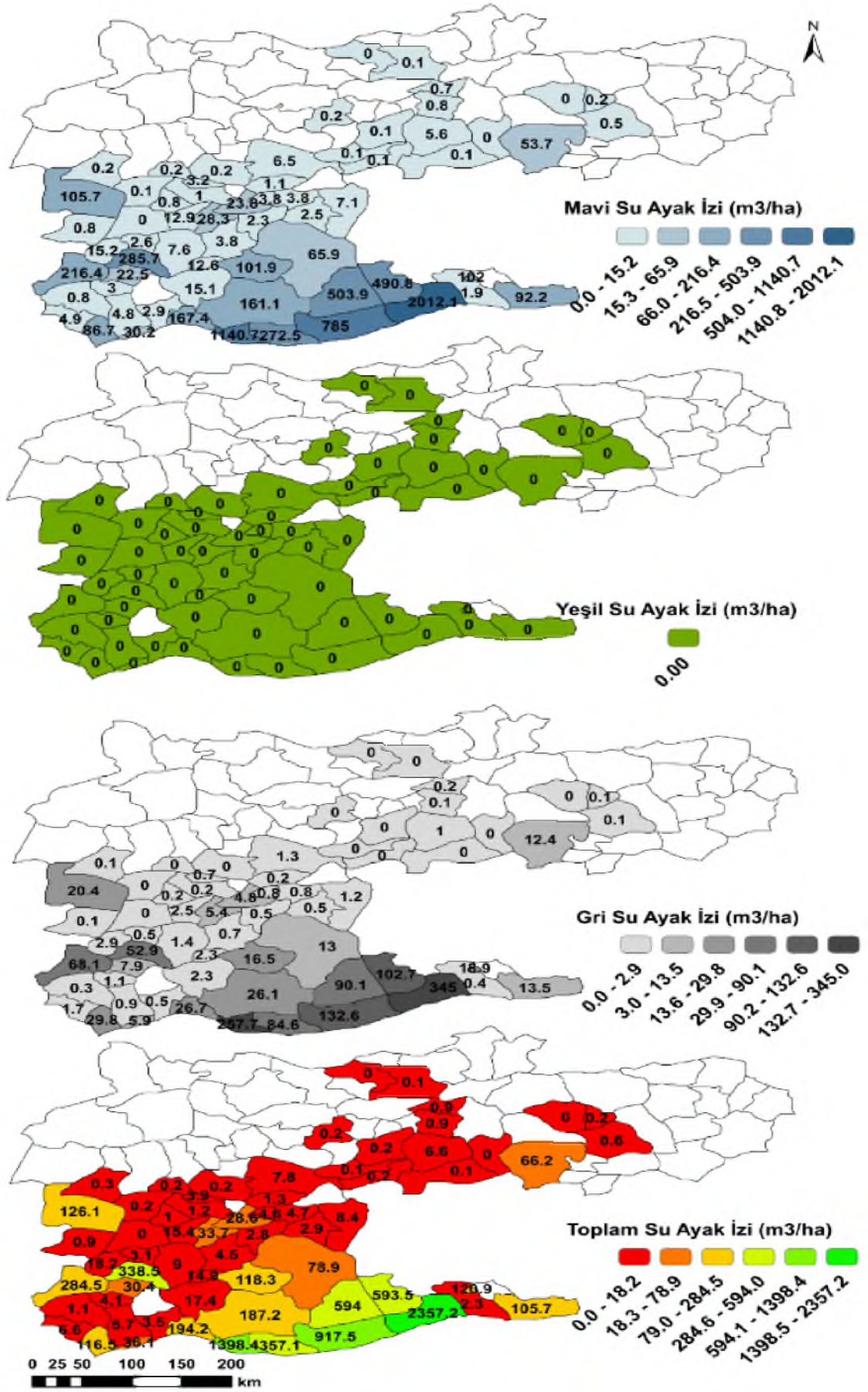
Şekil 4.40. Mercimek ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları



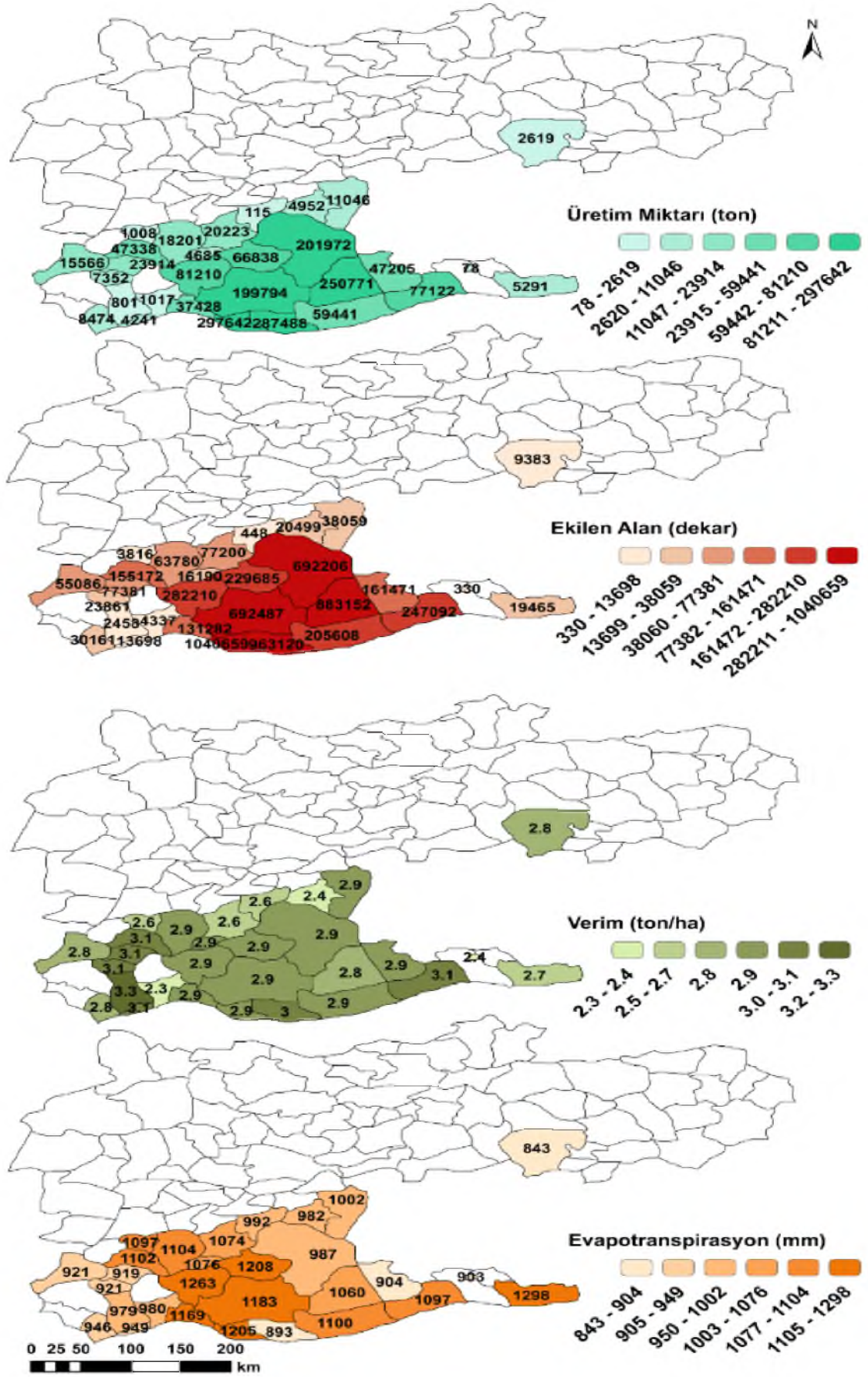
Şekil 4.41. Mısır dane ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları



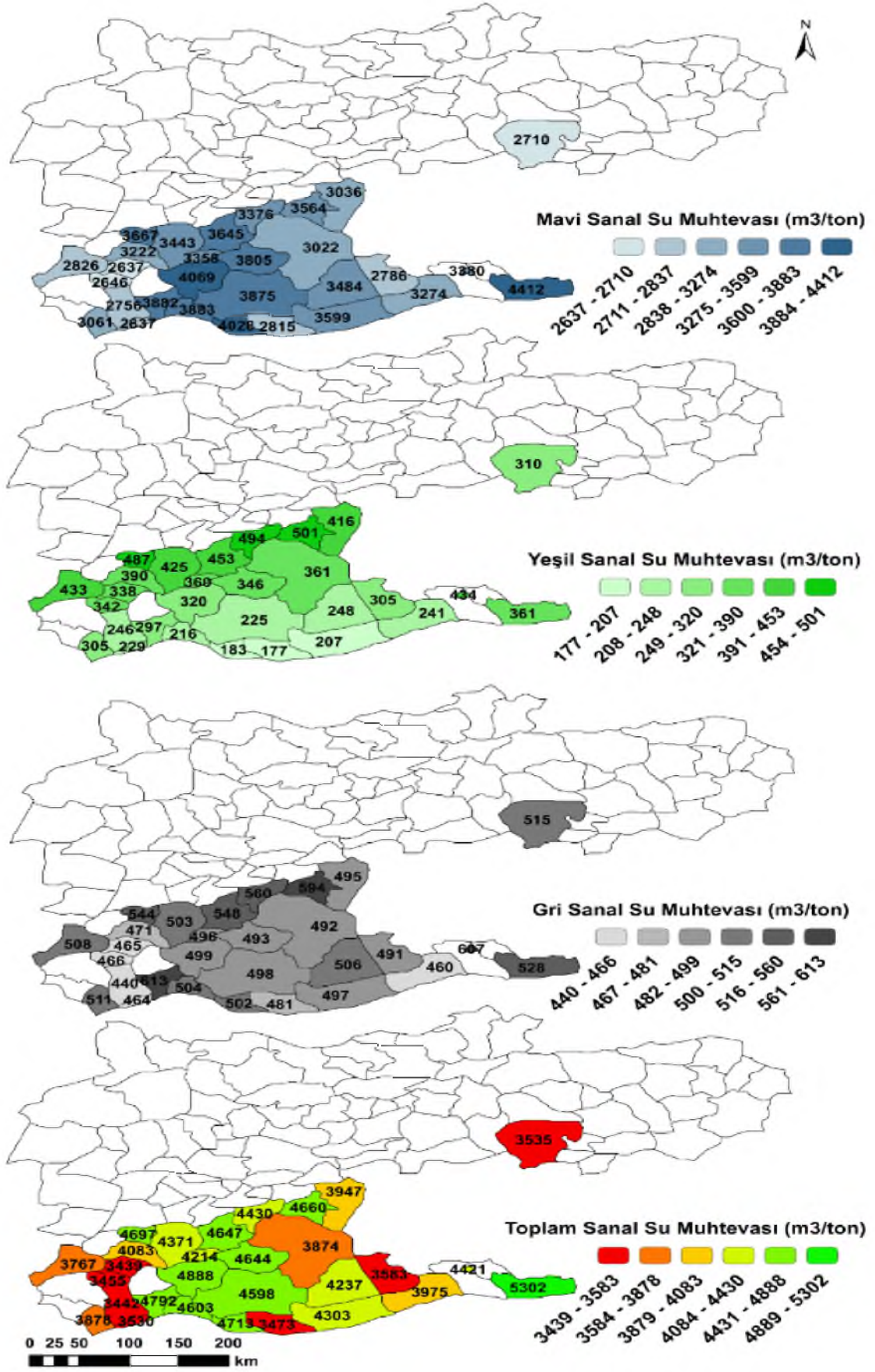
Şekil 4.42. Mısır dane ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları



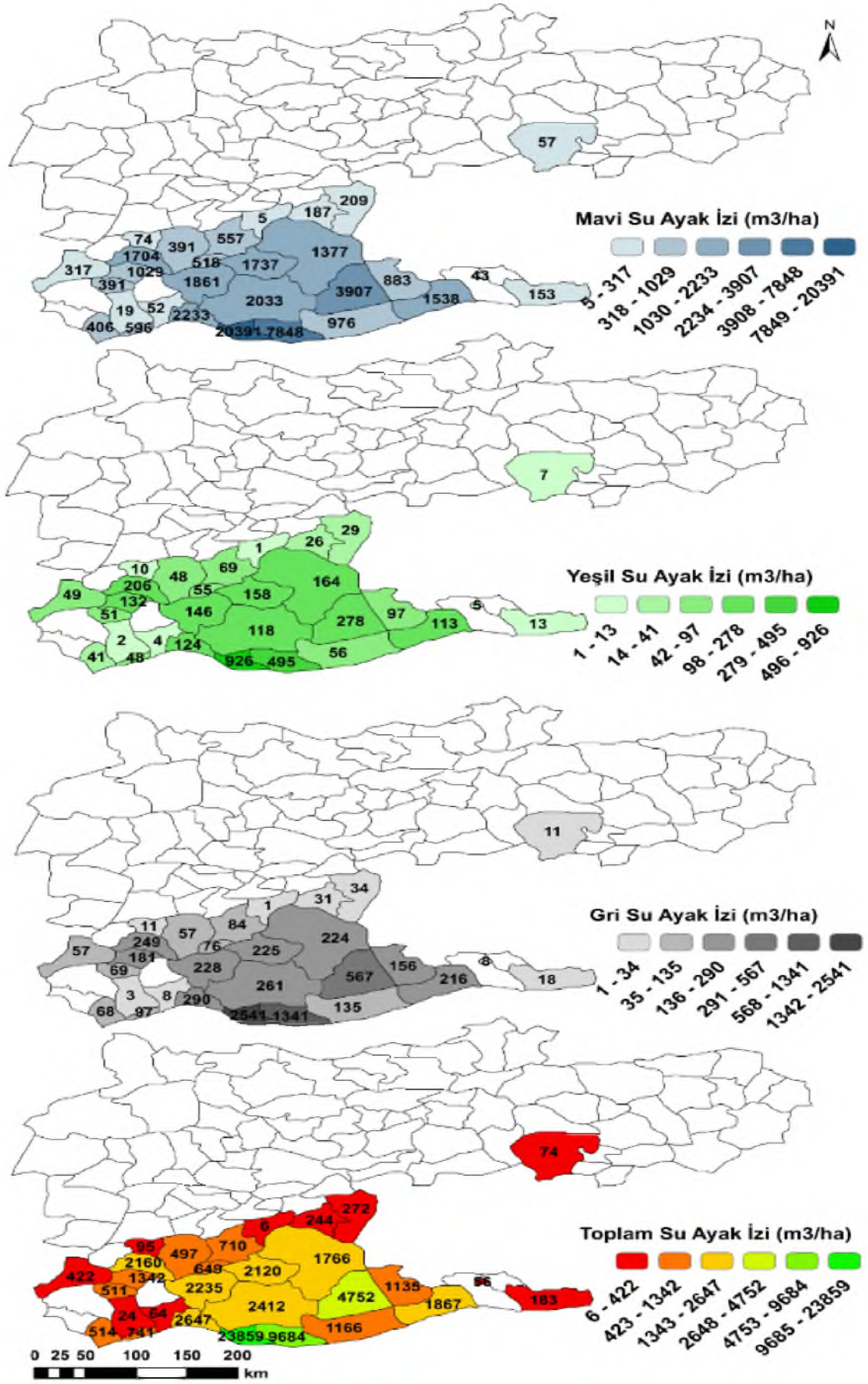
Şekil 4.43. Mısır dane ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları



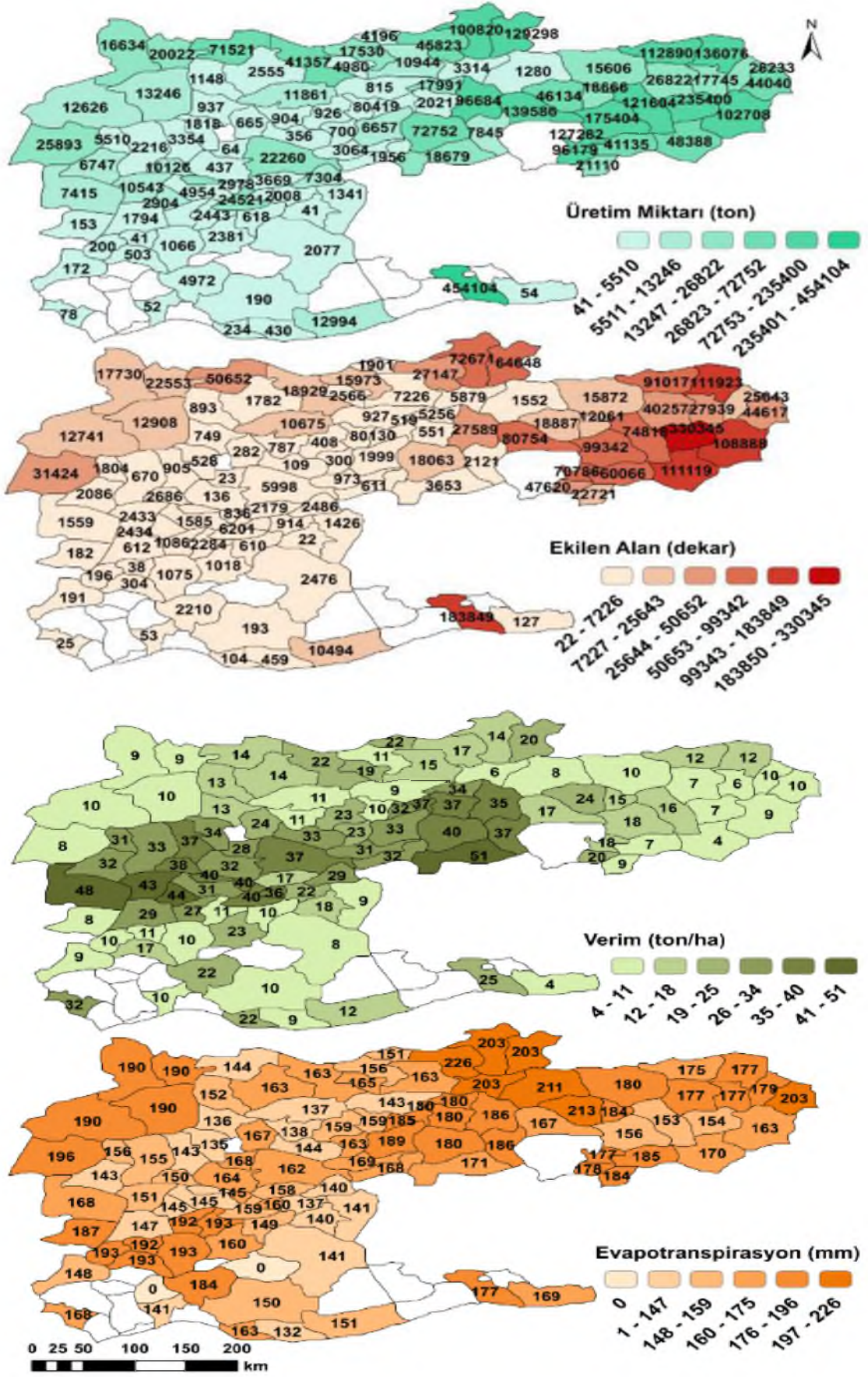
Şekil 4.44. Pamuk ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları



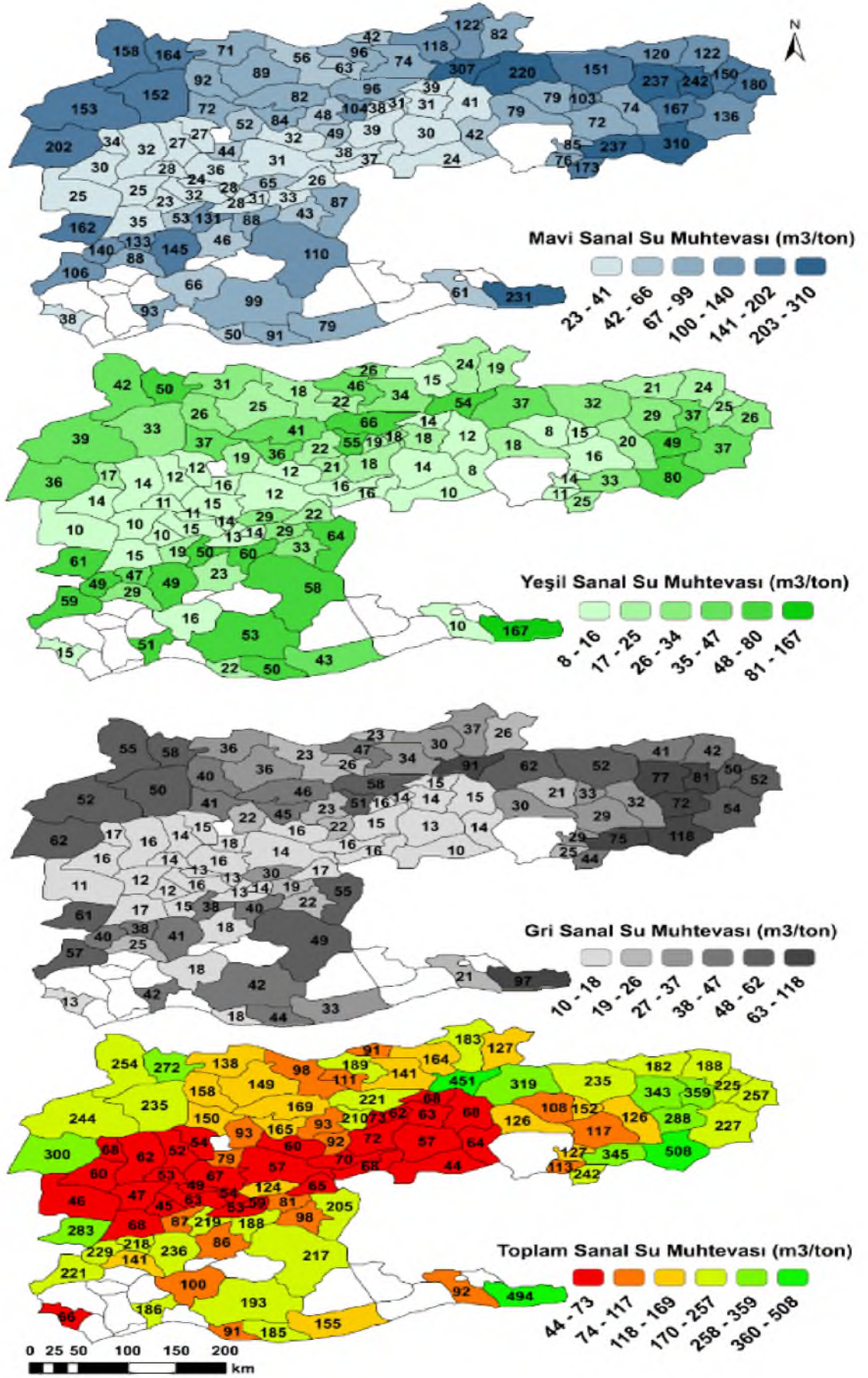
Şekil 4.45. Pamuk ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları



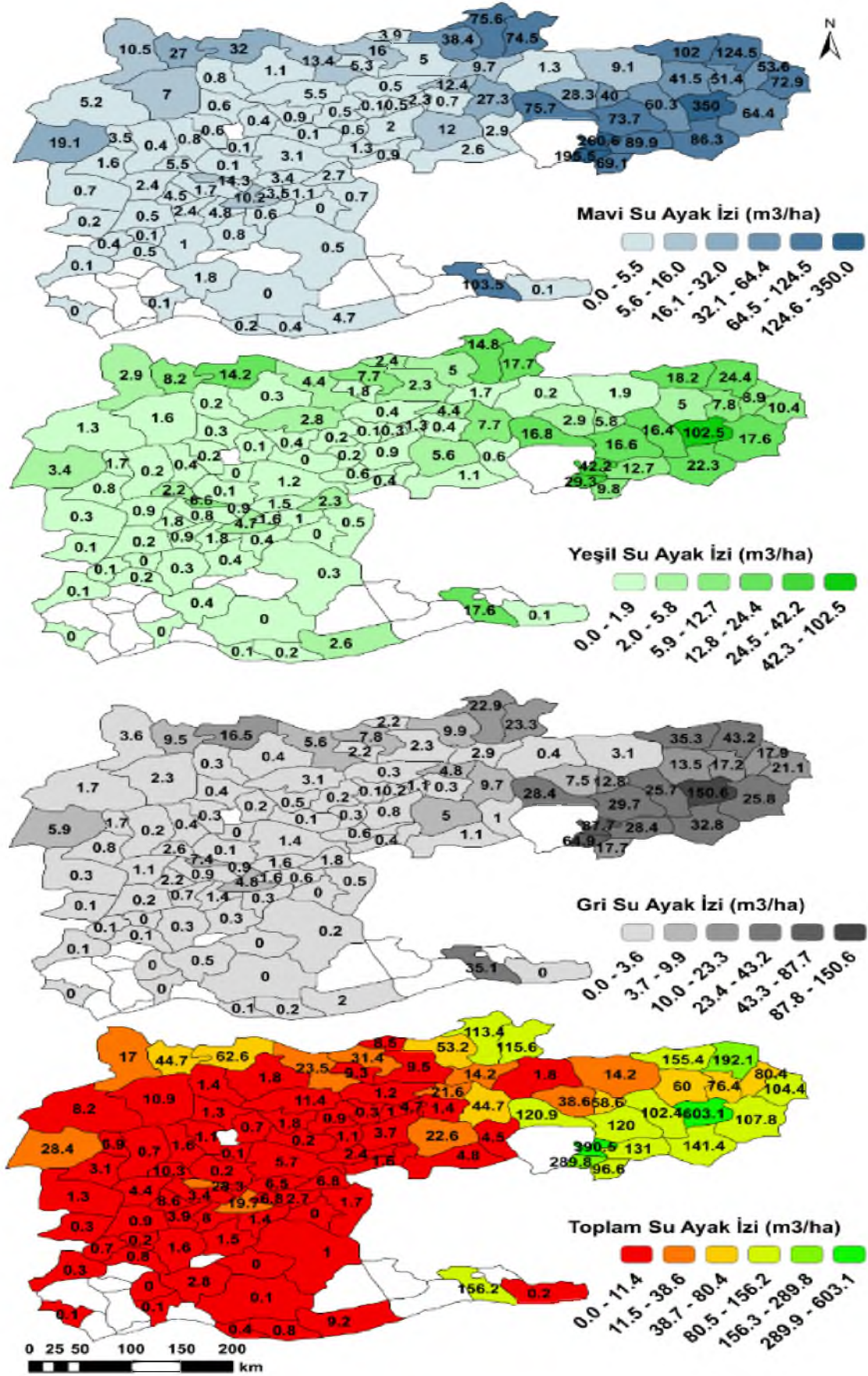
Şekil 4.46. Pamuk ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları



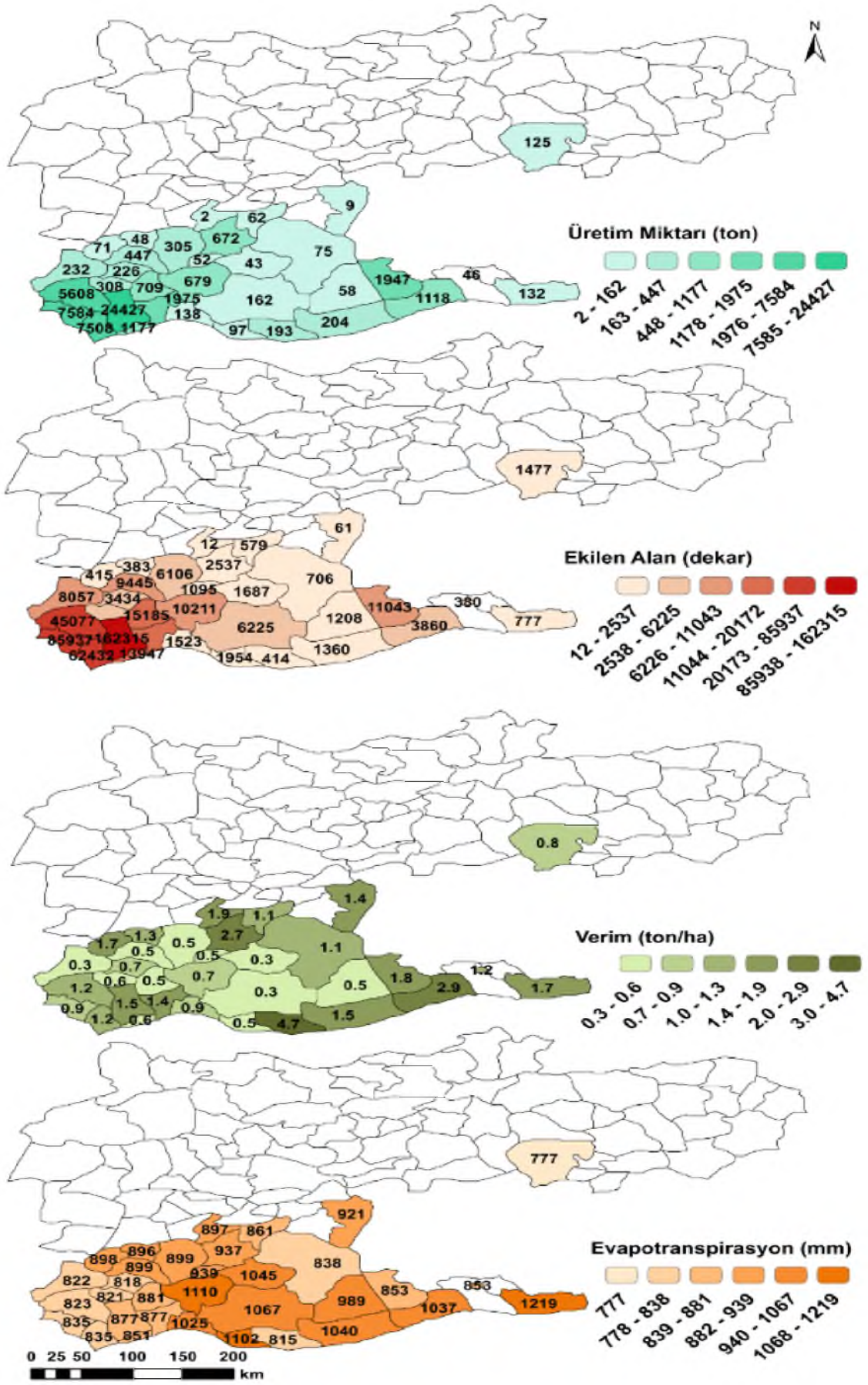
Şekil 4.47. Yonca ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları



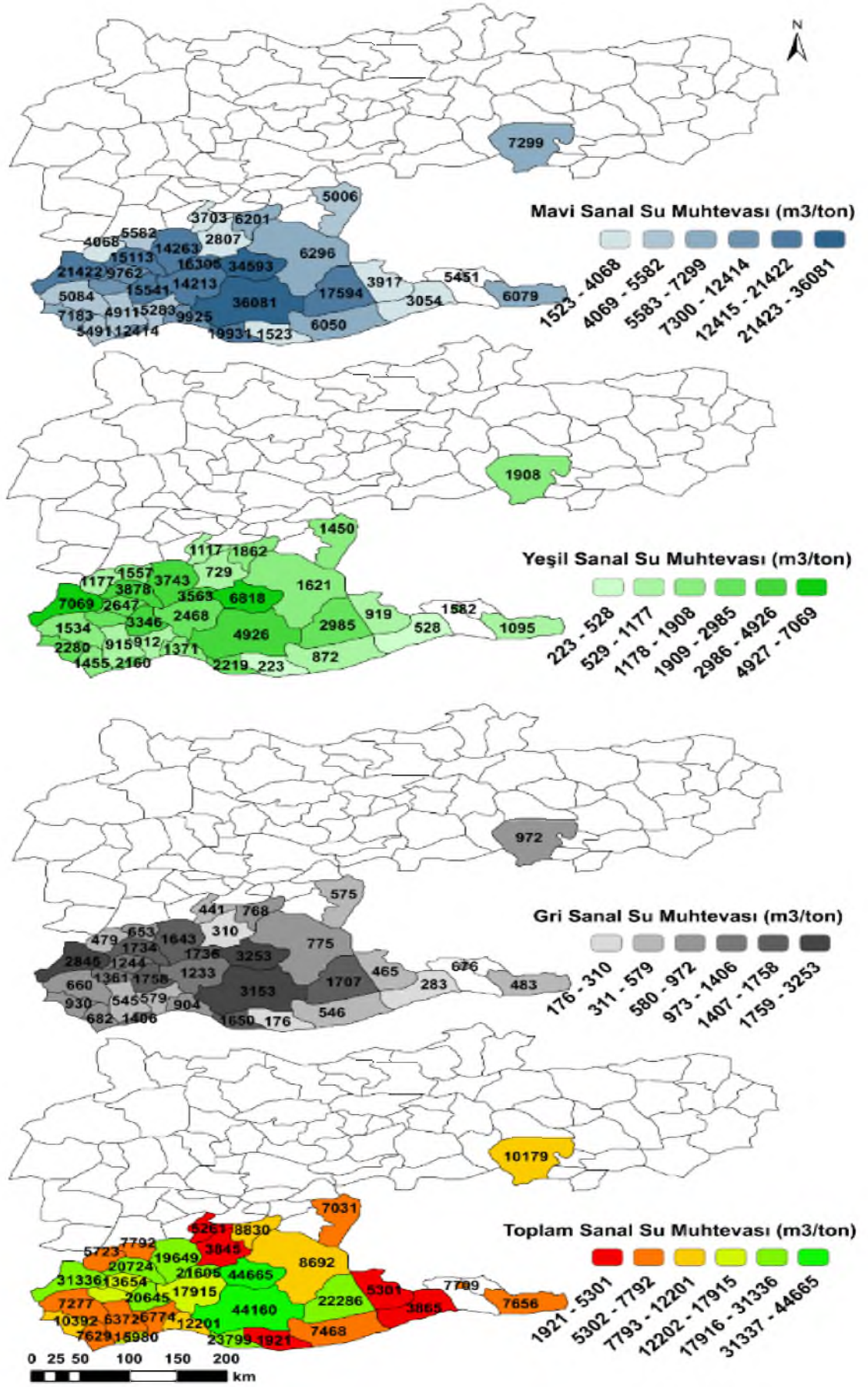
Şekil 4.48. Yonca ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları



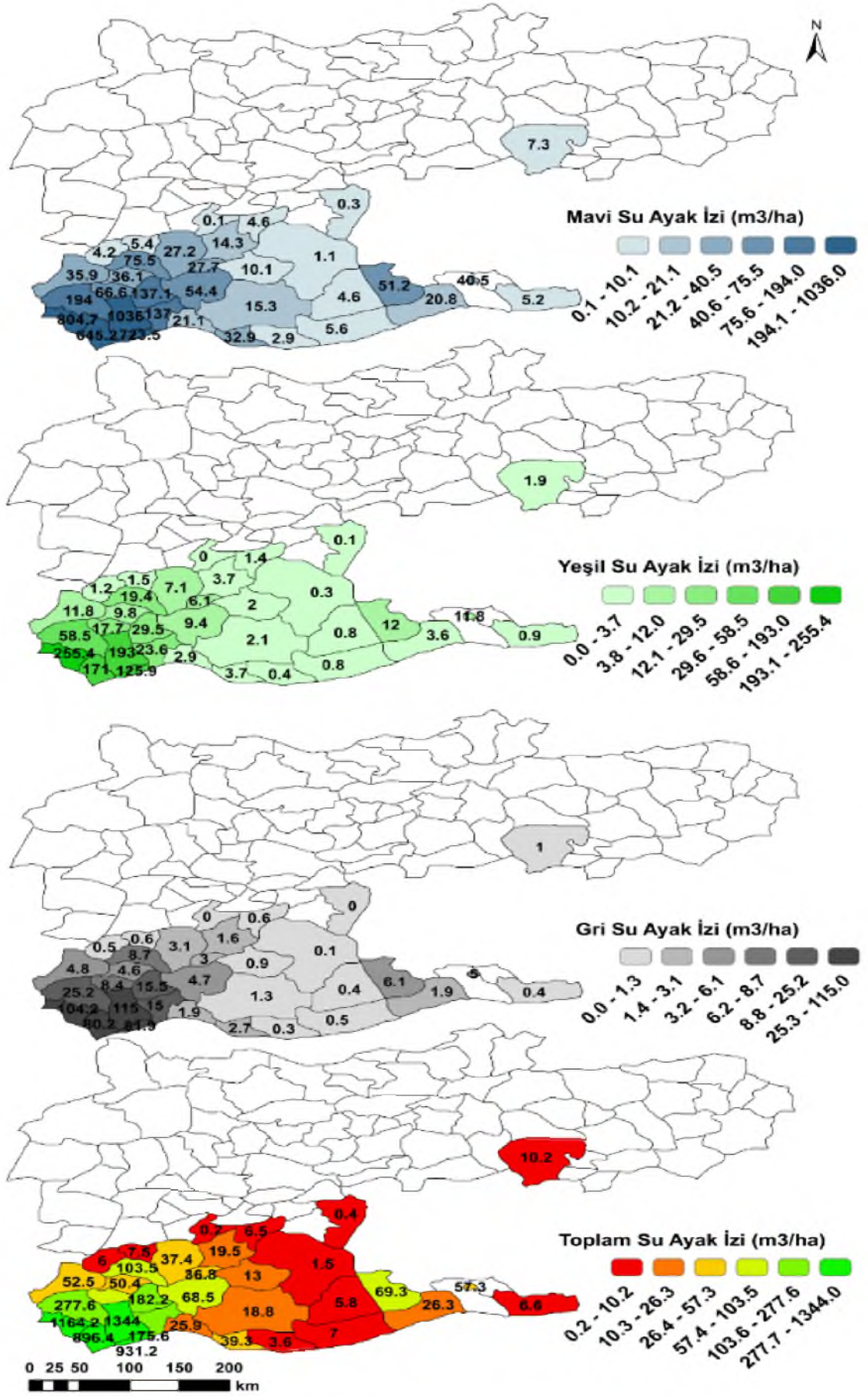
Şekil 4.49. Yonca ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları



Şekil 4.50. Zeytin ürününün üretim miktarı, ekilen alan, verim ve evapotranspirasyon miktarları



Şekil 4.51. Zeytin ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam sanal su muhtevası miktarları



Şekil 4.52. Zeytin ürününün mavi, yeşil, gri ve toplam su ayak izi miktarları

BÖLÜM 5

TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. Tartışma

WWF (2014) tarafından yayınlanan Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu adlı çalışmada Türkiye'nin su ayak izinin % 89'unu tarımsal üretim oluşturmıştır. Mevcut çalışmada ise Fırat havzasında tarımsal üretimin su ayak izi oranı % 90'dır. Çalışma alanının güney bölgesi kuzey bölgesine göre daha fazla SA miktarı içermektedir. Bunun en önemli nedeni o bölgede yetiştirilen ürünlerin SSM'ları ve üretim miktarlarının yüksek olmasından kaynaklandığı analiz edilmiştir. Havzada toplam SA oranı en fazla olan tarımsal üretiminin SA bileşenlerinden en yüksek mavi SA olduğu saptanmıştır. Bu durum özellikle Şanlıurfa bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Şanlıurfa bölgesinde yetiştirilen ürünlerin çok sulamaya ihtiyaç duyduğu ve o bölgede yağışın az olması nedeniyle mavi su kullanımını artırmaktadır. Bölgede üretim miktarı fazla olduğu için mavi SA değerini artırdığı analiz edilmiştir. Buğday ürünüde ülkemizde Muratoğlu (2020)'nin yaptığı çalışmasında toplam su ayak izinin 39.3 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Mevcut çalışmada ise buğdayın su ayak izi 7.86 milyar m³ bulunmuştur. Bu durum buğdayın SA miktarının yaklaşık % 20'si Fırat havzasında olduğu saptanmaktadır. Engin (2019) pamuk ürünü için yaptığı çalışma en fazla su ayak izi miktarının Şanlıurfa ilinde olduğunu belirlenmiş mevcut çalışmayla da benzer olarak mavi SA değerinin olduğu analiz edilmiştir.

Çalışma kapsamında hayvansal üretimin SA'nin yaklaşık % 75 oranı ile en yüksek değere sahip Sığır grubunun SA 1.65 milyar m³'tür. Sığır grubunu 0.49 milyar m³ ile Koyun, 0.05 milyar m³ ile Keçi ve 0.02 milyar m³ ile Kümes hayvanları takip etmektedir. Havzadaki hayvansal üretimin yaklaşık % 95 oranına sahip bileşen yeşil SA'dir. Yeşil SA'nin yüksek olmasının en önemli nedeni hayvanların yağış sonucu oluşan doğal yemle beslenmesidir. Bu durum mavi suyun az bir oranda kullanıldığını göstermektedir. 1.564 milyar m³ ile en yüksek yeşil SA değerine sahip hayvan grubu sığırdır. Hayvansal üretimin SA ilçe bazlı değerlendirildiğinde 120 milyon m³ ile Siverek ilçesi olduğu analiz edilmiştir. Fırat havzasındaki toplam SA'nin yaklaşık % 2 oranına denk gelen evsel ve endüstriyel SA 52.6 milyon m³ değeri ile en yüksek Şehitkamil ilçesinde olduğu hesaplanmıştır. Şehitkamil ilçesini Şahinbey, Erzurum Merkez, Elazığ merkez ve Şanlıurfa Merkez ilçeleri takip etmiştir. Evsel ve endüstriyel SA'nin yüksek olduğu

bölgeler nüfusun ve sanayi bölgelerinin fazla olduğu yerlerde görüldüğü bölgelerinin fazla olduğu yerlerde görüldüğü saptanmaktadır.

5.2. Sonuç

Yapılan çalışmada, 2008-2019 yılları arasında (11 yıllık ortalama) Fırat havzasındaki su ayak izi miktarı hesaplanmıştır. Toplam su ayak izi değeri 28.01 milyar m^3 olarak analiz edilmiştir. Havzadaki SA'nin yaklaşık % 90 oranına sahip tarımsal SA miktarı 25.29 milyar m^3 'tür. Tarımsal üretiminin SA'ni 2.51 milyar m^3 ile hayvansal üretiminin SA, 0.51 milyar m^3 miktarı ile evsel ve endüstriyel SA takip etmektedir. Toplam SA ilçe bazlı değerlendirildiğinde SA miktarının havzanın güneyinde daha fazla olduğu saptanmıştır. SA miktarının en yüksek olduğu ilçelerin Akçakale (30,638 m^3/ha) ve Harran (11,338 m^3/ha) olduğu analiz edilmiştir.

Fırat havzasında üretilen 41 ürünün incelendiği tarımsal üretimin SA'nin en yüksek bileşeninin yaklaşık % 63 oranında mavi SA olduğu ve miktarı 15.89 milyar m^3 olarak hesaplanmıştır. 6.33 milyar m^3 miktarı ile ikinci yüksek bileşenin yeşil SA olduğu ve tarımsal üretimin yaklaşık % 25 oranına sahip olduğu analiz edilmiştir. Yaklaşık % 12 ile en düşük orana sahip gri SA ise 3.07 milyar m^3 olarak tahmin edilmiştir. Tarımsal üretiminin SA miktarları ilçe bazlı incelendiğinde mavi SA'nin en yüksek olduğu ilçe Akçakale (1.406 milyar m^3) olup, yeşil ve gri SA'nin en yüksek olduğu ilçenin Siverek (5.286 milyar m^3 ve 2.327 milyar m^3) olduğu saptanmıştır.

Su ayak izi çalışmaları ülkemizde kısıtlı olması nedeniyle havza bazında yapılan bu çalışma ilk kez detaylı olarak analiz edilmiştir. Fırat havzasındaki ilçelerin tarımsal, hayvansal, evsel ve endüstriyel su ayak izi ayrı ayrı incelenerek hesaplanmıştır. Analiz sonucu mavi su ayak izi yüksek olduğu saptanmıştır. Mavi SA yüzey ve yeraltı suyunun fazla kullandığını belirtmektedir. Bu durumda Fırat havzasının su sıkıntısı yaşayabileceği ön görülmektedir. Bu çalışmanın su yönetimi kurumlarının havza bazında örnek bir çalışma olmasıyla beraber mavi SA tüketiminin azaltıcı önlemler alması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akın, M., ve Akın, G. (2007). Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 2, 105–118. https://doi.org/10.1501/dtcfderr_00000000992
- Allan, J. A. (2002). *Hydro-Peace in the Middle East: Why no Water Wars? A Case Study of the Jordan River Basin*. XXII(2), 255–272.
- Almorox, J., Senatore, A., Quej, V. H., & Mendicino, G. (2016). Worldwide Assessment of the Penman–Monteith Temperature Approach for the Estimation of Monthly Reference Evapotranspiration. *Theoretical and Applied Climatology*, 131(1–2), 693–703. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1996-2>
- Alper, F. (2015). *Sürdürülebilirlik Kavramı İçerisinde Su Ayak İzi : Tekstil Sektörü Örneği*.
- Anaç, S., Özçakal, E., ve 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>
- Atabay, S., Karasu, M., ve Koca, C. (2014). *İklim Değişikliği ve Geleceğimiz*.
- Avanoz, Z. (2020). *Türkiye’de Tarımsal Üretimin Su Ayak İzinin Hesaplanması*. 21(1), 1–9.
- Başkan, O. (2004). *Gölbaşı Yöresi Topraklarının Mühendislik Fiziksel Özellik İlişkilerinde Jeostatistik Uygulanması*. 113(2), 180–190.
- Bilbay, Ö. F. (2014). *Türkiye’de Su Kaynakları Kullanımına İlişkin İdari ve Toplumsal Sorunlar ve Çözüm Önerileri (Fırat Nehri Örneği)*. 6(4). <https://doi.org/10.1590/s1809-98232013000400007>
- Bilen, Ö. (2009). *Ortadoğu Su Sorunları ve Türkiye*.
- Bozkurt, D. (2013). *Climate Change Impacts on the Hydrology of the Euphrates-Tigris Basin*. 26(4), 1–37.
- BÜGEM ve TAGEM. (2018). *Gübreleme Rehberi*. 53(9), 1689–1699.

- Çakmak, Ö. F. (2018). *Taşkın Risk Haritalaması; Fırat Havzası Uygulaması*.
- Çankaya, T. (2019). *Atık Su Arıtma Tesislerinde Su Ayak İzi Hesaplama Yöntem Önerisi ve Haddeleme-Galvanizleme Tesisinde Uygulama Örneği*.
<https://doi.org/10.37700333-2909.I26.1.78>
- Chapagain, A. K., ve Hoekstra, A. Y. (2004). Water Footprint of Nations. *Value of Water Research Report Series*, 1(16), 1–80.
<http://waterfootprint.org/media/downloads/Report16Vol1.pdf>
- Chen, D., Gao, G., Xu, C. Y., Guo, J., & 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>
- Çolak, N. (2009). *Eğitim Coğrafyası Bakımından Doğu Anadolu Bölgesi illerinde Okullaşma Oranları (1980-2000)*.
- D'Ambrosio, E., De Girolamo, A. M., ve 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>
- Dağdelen, E. (2012). *Evapotranspirasyon (ET) Hesabı*. April.
- Ding, X., Wang, S., ve Chen, B. (2019). The Blue , Green and Grey Water Consumption for Crop Production in Heilongjiang. *Energy Procedia*, 158, 3908–3914.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.853>
- Elibüyük, M., ve Yılmaz, E. (2010). *Türkiye'nin Coğrafi Bölge ve Bölümlerine Göre Yükselti Basamakları ve Eğim Grupları*. 8(1), 27–55.
- Engin, S. (2019). Türkiye'de Pamuk Üretiminin Su Ayak İzi. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Erdoğan, P. (2018). *Türk Mutfak Kültürünün Sera Gazı Emisyonu ve Su Ayak İzinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri

Enstitüsü, Ankara.

FAO. (2009). <http://www.fao.org/home/en/>

FAO (Food and Agriculture Organization). (2009). *Irrigation in the Middle East Region in Figures*,. 423.

Hakyemez, C. (2019). *Su : Yeni Elmas*.

Hoekstra, A. Y., ve Chapagain, A. K. (2006). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, 21(1), 35–48. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9039-x>

Hoekstra, A. Y., ve Hung, P. Q. (2005). Globalisation of Water Resources: International Virtual Water Flows in Relation to Crop Trade. *Global Environmental Change*, 15(1), 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.06.004>

Hoekstra, A.Y., ve Hung, P. Q. (2002). *Virtual Water Trade*. 11, 87–102. <https://doi.org/10.4324/9780203867785>

Hoekstra, Arjen Y. (2003). Virtual Water Trade. *Current Science*, 94(3), 293. <https://doi.org/10.4337/9781785369131.00016>

Hoekstra, Arjen Y, Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., ve Mekonnen, M. M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. In *Earthscan*. <https://doi.org/978-1-84971-279-8>

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., Büyüktas, D., ve Tekelioğlu, B. (2017). *Kıyas Bitki Su Tüketiminin (ET_o) Hesaplanması Amacıyla Kullanılan Bilgisayar Yazılımlarının Karşılaştırması*. January.

Karaca, C., Büyüktas, D., & Tekelioğlu, B. (2017). *Kıyas Bitki Su Tüketiminin (ET_o) Hesaplanması Amacıyla Kullanılan Bilgisayar Yazılımlarının Karşılaştırması*.

January.

- Karataş, A. (2010). *Hatay İli'nin Su Potansiyeli.*
- Karşılı, C. (2011). *Türkiye'de Akarsu Havzalarında Kişi Başına Düşen Su Miktarının Coğrafi Bilgi Sistemleriyle Analizi.*
- 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.
- Kasap, A. G. (2018). *Ayvacık, Suat Uğurlu Baraj Gölü'nün Su Kirliliği Açısından Araştırılması.*
- Kayahan, G. B. (2019). *Fırat Havzası, Şahnahan Ovası'nda Battalgazi Sulama Birliği'nin Sulama Performansının Değerlendirilmesi.*
- Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. (2011). The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577–1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Mekonnen, Mesfin M., ve Hoekstra, A. Y. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>
- Mekonnen, Mesfin Mergia. (2011). *Spatially and Temporally Explicit Water Footprint Accounting* (Issue June). <https://doi.org/10.3990/1.9789036532211>
- Muratoglu, A. (2019). Water footprint assessment within a catchment: A case study for Upper Tigris River Basin. *Ecological Indicators*, 106, 105467. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2019.105467>
- Muratoğlu, A. (2018). *Dicle Havzasının Su Ayak İzinin Hesaplanması.* 1–9.
- Muratoğlu, A. (2020a). Assessment of wheat's water footprint and virtual water trade: a case study for Turkey. *Ecological Processes*, Accepted M(TBG), 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13717-020-0217-1>
- Muratoğlu, A. (2020b). *Üretimin Su Ayak İzinin İncelenmesi : Diyarbakır İli İçin Bir*

- Vaka Çalışması*. 2, 845–858. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.543933>
- Novoa, V., Ahumada-Rudolph, R., Rojas, O., Munizaga, J., Sáez, K., & Arumí, J. L. (2019). Sustainability Assessment of the Agricultural Water Footprint in the Cachapoal River Basin, Chile. *Ecological Indicators*, 98(January 2018), 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.048>
- Rypel, A. L. (2014). Do İnvasive Freshwater Fish Species Grow Better When They are İnvasive? *Oikos*, 123(3), 279–289. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00530.x>
- Şahin, B. (2016). *Küresel Bir Sorun: Su Kıtılığı ve Sanal Su Ticareti*.
- Şarlak, N., ve Bağçacı, S. Ç. (2020). Ampirik Potansiyel Evapotranspirasyon Tahmin Yöntemlerinin Değerlendirilmesi: Uygulama Konya Kapalı Havzası. *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, 31(1), 9755–9772. <https://doi.org/10.18400/TEKDERG.408019>
- Şengül, E. (2013). *Aksu Deresi Su Kalitesi ve Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi*.
- Soytürk, O. (2019). *Tüketim Toplumu ve Su* (Vol. 2).
- TAGEM, ve DSİ. (2017). *Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri*. February 2018.
- TÜİK. (2019). *Bitki üretim istatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu.
- Tural, S. (2011). *Gerçek zamanlı meteoroloji verilerinin toplanması, analizi ve haritalanması*. Ankara Üniversitesi.
- Turan, E. S. (2017). Türkiye’nin Su Ayak İzi Değerlendirmesi. *Türk Hij Den Biyol Derg*, 74(1), 55–62. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2017.29592>
- Venturi, L. A. B., ve Capozzoli, C. R. (2017). Changes in the Water Quantity and Quality of the Euphrates River are Associated with Natural Aspects of the Landscape. *Water Policy*, 19(2), 233–256. <https://doi.org/10.2166/wp.2017.077>
- WWF. (2014). *Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu*.

- Yaprak, S., ve Arslan, E. (2008). Kriging Yöntemi ve Geoit Yüksekliklerinin Enterpolasyonu. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 98, 36–42.
- Yerli, C., Şahin, Ü., Kiziloğlu, F. M., Tüfenkçi, Ş., ve Örs, S. (2019). Van İlinde Silajlık Mısır, Patates, Şeker Pancarı ve Yoncanın Su Ayak İzi. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 29(2), 195–203. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.541890>
- Yiğit, Y., ve Çakmak, B. (2018). *Fırat Havzası Sulama Şebekelerinde Tarımda Su Kullanımının Değerlendirilmesi*. 3(1), 103–108.
- Yıldırım, A. (2006). *Karakaya Barajı ve Doğal Çevre Etkileri*. 39, 32–39.
- Yıldız, M. S. (2019). *Akım Kuraklık İndeksi Yöntemi ile Fırat Havzasının Hidrolojik Kuraklık Analizi*.
- Yılmaz, A. (2015). *Küresel Isınmanın Dünya Su Rezervleri Üzerindeki Etkileri*. 63–72.
- Yurddaş, K. (2018). *Fırat Havzası Sıcaklık ve Yağışlarında Görülen Değişim ve Eğilimler*.
- Yüzal, B. (2019). *Türkiye'de Tarım Arazilerinin Korunması ve Kullanımına İlişkin Sorunlar ve Politikalar*.