

**UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİNİN TARIMSAL ÜRETİMDEKİ SU
AYAK İZİNİN HESAPLANMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Engin KORKMAZ

Yüksek Lisans Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2021

ÖZET

UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİNİN TARIMSAL ÜRETİMDEKİ SU AYAK İZİNİN HESAPLANMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Engin KORKMAZ

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN

Su, tüm canlıların hayatının devamlılığı için büyük bir öneme sahiptir. Sanayileşme ile birlikte insan nüfusunun da hızla artması su kaynakları üzerindeki baskıyı arttırmakta ve su kaynaklarının kirlenmesine sebep olmaktadır. Su kaynakları üzerindeki baskı, kaynakların daha verimli kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmış ve sürdürülebilir su yönetimi konusunda birçok çalışmanın yapılmasını sağlamıştır. Sürdürülebilir su yönetimi konusunda en güncel ve en etkili olan çalışmalardan biri Su ayak izi (SAİ) dir.

Su ayak izi (SAİ) ifadesi 2000’li yılların başlarında Hoekstra tarafından ortaya atılmış ve yaygınlaşarak günümüzde önemli bir kavram haline gelmiştir. SAİ, ürünlerin ve hizmetlerin üretim ve tüketim süreçleri kapsamında doğrudan ve dolaylı olarak kullanılan toplam su miktarının ölçüsüdür. Su ayak izi kavramı kullanılan suyun çeşidine göre mavi, yeşil ve gri su ayak izi olarak sınıflandırılmaktadır. Mavi su ayak izi yeraltı suyu ve yüzey su kaynaklarının toplam miktarını, yeşil su ayak izi yağışlardan gelen toplam su miktarını, gri su ayak izi ise kirlenen su kaynaklarındaki kirlilik yükünün bertaraf edilmesi veya azaltılması için kullanılan tatlı su miktarını ifade etmektedir.

Uzun yıllardır SAİ hesaplaması konusu üzerine çalışmalar yapılmakta olup yapılan çalışmalarda karmaşık hesaplamalar olması hesaplamaları zorlaştırmaktadır. Bu çalışmanın amacı, SAİ çalışmalarındaki hesaplamaları kolaylaştırmak amacı ile uzaktan algılama verilerini ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknolojilerini kullanarak, yenilikçi bir yöntem ortaya koymaktır. Tez çalışmasında gerçekleştirilen analizler 2018 yılının 12 ayını kapsayacak şekilde ve Türkiye çapında yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında su ayak izinin belirlenmesinde için öncelikle ET bileşenleri hesaplanmıştır bunun için;

yağış, evapotransprasyon ve yüzey nemi verileri kullanılmıştır. Tez alışması sonucunda, toplam değerlendirme, bölgesel değerlendirme ve CORINE verileri kullanılarak bitkisel değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda; toplamda ET'nin 113,7 milyar m³, mavi bileşenin 68,6 milyar m³/yıl ve yeşil bileşenin 45,1 milyar m³/yıl olduğu belirlenmiştir. Yapılan tez çalışmasının ülkemizde sürdürülebilir su yönetimi konusunda öncü bir çalışma olacağı ve su ayak izi hesaplamalarında gelecek çalışmalara bir rehber niteliğinde olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Su ayak izi, Uzaktan algılama, Coğrafi bilgi sistemleri, Evapotransprasyon, Yağış, CORINE



ABSTRACT

EVALUATION OF THE USABILITY OF REMOTE SENSING TECHNIQUES FOR CALCULATION OF WATER FOOTPRINT IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Engin KORKMAZ

Department of Remote Sensing and Geographical Information Systems

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2021

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Zehra YİĞİT AVDAN

Water is of great importance for the continuity of the life of all living things. Industrialization and the rapid increase in the human population increase the pressure on water resources and cause pollution of water resources. The pressure on water resources has brought the need for more efficient use of resources into view and led to many studies on sustainable water management. One of the most recent and most effective studies on sustainable water management is Water Footprint (WF).

The expression of water footprint (WF) was put forward by Hoekstra in the early 2000s and getting widespread, it has become an important concept today. WF is the measure of the total amount of water used directly and indirectly within the production and consumption processes of products and services. The concept of water footprint is classified as blue, green and grey water footprint depending on the type of water used. The blue water footprint indicates the total amount of surface and groundwater resources, the green water footprint represents the total amount of water from precipitation, and the grey water footprint indicates the amount of fresh water used to eliminate or dilute the pollution load in the polluted water resources.

While studies have been carried out on the issue of WF calculation for many years, the complex calculations in the studies make the calculations difficult. The aim of this study is to present an innovative method by using remote sensing data and geographic information systems (GIS) technologies in order to facilitate the calculations in WF studies. The analyzes carried out in the thesis study were made across Turkey in such a way to cover the 12 months of the year 2018. Within the scope of the thesis, rainfall, evapotranspiration and surface moisture data were used to determine the water footprint. As a result of the thesis study, total evaluation, regional evaluation and by using CORINE data vegetative evaluation were carried out. As a result of the calculations made, it has

been determined that the total water footprint is 113.7 billion m³, the blue water footprint is 68.6 billion m³ / year and the green water footprint is 45.1 billion m³ / year. It is thought that the thesis study will be a pioneering study on sustainable water management in our country and will serve as a guide for future studies in water footprint calculations.

Keywords: Water Footprint, Remote sensing, Geographic information systems, Evapotranspiration, Precipitation, CORINE .



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam her aşamasında bana yol gösteren ve çalışmanın son aşamasının oluşmasında desteklerini hiç esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN'a, çalışmamda bilgi birikimi ve deneyimiyle destek olan hocam Doç. Dr. Uğur AVDAN'a teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans dersleri sırasında akademik anlamda bilgi birikimleriyle yanımda olan Eskişehir Teknik Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü hocalarına teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yanımda olan her zorlukta beni sürekli motive eden sevgili eşim Nurgül AKANSU KORKMAZ, kızım Nehir KORKMAZ'a ve beni bugünlere getiren ve destekleyen anne ve babama sonsuz teşekkürler.

Engin KORKMAZ

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Engin KORKMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	15
1.1. Çalışmanın Anlamı	2
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.3. Çalışmanın Önemi.....	4
1.4. Çalışmanın Sınırlılıkları	5
1.5. Literatür Araştırması	5
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	11
2.1. Su Ayak İzi Kavramının Ortaya Çıkışı ve Gelişimi.....	11
2.2. Sanal Su.....	13
2.3. Yeşil Su Ayak İzi	13
2.4. Mavi Su Ayak İzi.....	14
2.5. Gri Su Ayak İzi.....	15
2.6. Meteorolojik Parametreler.....	16
2.6.1. Yağış	16
2.6.2. Evapotranspirasyon (ET)	17
2.7. Uzaktan Algılama.....	18
3. MATERYAL METOD	20

3.1. Çalışma Alanı	20
3.2. Çalışmada Kullanılan Veriler	21
3.2.1. Yağış	21
3.2.2. Evapotranspirasyon	26
3.2.3. Yüzey Nemi	32
3.2.4. Arazi Kullanım Haritaları	37
3.3. Kullanılan Yöntem	40
3.4. Çalışmanın Uygulaması	43
4. BULGULAR	45
4.1. Formüllerin uygulanması	45
4.2. Ay Bazında Değerlendirme	49
4.3. Toplam Su Ayak İzi Sonuç Haritası	58
4.4. Yedi Bölge Toplam Su ayak İzi Haritaları	59
4.5. CORINE Sınıfları Kullanılarak Değerlendirme	66
4.6. Bitkisel Değerlendirme	75
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	87
KAYNAKÇA	91
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Bazı ürünlerin sanal su içerikleri (Chapagain ve Hoekstra, 2004)	12
Tablo 3.1. Aylık yağış verileri (2018).....	26
Tablo 3.2. Aylık ET miktarları (2018).....	32
Tablo 3.3. CORINE arazi sınıflarına ait seviyeler (http 3)	37
Tablo 3.4. CORINE verileri sınıflarının doğruluk değerleri.....	38
Tablo 3.5. Kullanılan veriler ve özellikleri	44
Tablo 4.1. CORINE verileri ile elde edilmiş bölgeler ET bileşen miktarları	73
Tablo 4.2. Bitkisel değerlendirme ET bileşenleri ve toplam su tüketimi.....	79
Tablo 4.3. Buğdayın bazı ülkelerdeki mavi ve yeşil su ayak izi.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Su ayak izi bileşenleri.....	16
Şekil 2.2. Meteorolojik parametreler	18
Şekil 3.1. Çalışma alanı	21
Şekil 3.2. FEWS-NET sisteminden indirilen yağış verileri.....	23
Şekil 3.3. FEWS-NET sisteminden indirilen yağış verileri (devam)	24
Şekil 3.4. FEWS-NET sisteminden indirilen yağış verileri (devam)	25
Şekil 3.5. Aylık ET verileri	29
Şekil 3.6. Aylık ET verileri (devam)	30
Şekil 3.7. Aylık ET verileri (devam)	31
Şekil 3.8. Yüzey nemi verisi.....	34
Şekil 3.9. Yüzey nemi verisi (devam)	35
Şekil 3.10. Yüzey nemi verisi (devam)	36
Şekil 3.11. CORINE 4. seviye sınıfları	40
Şekil 3.12. Uzaktan algılama verilerinden ürünlerin su ayak izini bulmak için önerilen akış şeması	43
Şekil 4.1. İlk altı ay için oluşturulan model.....	47
Şekil 4.2. Yılın ikinci altı ayı için oluşturulan model.....	48
Şekil 4.3. Aralık, Ocak ve Şubat ayları ET bileşenleri.....	50
Şekil 4.4. Mart, Nisan ve Mayıs ayları ET bileşenleri	52
Şekil 4.5. Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları ET bileşenleri.....	54
Şekil 4.6. Eylül, Ekim ve Kasım ayları ET bileşenleri.....	56
Şekil 4.7. ET içindeki mavi ve yeşil bileşen.....	58
Şekil 4.8. Toplam ET mavi ve yeşil bileşen	59
Şekil 4.9. Bölgeler ET mavi ve yeşil bileşen.....	60
Şekil 4.10. Bölgeler ET mavi ve yeşil bileşenler	63
Şekil 4.11. Türkiye Bölgeler ET mavi ve yeşil bileşen miktarları (mm/yıl, bin).	66
Şekil 4.12. Tüm tarım alanları (CORINE verileri) ET mavi ve yeşil Bileşen.....	67
Şekil 4.13. Yeşil, mavi ve toplam ET miktarları ve oranları.....	68
Şekil 4.14. Bölge tarım alanları (CORINE verileri) ET bileşenleri)	69
Şekil 4.15. Bölge tarım alanları (CORINE verileri) ET bileşenleri	71
Şekil 4.16. Türkiye Bölgeler ET mavi ve yeşil bileşen (milyar m ³ /yıl)	73

Şekil 4.17. Bölgeler yeşil Bileşen (milyar m ³ /yıl).....	74
Şekil 4.18. Bölgeler mavi bileşen (milyar m ³ /yıl)	74
Şekil 4.19. Bölgeler toplam tarımsal su tüketimi (milyar m ³ /yıl).....	75
Şekil 4.20. CORINE 4. seviye sınıfları	76
Şekil 4.21. CORINE verileri ET bileşenleri	77
Şekil 4.22. CORINE verileri ve ET bileşenleri	78
Şekil 4.23. CORINE verileri kullanılarak oluşturulan tarım ürünlerinin ET bileşenleri.....	79
Şekil 4.24. ET içindeki yeşil bileşen (milyar m ³ /yıl).....	80
Şekil 4.25. ET içindeki mavi bileşen (milyar m ³ /yıl)	80
Şekil 4.26. Altı sınıf toplam Su kullanımı (milyar m ³ /yıl)	81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BM	: Birleşmiş Milletler
ET	: Evapotransprasyon
ETm	: Mavi Evapotransprasyon
ETy	: Yeşil Evapotransprasyon
CORINE	: Çevresel Bilginin Koordinasyonu (Coordination of Information on the Environment)
FAO	: Dünya Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
LAI	: Yaprak Alan İndeksi (Leaf Area Index)
GLDAS	: Küresel Arazi Veri Asimilasyon Sistemi (Global Land Data Assimilation System)
CPC	: İklim Tahmin Merkezi (Climate Prediction Center)
T	: Terleme (Transprasyon)
E	: Buharlaşma (Evaporasyon)
FEWS-NET	: Kıtık Erken Uyarı Sistemleri Ağı (Famine Early Warning System Network)
EB	: Energy Balance (Enerji dengesi)
SEBAL	: Arazi için Yüzey Enerji Dengesi Algoritması (Surface Energy Balance Algorithm for Land)
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration)
AÖ	: Arazi Örtüsü
AK	: Arazi Kullanımı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
P	: Yağış (precipitation)
WF	: Su Ayak İzi (Water Footprint)
S	: Yüzey Nemi (Soil Humidity)
m	: Metre
m ³	: Metreküp
mm	: Milimetre
Ha	: Hektar

1. GİRİŞ

Mavi gezegen olarak adlandırılan dünyamızın %70'i sularla kaplıdır. Dünyada su varlığı kara varlığından fazla olsa da insanların ve diğer kara canlılarının çoğunun kullanabildiği su kaynaklarının çok küçük bir yüzdeyi oluşturduğu bilinmektedir. Bunun yanında kullanılabilir su kaynaklarının dünya üzerindeki dağılımı düzenli değildir. Bu durum dünyanın su varlığının aslında bilindiğinden daha az olduğunu göstermektedir. Ancak canlılar için hayati öneme sahip olan ve sınırsız bir kaynak olarak görülen tatlı su kaynakları zaman içinde tükenmekte, kirlenmekte ve gelecek kuşaklara aktarılamama riski ile karşı karşıya kalmaktadır.

18. yy' da sanayi devrimi ve nüfus artışı ile birlikte üretim artmış ve kaynaklara olan bağımlılık da buna bağlı olarak daha da artmıştır. Son yüzyılda dünya kaynakları hiç olmadığı kadar kullanılmakta ve birçok kaynak tükenme noktasına gelmektedir. Bu durum tükenme noktası ile karşı karşıya kalan su kaynakları için de geçerlidir. Su, yerine başka bir şeyin koyulamaması sebebiyle diğer çevre kaynaklarından farklıdır. Su canlı hayatı için önemli olduğu kadar, ekonomi içinde çok önemli bir kaynaktır. İlk çağlardan beri üretimin devam edebilmesi için su kaynaklarına ihtiyaç duyulmuştur. İlk medeniyetlerin su kıyılarına ya da suya yakın bölgelerde kurulmuş olması da bu durumun önemli bir göstergesidir. Örneğin, ilk medeniyetlere beşiklik eden Mezopotamya coğrafyası, önemli iki ırmağın arasında olması bölgede, sulu tarımın başlamasına ve ilk imparatorlukların oluşmasına neden olmuştur. Sulu tarımın başlaması suyun insanlık için öneminin daha da artmasına neden olmuştur.

Suya duyulan ihtiyacın artması su yönetimi konusunda farklı gelişmeleri de beraberinde getirmektedir. Örnek olarak Mısır'lılar Nil nehrinin taşkınlarını kontrol etmek için hesaplar yapmışlar ve bu hesaplamalar sayesinde geometri ve astronomi biliminin gelişmesi sağlanmıştır. Ayrıca geçmişten günümüze, su kaynaklarının yönetimi için farklı su yasaları ortaya çıkmıştır. Bu yasalarla birlikte su kaynaklarını korumak için farklı dönemlerde farklı yöntemler izlenmiş ve su yönetimi için kanunlar çıkarılmıştır.

Yukarıda da bahsedildiği üzere, endüstri devrimi ile küresel ekonomik sistemler çok güçlenmiş ve bu süreç çevresel sorunları ve tezin konusu olan su kaynakları açısından bir kırılma noktası olmuştur. Bu süreçte fabrika sayılarının artması nüfusun artmasına ve milyonluk şehirlerin oluşmasına neden olmuştur. Milyonluk şehirlerin oluşması ise çevre

üzerinde büyük etkiler oluşturarak çevresel sorunların yoğun bir şekilde artmasına neden olmuştur. İşte bu çevresel sorunların başında su kaynaklarının kirlenmesi ve kullanılabilir su kaynaklarının azalması gelmektedir.

Sanayi devrimi sonrası ekonomik gelişmeler yanında politik ve siyasi gelişmelerden dolayı iki dünya savaşı çıkmıştır. Bu politik ve siyasi gelişmeler çevre konularının ve su sorunlarının geri plana itilmesine neden olmuştur. İkinci Dünya Savaşı sonrası yani 20. yy'ın son yarısından itibaren dünya siyasetinde ki değişim ile birlikte çevre sorunları ve su sorunları üzerine çalışmalar başlamış, özellikle 1980'de bilişim sistemlerinin gelişmesiyle çevre sıkıntıları konusunda yapılan çalışmaların insanlar üzerinde bir algı oluşması sağlamıştır. Böylece çevre ve su kaynakları konusunda hükümetlere baskı kurulmaya başlanmış ve hükümetlerin bu konular hakkında çalışmalar yapması zorunlu kılınmıştır.

Bu kapsamda tezin ana konusu, su ayak izinin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak belirlenmesidir. Tez konusu olan su ayak izi kavramı, alt başlıklarda ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Tez kapsamında su ayak izi çalışmasının gerçekleştirilmesiyle, gerçekte kullandığımız suyun çok fazla olduğu görülmekte ve su kaynakları üzerindeki baskının ne kadar fazla olduğu anlaşılmaktadır.

1.1. Çalışmanın Anlamı

Son yüzyılda Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte, mevcut kaynaklar hızla tükenmektedir. Sanayi devriminin başlarında dünya nüfusu yaklaşık 1 milyar iken, 2019 yılında Birleşmiş Milletler (BM) tahminine göre nüfus 7,7 milyara çıkmış ve 2050 yılında nüfusun 9,7 milyara çıkacağı tahmin edilmektedir (UN, 2019). Nüfusun bu kadar artması kaynaklar üzerinde aşırı baskıya neden olmaktadır. Bu kapsamda insan nüfusunun hızla artması ve bununla birlikte sınırlı olan kaynakların sınırsız insan ihtiyaçlarını karşılama konusunda zorlanması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda nüfusun hızla arttığı düşünüldüğünde kaynakların kullanımının yönetimi konusunun önemi daha da artmaktadır.

Dünya'nın %70'lik kısmı sularla kaplıdır. Ancak bu su kütlesinin tamamı canlıların tüketimi için uygun olan tatlı su formunda değildir. Dünya'daki toplam suyun %2,6' si tatlı su kaynakları, geriye kalan % 97,4'lük kısmı denizler ve okyanusları oluşturan tuzlu su kaynaklarından oluşmaktadır. Bu %2,6' lik tatlı su kaynaklarının %90'ndan fazla

kısmı ise buzullarda yer almaktadır (DSİ, 2014). Bu rakamlara bakıldığında sınırsız bir kaynak olarak görülen suyun aslında sınırsız olmadığı anlaşılmaktadır.

Dünya üzerinde kişi başına düşen kaliteli su miktarı nüfusun artışıyla birlikte sürekli azalmaktadır; BM'nin 2017 raporuna göre 2,1 milyar insanın temiz suya erişimi olmadığı, 844 milyon insanın temel su içme hizmeti alamadığı ve 263 milyon insanın evlerine su sağlamak için uzak mesafelerden su taşımak zorunda kaldığı görülmektedir. Nüfusun yıllara göre giderek artmasıyla, Dünya'da yakın gelecekte daha fazla insanın su sıkıntısı çekeceği anlaşılmaktadır (BM, Rapor 2017). Bu durumların hepsi dikkate alındığında sürdürülebilir su yönetimi kavramının ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Uzun zamandır su yönetimi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Suyun gelecek kuşaklara en iyi şekilde aktarılması bu çalışmaların odak noktası olmuştur.

Sürdürülebilir su yönetimi için yapılan bu çalışmalardan en önemlisi su ayak izi çalışmalarıdır. Hoekstra tarafından ilk defa 2002'de gündeme getirilen su ayak izi kavramı; insanların tükettikleri suyun toplamının tahmin ettiklerinden çok olduğunu analiz edebilmelerini amaçlamaktadır. Su ayak izi kavramı ile alakalı 2002'den sonra birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarla birlikte sürdürülebilir su yönetimi tüm dünyada daha fazla ilgi görmeye başlamış ve ülkeler bazında bu konu daha fazla ciddiye alınmıştır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı; uzaktan algılama teknikleri kullanılarak, su ayak izi kavramı içerisinde yer alan bitki su ayak izini oluşturan girdilerin hesaplanması için bir yöntem sunmaktır. Sunulan bu yöntemin uygulanması için, ayrıca bitki su ayak izi hesaplamasında girdi olarak kullanılan gerçek evapotranspirasyon (ET) hesaplama yöntemleri hakkında kısa bilgi verilecektir. Bitki su ayak izi hesaplamak için sunulan yöntem, Türkiye genelini kapsayacak şekilde uygulanacaktır.

Uzaktan algılama verileri olan; ET, yağış ve nem verileri kullanılarak Türkiye geneli yeşil evapotranspirasyon (ET_y) ile mavi evapotranspirasyon (ET_m) haritası oluşturulacaktır. Bu haritalardan yararlanarak su ayak izi hesaplaması çok daha kolay olacaktır (SAİ). Oluşturulan bu haritala girdi olarak kullanılarak, bitkilerin ekim gününden hasat gününe kadar geçen sürede kullandığı, toplam SAİ hesaplama yöntemi

açıklanacaktır. Böylece uzaktan algılama verileri ile bitki SAI'nin hesaplanabileceği gösterilecektir.

Ayrıca oluşturulan SAI haritası ile toplam sulanan alan hesaplanabilecektir. Hesaplanan SAI haritası ile ekilen birçok bitkinin su ayak izi hesaplanması daha kolay olacaktır. ETy ve ETm haritası, indirilen CORINE (Coordination of Information on The Environment - Çevresel Bilgilerin Koordinasyonu) verileri kullanılarak, Türkiye'de bazı bitki türlerinin kullandığı toplam su hesaplanacak ve bitki bazında haritalar oluşturulacaktır. Ayrıca CORINE verileri kullanılarak toplam sulanan ve sulanmayan tarım alanları karşılaştırılacaktır, sulanan ve sulanmayan alanların haritaları oluşturulacaktır.

Yöntemin hesabında kullanılan teknikler, çalışmanın diğer kısımlarında ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Bu çalışma kapsamında, çalışmanın girdileri olarak kullanılabilen; toprak nemi, yağış ve yüzey akışı verilerin ne olduğu ve nasıl elde edileceği de kısaca açıklanacaktır.

1.3. Çalışmanın Önemi

Su ayak izi çalışmaları 2002' den beri devam etmektedir. Su ayak izinin bir kısmını bitki su ayak izi çalışmaları oluşturmaktadır. Bitki su ayak izi çalışmaları Su ayak izi çalışmalarına kıyasla daha yenidir. Bu çalışmaların yeni olmasından dolayı sınırlı sayıda literatür çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmanın kapsamında yer alan uzaktan algılama verileri ile bitki su ayak izi hesaplama çalışmaları ise çok daha kısıtlıdır. Türkiye'de ise uzaktan algılama verileri kullanarak bitki su ayak izinin hesaplanması konusunda hiçbir çalışma yapılmamıştır. Bu kapsamda yapılan bu çalışma Türkiye için bir ilk olma özelliği taşımaktadır. Ayrıca Türkiye'de hiç çalışma olmadığından konu hakkında tüm yabancı kaynaklar araştırılmış ve bu konuda bir literatür özeti oluşturulmuştur. Bu literatür özeti daha sonra Türkiye'de bitki su ayak izi hesaplama çalışması yapacak olan araştırmacılara yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

Ülkemizin coğrafi yapısı, iklim tipi ve toprak yapısındaki çeşitlilikler, her bölgenin şartlarına uygun ürünlerin yetiştirilmesine sağlamaktadır. Ülkemizde tarımsal üretimin doğal şartlara bağlı olması nedeniyle üretimde doğal koşullara göre farklılık olabilmektedir. Bu durum üretimdeki maliyetlerin artmasına ve gıda fiyatlarında sürekli değişime neden olmaktadır. Tarımsal üretimde doğal koşullara bağlı olması tarımsal

Üretim dalgalanmaların olması fiyatların etkilemesi ile tüketiciyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu dalgalanmaların olumsuz etkilerini azaltmak ve önlemek için yapılan çalışmanın, faydalı olabileceği düşünülmektedir.

1.4. Çalışmanın Sınırlılıkları

Bu çalışmanın bir örneğinin Türkiye için daha önce olmaması, çalışmayla alakalı bazı sınırlılıklar ve kısıtlamalar olmasına neden olmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Bu alışma, gerçek sulamayı tahmin için uzaktan algılama tekniklerini kullanmayı önermektedir. Ancak uzaktan algılama verilerinin kapsama alanı, uzamsal ve zamansal çözünürlüğü farklı olabildiğinden verilerin entegre edilmesinde sorunlar ortaya çıkarabilmektedir.
2. Kullanılan uzaktan algılama verilerinde zamansal çözünürlük açısından farklılıklar olabilmektedir. Bu durum, verilerin bitki su ayak izi hesabında zamansal yanlışlıklara neden olacaktır. Bu nedenle veriler aylık bazda toplanmıştır.
3. ET'nin hesabı bu çalışmanın ana girdisidir. Bu nedenle hassas bir ET haritası oluşturulması çalışmanın doğruluğunu arttıracaktır. Ancak çalışmanın geniş bir alanı kapsaması ET hassasiyetini düşürebilmektedir.
4. Çalışmada yer alan su deposu, toprak nemi, gibi verilerin ulusal düzeyde hesabının olmaması, bu verilerin elde edilmesi için farklı veriler kullanmayı gerektirmektedir. Bu çalışmada toprak nemi verisi farklı yöntemler kullanılarak indirilip düzenlenmiş, yüzey akışı verisi kullanılmamıştır.
5. Farklı kaynaklardan elde edilen parametreler, farklı yöntemlerle kombinasyonu tutarlılık sorununa yol açabilmektedir.
6. Çalışmanın Türkiye'de ilk olması yöntemin doğruluğunun denetlenmesi konusunda sınırlılıklar oluşturabilmektedir.

1.5. Literatür Araştırması

Su ayak izi, ilk defa 2002'de Twente niversitesinde görevli bilim insanlarından olan Hoeksta tarafından, su ayak izi ağı (Water Footprint Network) kavramı olarak ortaya atılmıştır. Ortaya çıktığı ilk andan itibaren kabul görmüş ve zamanla birçok bilim insanı tarafından araştırma konusu olmuştur. Uzaktan algılama ile su ayak izi hesabı ise uydu

görüntüleme tekniklerinin gelişmesi ile daha kullanılır hale gelmiş ve özellikle tarımsal alandaki su ayak izi hesaplamasında yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Aşağıda uzaktan algılama ile su ayak izi hesaplama çalışmaları hakkında bir literatür araştırması sunulacaktır.

Chen ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları çalışmada, uzaktan algılama verileri kullanarak buharlaşma transpirasyonunu haritalamak için dağıtılmış hidrolojik model önerisi sunmuşlardır. Model oluşturulurken, yağış, güneş radyasyonu, topografik parametreler, arazi örtüsü, yaprak alanı indeksi (Leaf Area Index, LAI) ve toprak özelliklerini modelde ana girdiler olarak kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda, yüksek alanlara yer alan ormanlık alanların genel olarak en yüksek ET'ye sahipken, mevsimsel olarak değişen sulak alanlar genellikle en düşük ET'ye sahip olduğu görülmüştür (Chen, vd.,2005).

Chapagain ve Hoekstra'nın 2008 yılında yaptıkları çalışmada, Uluslararası alanda yapılan ticaretin, 'sanal su' akışının artmasına neden olduğu anlatılmaktadır. Ayrıca çalışmada sanal suyu, bir ürünün üretmek için gereken toplam su hacmi olarak tanımlanmıştır. Ülkeler arasındaki sanal su miktarları ise, ihracatçı ülkedeki uluslararası ürün ticareti verileri ve ürün başına sanal su içeriği istatistikleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Ayrıca çalışmada, ticaretin küreselleşmesiyle birlikte küresel su bağımlılıkları ve denizaşırı su tüketiminin artmakta olduğunu söylemektedirler. (Chapagain, A. K., ve Hoekstra, A. .,2008).

Hoekstra ve Chapagain'in 2008 yılında hazırladıkları çalışmada, sürdürülebilir su yönetimi ve uluslararası ticaretin yerel su tüketimi üzerine araştırma yapmışlardır. Ayrıca bu çalışmada suya bağımlı ülkeler belirlenmiştir. Yine suya bağımlı ülkelerin karşılaştığı ve karşılaşacağı problemler belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada ticaret ve su tüketimi arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. (Hoekstra, A. Y., ve Chapagain, A. K. 2008).

Cai ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları çalışmada; çeşitli uzamsal, spektral ve zamansal çözünürlükte uydu verileri kullanılarak ürün sulama suyu verimliliğini hesaplamışlardır. Çalışma alanı olarak Hindistan'ın Hakra Command bölgesi seçilmiştir. Çalışma için; çeşitli uydu verileri, saha verileri (yüzey bitki varlığı durumu, toprak durumu, bitki hasat durumu) ve meteorolojik veriler kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda; mahsul tipi haritaları ve mahsul verim haritaları sunulmuştur (Cai vd. 2009).

Romaguera ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptıkları çalışmada bitkilerin su ayak izinin hesaplanmasında evapotranspirasyon, yağış, su depolama, yüzey akışı ve arazi verileri uzaktan algılama teknikleriyle ortaya çıkarılıp su ayak izi tahmininde kullanılmıştır. Uzaktan algılama verilerinin kaynağı tanımlanmış ve nasıl kullanıldıkları bir örnekle açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışmada ET, sulama suyu, toprakta depolanan su, yüzey akışı, bitki hasat özelliği, üretim verileri kullanılmıştır. Çalışma alanı olarak Mısır Nil Deltası seçilmiştir. Mısır bitkisi üzerinde örnek bir çalışma yapılmıştır (Romaguera, vd., 2010).

Siebert ve Döll 2010 yılında yaptıkları çalışmada; tarım ürünlerinin sanal su içeriğini hesaplamak için yeni küresel mahsul su modelini 26 ürün için geliştirmişlerdir. Veri olarak iklim ve toprak nemi verileri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, 26 tarım ürününü hesaplayan bir küresel mahsul su modeli sunmuşlardır. Yazarlar bu modelin sadece global değerlendirmede kullanılmasını tavsiye etmişlerdir (Siebert, S., ve Döll, P. 2010).

Hoekstra ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmalarında; su ayak izi ağı tarafından geliştirilen su ayak izi değerlendirmesi konusundaki küresel standardın eksiksiz ve güncel bir incelemesini sunmuşlardır. Su ayak izi değerlendirmesi için kapsamlı bir dizi yöntem sunmuşlar ve su ayak izinin bireysel süreçler ve ürünler için ve ayrıca tüketiciler, uluslar ve işletmeler için nasıl hesaplanabileceğini göstermişlerdir. Yaptıkları çalışma yeşil, mavi ve gri su ayak izlerinin nasıl hesaplanacağına dair ayrıntılı çalışılmış örnekler içermektedir. Bir nehir havzasında toplanmış su ayak izinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek ya da belirli bir ürünün su ayak izi ve oluşan su ayak izinin azaltılmasına katkıda bulunabilecek geniş kapsamlı olası tedbirler kütüphanesini içeren bir tabloda sunmuşlardır (Hoekstra, vd., 2011).

Mekonnen ve Hoekstra'nın 2011 yılında yaptıkları çalışmalarında; küresel bitki üretiminin yeşil, mavi ve gri su ayak izleri 1996- 2005 dönemleri arasındaki miktarlarını ölçmüşlerdir. Oluşturulan modele göre çıkan sonuç; 1999–2005 döneminde ürün üretiminin küresel su ayak izinin $7404 \text{ Gm}^3 \text{ yıl}^{-1}$ (% 78 yeşil, % 12 mavi ve % 10 gri) olduğu belirlenmiştir. Bu toplam hacimde en fazla payı buğday almıştır; $1087 \text{ Gm}^3 \text{ yıl}^{-1}$ (% 70 yeşil, % 19 mavi, % 11 gri) su tüketmiştir. Mahsul üretimi ile ilgili küresel ortalama yeşil su ayak izi $5771 \text{ Gm}^3 \text{ yıl}^{-1}$ olmuştur (Mekonnen, M. M., ve Hoekstra, A. Y. 2011).

Romaguera ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmalarında; sulanan alanları belirlemek, mavi buharlaşma transpirasyonunun ve alandaki sulama suyu miktarını belirlemek amacıyla bir yöntem önermişlerdir. Yöntem olarak Global Land Data Assimilation System (GLDAS) ve Meteosat Second Generation (MSG) uydularından elde edilen uzaktan algılama esaslı görüntüler kullanılarak gerçek evapotranspirasyon ve sulama suyu tespit etmişlerdir. Sonuçta gerçek değerler ve diğer çalışmalarla karşılaştırarak yöntemin değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir (Romaguera, vd., 2012).

Romaguera ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmalarında; bir bitkinin su ayak izi tahmininde su ayak izleri yeşil ve mavi su ayak izi bileşenlerine ayrılmış ve bitki su ayak izinin bu iki unsurun ayrı ayrı hesabının toplamı olduğu belirtmişlerdir. Bitkinin su ayak izinin tahmini için toprak gözlem verisi analizini, yağış, toprak nemi, buharlaşma, terleme, akıntı ve su depolaması model simülasyonlarını analiz ederek bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem sonucunda, su ayak izinin yeşil ve mavi bileşenlerinin uzaktan algılama verileri ve arazi yüzey modeli tahminleri kullanarak küresel ölçekte kullanılabileceği göstermişlerdir (Romaguera, vd., 2012).

Romaguera ve arkadaşları 2014 yılında yaptıkları çalışmalarında; tarımda sulama uygulamalarını aylık olarak izlemek için uzaktan algılama ve arazi yüzey modellemesinden yararlanarak gerçek ET ve sulu tarımdaki mavi su ET'yi tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışma alanı olarak Afrika Boynuzu ve Sichuan eyaleti (Çin) seçmişlerdir. Çalışmada; gerçek ET, arazi örtüsü, net radyasyon, normalleştirilmiş fark indisi, yağış ve sulama kaynağı kullanmışlardır. Çalışmanın sonucu olarak: Afrika boynuzunda nemli geçen 2005 yılda 21 milyar m³, kurak geçen 2006 yılda 10 milyar m³ mavi su ET bulmuşlardır. Çin'de ise 200 milyar m³ yeşil su ET, 400 milyar m³ mavi su ET tespit etmişlerdir. Ayrıca sonuçların daha fazla veri ile daha uzun zaman diliminde olması gerektiğini belirtmişlerdir (Romaguera, vd., 2014).

Toulios ve arkadaşları 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında uzaktan algılama verileri kullanılarak bir mahsulün mavi ve yeşil su ayak izini hesaplamışlardır. Çalışma alanı olarak Avrupa kıtası seçilmişlerdir. Çalışmada veri olarak; yağış, toprak nemi, kar örtüsü özellikleri, evapotranspirasyon, vejetasyon hali ve stres verileri kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda; mahsullerin mavi ve yeşil su ayak izleri tespit etmişlerdir (Toulios, vd., 2015).

Velpuri ve Senay'ın 2016 yılında yaptıkları çalışmalarında; ET'yi yeşil ve mavi su olarak ayırmak için bir metodoloji geliştirmişlerdir. Metodoloji için kullanılan parametreler; yağış, sulama ve yeraltı suyudur. Sonuç olarak kullanılan girdi verilerde çoğu ağaç sınırı için düzenlenmiş ve çıkan sonuçlarla birçok ağacın mavi ve yeşil su ET'sini ortaya çıkarmışlardır (Velpuri, N. M., & Senay, G. B. 201).

Chu ve arkadaşları 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında; Kuzey Çin Ovası farklı tarım ürünlerinin ve tarım ürünü yapılarının su tüketimini tahmin etmek için Hebei ovasının güneyini çalışma alanı olarak belirlemişlerdir. Çalışmada, tarım ürünlerinin yeşil, mavi ve gri su ayak izi ile yıllık değişimlerini tespit etmeye çalışmışlardır. Ürünlerin su ayak izini bulmak için, günlük maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem, yağış, güneş ışığı süresi, buhar basıncı ve atmosferik basınç verileri kullanmışlardır. Sonuçta: Pamuk bitkisinin yeşil ve mavi su ayak izi hesaplamışlar ve ayrıca yıllara göre değişimlerini izlemişlerdir (Chu, vd., 2017).

Gobin ve arkadaşları 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında; bitkinin mavi, yeşil ve gri su ayak izini tespit etmek için Gıda ve Tarım Örgütü'nün (Food and Agriculture Organization, FAO) su dengesi modeli olan "Aquacrop"u tarla düzeyinde kalibre etmişler ve 1992-2012 dönemleri arasında Avrupa'da 45 lokasyonda çalışma yapmışlardır. Çalışmada; iklim, toprak ve bitki verilerini kullanmışlardır. Sonuçlar, su ayak izinin Avrupa su yönetimini destekleyebilecek ölçülebilir bir gösterge sağladığını göstermiştir (Gobin, vd., 2017).

Symeonidou ve Vagiona, 2019 yılındaki çalışmalarında; Rodos adasındaki tüm ana mahsullerin su ayak izlerini hesaplamışlardır. Bu ürünlerin su ayak izleri CROPWAT 8.0 yazılımı kullanılarak yağmur suyu ile yetişen ve sulama yapılarak yetişen mahsullerin ayrımı yapılmıştır. Veri olarak, iklim ve toprak verileri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda; yağmur ve sulama suyu ile beslenen zeytinlerde yüksek su ayak izi, alanda en çok yetiştirilen sert ve yumuşak buğdayda ise düşük su ayak izi olduğu gösterilmiştir (Symeonidou, S., ve Vagiona, D. 2019).

Hoekstra, 2019 yılında yaptığı çalışmada; toprak tabakası ve bitkiler üzerinde ki yeşil ve mavi su ET'nin günlük olarak hesaplamak için yeşil ve mavi buharlaşma (Evaporasyon, E) ile yeşil ve mavi terlemeyi (Transpirasyon, T) ayırt etmek gerektiği üzerinde durmuşlar ve çalışma sonunda genel ve fiziksel tabanlı bir yöntem önermişlerdir.

Önerilen yönteme göre: “Bir günde toprak veya bitki tabakası bırakarak tüm su akışlarının yeşil ve mavi su gruplarını o gün boyunca bu toprak veya bitki tabakası ortalama yeşil ve mavi su gruplarına bağlıdır. Bu yöntem, sulama verimliliğinin (mavi su transpirasyonunun uygulanan sulama suyuna oranı) doğru bir şekilde değerlendirilmesini ve mahsul üretiminin yeşil ve mavi su ayak izlerinin kesin olarak tahmin edilmesine (yeşil ET veya mavi ET oranı) olanak sağlamaktadır” demektedir (Hoekstra, 2019).

Bu tez çalışmasının da konusu olan ve su ayak izinde çok önemli bir parametre olan ET hesaplaması; uzun yıllardır üzerinde çalışma yapılan bir konudur. İlk başta potansiyel ET'nin hesaplanması için çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları FAO-Penman, Thornwait ve Blaney-Criddle gibi yöntemlerdir. Gerçek ET hesabında ise yukarıda bahsedildiği gibi farklı metodlar kullanılmaktadır. Günümüzde teknolojik gelişmelerle birlikte daha doğru hesaplamalar yapılmaktadır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölüm kapsamında çalışmada kullanılan başlıca temel kavramlar hakkında bilgilere yer verilecektir.

2.1. Su Ayak İzi Kavramının Ortaya Çıkışı ve Gelişimi

Sürdürülebilirlik terimi tanım olarak üretim ve çeşitliliğin devamlılığı sağlanırken insanlığın yaşamının daimi kılınabilmesi” olarak tanımlanmaktadır (Keeple, B., R.,1988).

Sürdürülebilirlik kavramı ilk olarak 1972 yılında Stockholm’de yapılan İnsan Çevresi Konferansında ortaya atılmıştır. Daha sonra 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından bildirilen “Brundtland Raporu” yayımlanmış ve kavram günümüze kadar yaygınlaşarak gelmiştir. Raporda sürdürülebilirlik kavramı ve ekonomik gelişim üzerinde durulmuştur. Bu rapordan sonra, 1992 yılında Rio De Jenario’da düzenlenen “Yeryüzü Zirvesi’nde” günümüzdeki birçok zirve ve konferanslarla kavramın tanıtılması ve yaygınlaşması sağlanmıştır.

Su ayak izi kavramı sürdürülebilirlik kavramı çerçevesinde ortaya çıkmış ve ilk defa kavram Hoekstra tarafından dile getirilmiştir. Hoekstra su ayak izi kavramını; “sadece bir tüketici veya üreticinin doğrudan su kullanımı değil, aynı zamanda dolaylı su kullanımını da içeren toplam tatlı su kullanımı” olarak ifade etmektedir (Hoekstra, A. Y. 2003). Bu tanımdan anlaşılacağı üzere, su ayak izi aslında tüm üretim ve tüketim aşamalarındaki suyu ifade etmektedir.

Su ayak izi kavramı çok geniş bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Birim zamanda kullanılan suyun (terleme ve buharlaşma da dâhil) ve kirlatilen suyun tamamı olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca suyun coğrafi olarak kullanım bölgelerini de ifade etmektedir.

Hoekstra’ya göre su ayak izi kavramı “temiz su kaynaklarının insanoğlunun etkisiyle yani tüketimiyle ilişkili olduğu kabul edilerek, su sıkıntısı ve kirliliği konusunun incelenmesinde üretim ve tüketim sırasındaki kullanılan toplam suyun incelenmesi ile anlaşılacağını” ifade etmektedir (Hoekstra, vd., 2009). Burada ifade edilmek istenen, bir ürünün üretim sürecinde kullandığı ve tüketim sırasında kullandığı tatlı suyun toplamını ifade eden ürünün su ayak izini oluşturmaktadır.

Su ayak izi içerisinde önemli olan kavram ise tarımsal üretimdeki su ayak izidir. İnsanlık için önemi hiç bitmeyecek olan tarımsal üretim, bölgelerin coğrafi yapısına ve

iklim şartlarına göre farklılık göstermektedir. Tarım sektörü gıda ihtiyacını temin etmek açısından çok önemli bir sektör olmaktadır. Bundan dolayı su tüketimi en fazla sektör olarak ortaya çıkmaktadır. Tarımsal sektörün vazgeçilemez olması nedeniyle sulama konusunda su tasarrufu sağlayan yöntemlerin geliştirilmesi gelecek kuşaklar için büyük önem taşımaktadır.

Bu açıklamalar ile Hoekstra bazı ürünlerin su ayak izini hesaplamış ve bu hesaba göre ilginç ve alışılmışın dışında farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Buna göre, bir kilogram sığır eti üretmek için 16 bin L, bir fincan kahve üretmek için 140 L suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu örnekler gibi Hoekstra günlük hayatta kullandığımız birçok ürünün su ayak izini hesaplamıştır. Aşağıda örnek bir tablo gösterilmektedir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Bazı ürünlerin sanal su içerikleri (Chapagain ve Hoekstra, 2004)

Ürünler	Su Ayak İzi İçeriği (Litre)
1 Tane A4 Kağıdı (80 g/m ²)	20
1 Mikroçip (2 g)	32
1 Fincan Çay (250 ml)	35
1 Dilim Ekmek (30 g)	40
1 Yumurta (40 g)	135
1 Fincan Kahve (125 ml)	140
1 Bardak Portakal Suyu (200 ml)	170
1 Patates Cipsi (200 g)	185
1 Bardak Elma Suyu (200 ml)	190
1 Bardak Süt (200 ml)	200
1 Kg Patates	250
1 Kg Portakal	500
1 Porsiyon Beyaz Et (200g)	780
1 Tane Pamuklu T-shirt (250 g)	2000
1 Hamburger (150 g)	2400
1 Porsiyon Kırmızı Et (200g)	3100
1 Çift Deri Ayakkabı	8000
1 Kg Kahve Çekirdeği	21000

Su ayak izi geniş bir konu olmakla birlikte tezin konusuyla alakalı olarak, su ayak izini oluşturan bazı temel kavramlar aşağıda açıklanmıştır.

2.2. Sanal Su

Sanal su kavramı ilk defa 1990'ların başında Prof. Dr. J.A. Allan tarafından ortaya atılmıştır. Kavramın ortaya çıkmasının nedeninin, Ortadoğu ülkelerinde yaşanan su kıtlığı sorununa çözüm sunabilmek olduğu bilinmektedir. Profesör Allan, su sorunları ile tarım, iklim değişikliği, ekonomi ve siyaset gibi anahtar kavramlar arasında nasıl bir bağ olduğunun gelişmesine öncülük etmiş ve insanların yalnızca su içerken veya duş alırken su tüketmediklerini, gıda ve tüketim ürünlerinin ticaretinde gömülü bir "sanal su" bulunduğunu ifade etmiştir (Allan, 1994).

Hoekstra ise sanal su kavramını: “Bir ürün veya hizmetin üretim sürecinde ihtiyaç duyulan temiz su” olarak tanımlanmakta ve aynı zamanda "gömülü su" veya "dış kaynaklı su" olarak da adlandırmaktadır (Hoekstra, 2003). Hoekstra sanal su kavramı hakkında daha açıklayıcı olabilmek için, bazı ürünler üzerinden örnekler de vermiştir. Örneğin; 1 kg buğday üretmek için 1000-2000 kg suya, 1 kg peynir üretmek için 5000-5500 kg suya ihtiyaç olduğunu belirtmiştir (Chapagain, vd.,2005). Bu bağlamda bir ülke başka bir ülkeye bir ürün ihraç ederse aslında üründe kullanılan suyu da ihraç etmiş olmaktadır. Aynı şekilde ithal ederse suyu da ithal etmektedir. Bu durumda sanal su kavramı ülkelerin kullandığı toplam suyu ortaya çıkarmakta kullanılmaktadır.

2.3. Yeşil Su Ayak İzi

Yeşil su ayak izi bitkiler tarafından tutulan ve sonra buharlaşma ile tekrar döngüye aktarılan ve tüm yağışlardan gelen suyu ifade etmektedir. Yağışlarla birlikte toprak suya doyar ve bu suyun bir kısmı buharlaşır (evaporasyon) bir kısmı ise bitkiler tarafından kullanıldıktan sonra terleme (transpirasyon) yoluyla tekrar döngüye bırakılmaktadır. Bu döngü içerisindeki toplam su miktarı da yeşil su ayak izi olarak ifade edilmektedir. Yeşil su ayak izi genellikle ormancılık bahçe ve tarla tarımı ile ilgilidir.

Yeşil su ayak izi, yeşil su denilen yağışlardan elde edilen bahçe veya tarlada kullanılan su olduğundan genellikle insan kullanımının yoğun olduğu bileşen olarak görülmektedir. Yeşil su ayak izi, yeraltı suyunu kullanmayan veya yeniden yeraltı suyuna eklenmeyen ancak toprakta depolanan veya geçici olarak toprağın veya bitki örtüsünün üzerinde kalan yağışları ifade etmektedir. Yeraltı sularına karışmayan yağışın bu kısmı

bitkilerde buharlaşır. Yeşil su, mahsul büyümesini verimli hale getirebilmektedir. Ancak tüm yeşil su mahsul tarafından alınamaz, çünkü her zaman topraktan buharlaşma olacaktır ve yılın tüm dönemleri veya alanları mahsul büyümesi için uygun değildir (Hoekstra, vd.,2009).

2.4. Mavi Su Ayak İzi

Mavi su ayak izi yeraltı suyu ve yüzey suları tarafından elde edilen suyu ifade etmektedir. Tarımsal üretimde ise mavi su yüzey suyundan ya da yeraltı suyundan yararlanarak büyüyen ve büyüme esnasında bünyesindeki suyun terleme yoluyla buharlaştırdığı (transpirasyon) suyu ifade etmektedir.

Tüketiciler tarafından kullanılan mavi su, “Tüketici su kullanımı” olarak ifade edilmektedir. Tüketici su kullanımı aşağıdaki dört durumdan birini ifade etmektedir:

- Yeryüzüne yağış olarak düşen su buharlaşır;
- Ürün yetiştirme döneminde büyüme için su kullanır ve ürünün bünyesine su katılır;
- Yağışla birlikte su aynı toplama alanına geri dönmez, (Örneğin başka bir havza alanına veya denize deşarj edilir);
- Buharlaşma ve terlemeyle ortamdan uzaklaşan su aynı sürede geri gelmez, (Örneğin, yağışın az olduğu bir dönemde geri çekilir ve yağışın fazla olduğu bir dönemde geri döner.).

Tüm bileşenlerin ortaya çıkmasını sağlayan buharlaşma su ayak izi için önemlidir. Bu nedenle, çoğu zaman tüketim kullanımının buharlaşma ile aynı olduğu görülebilmektedir ve üç bileşen için buharlaşma kullanılabilir.

“Tüketici su kullanımı” tüm suyun kaybolduğu bir daha geri dönmeyeceği anlamına gelmez, çünkü yeryüzündeki suyun çoğu döngü içerisinde kalır ve daima bir yere geri dönmektedir. Su yenilenebilir bir kaynaktır, ancak bu kullanılabilirliğinin sınırsız olduğu anlamına gelmemektedir. Belirli bir dönemde, yeraltı suyu rezervlerini besleyen ve bir nehirde akan su miktarı her zaman belirli bir miktarla sınırlı olmaktadır. Nehirlerdeki ve akiferlerdeki sular sulama, endüstriyel ve evsel amaçlar için kullanılabilir. Ancak belli bir dönemde mevcut olandan daha fazla su tüketilememektedir. Mavi su ayak izi, belirli bir dönemde mevcut olan su miktarını ölçmektedir. Bu şekilde, insanlar tarafından tüketilen mevcut mavi su miktarının bir

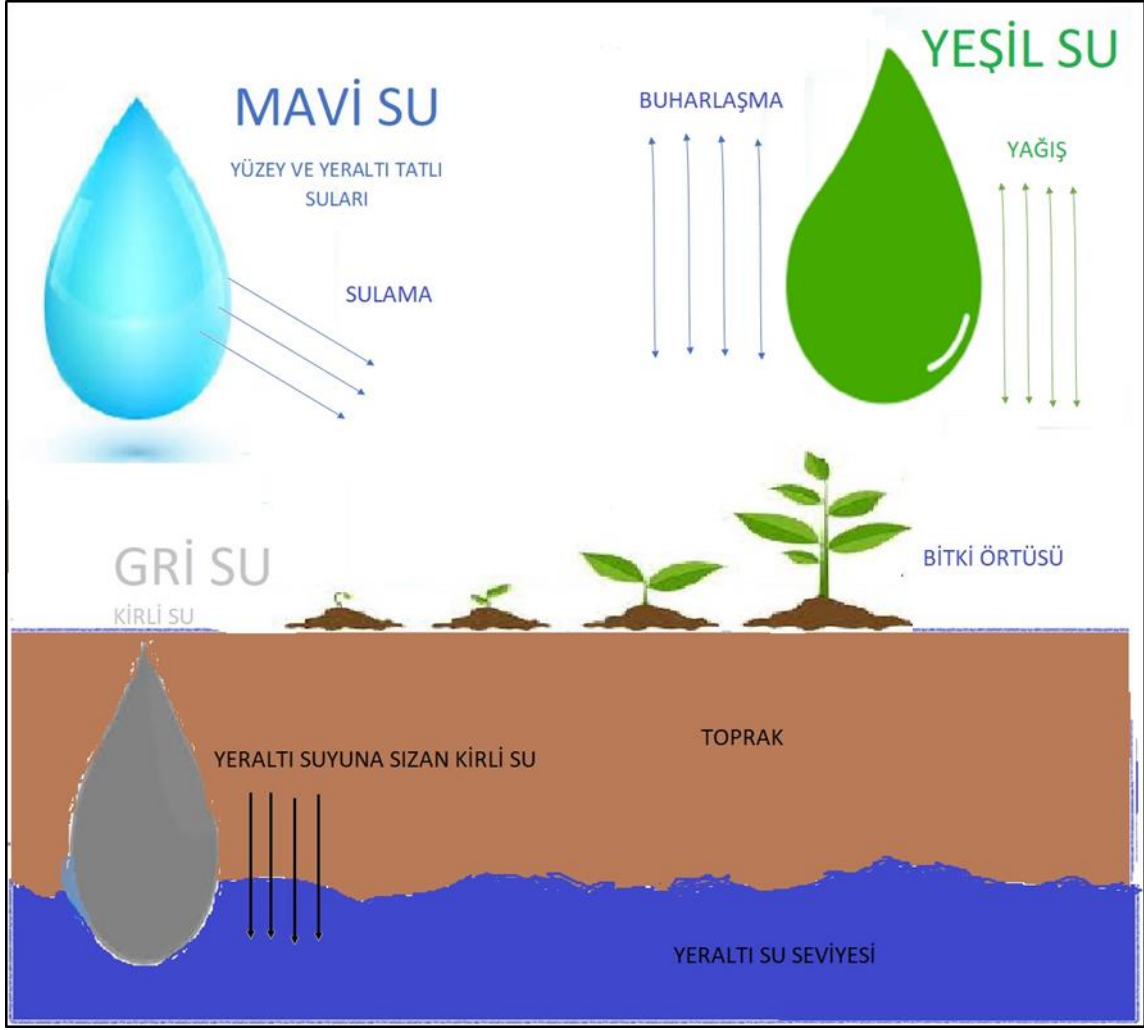
ölçüsünü sağlamaktadır. Kalan, yeryüzü ve yüzey suları insani amaçlarla tüketilmez, yer ve yüzey suyu akışlarına bağlı ekosistemleri sürdürmek için bırakılmaktadır (Hoekstra, vd.,2009).

2.5. Gri Su Ayak İzi

Bir üretim sürecinde gri su ayak izi, üretim adımı esnasında kullanılan tatlı su kirliliğinin derecesinin bir göstergesidir. “Mevcut ortam suyu kalite standartlarına göre kirlleticilerin yükünü asimile etmek için gerekli olan tatlı su hacmi olarak tanımlanmaktadır”. Üretim yapılırken kullanılan tatlı suyun kirlenmesine neden olan kirleticileri, ortamdaki suyun kalitesi üzerinden değerlendirmektedir. Yani ortamda mevcut tatlı su kalitesinin standartların üzerinde kalacak şekilde seyreltmek için gereken su hacmi olarak hesaplanmaktadır.

Gri su ayak izi, bileşenler içerisinde kirliliği gösteren bir göstergedir. "Gri su ayak izi" terimi ilk kez Hoekstra ve Chapagain tarafından ortaya atılmıştır (Hoekstra, vd.,2009).

Su ayak izini oluşturan parametreler aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 2.1.)



Şekil 2.1. Su ayak izi bileşenleri

2.6. Meteorolojik Parametreler

Su ayak izi çalışmalarında meteorolojik parametreler çok önemlidir. Su ayak izi hesabında meteorolojik parametrelerden, yağış ve ET verilerinden yoğun bir şekilde faydalanılmaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada iki parametreden bahsedilecektir.

2.6.1. Yağış

Yağış atmosfer içerisinde meydana gelen, buharlaşma (evaporasyon) ve terleme (transpirasyon) ile atmosfere çıkan su buharının buradan tekrar katı ya da sıvı halde yeryüzüne düşmesidir. Burada sıvı şeklinde düşen yağış yağmur şeklindedir, katı halde düşen yağış ise kar şeklindedir. Yağmur ve kar ikisi de meteorolojik parametrelerin en önemlileridir. Bu iki yağış türü arasındaki fark ise yağmurun hemen toprak nemini etkilemesi ve nem fazlası olan kısmın akışa geçmesidir. Kar ise derhal depolara katılmaz, depolara katılması uzun bir süre alabilmektedir (Okman, C. 1994).

2.6.2. Evapotransprasyon (ET)

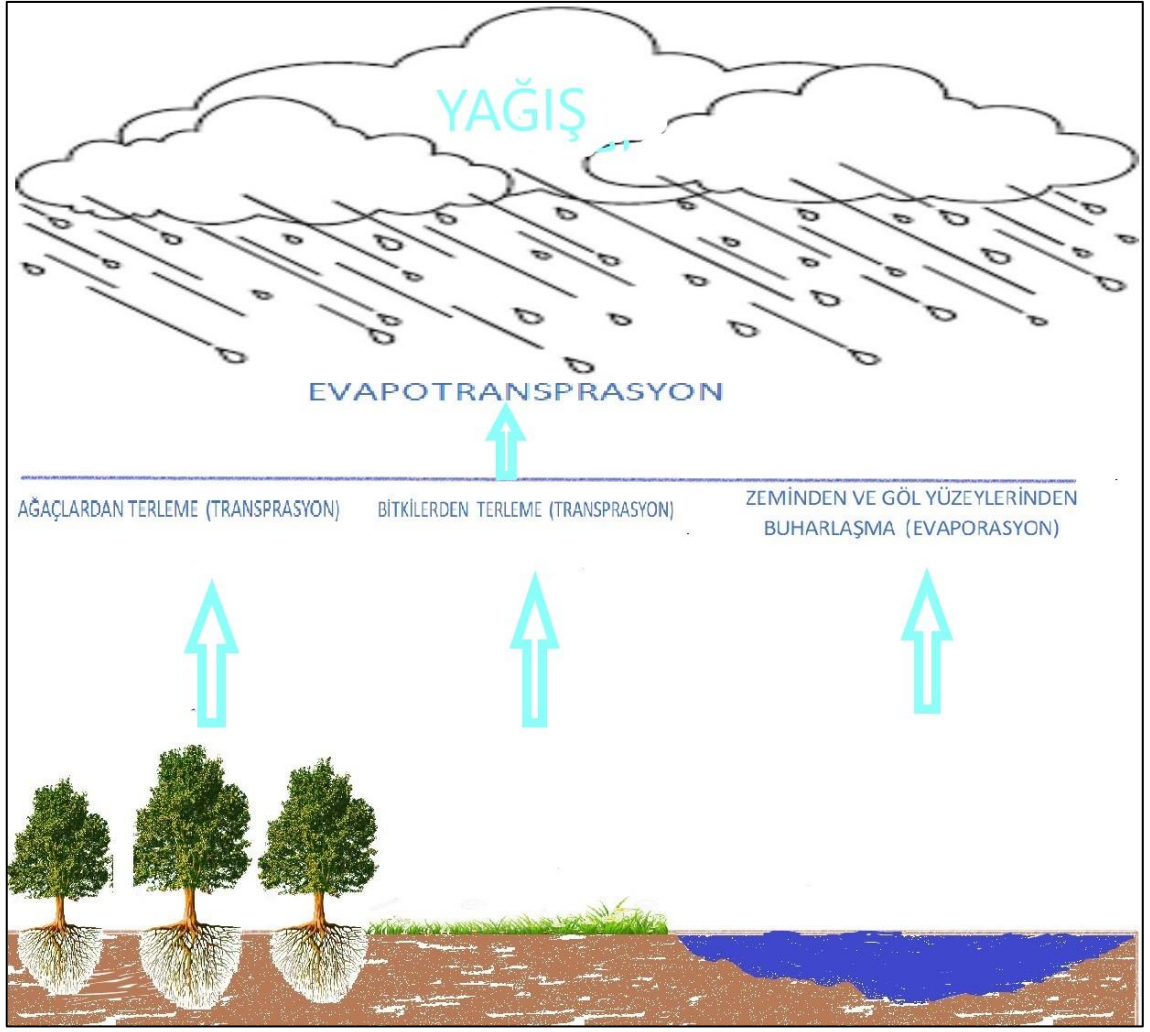
Belirli bir bölgede terleme (bitkilerde meydana gelen terleme) ve buharlaşma (zeminden, su yüzeylerinden ve kar örtüsü üzerinden) ile meydana gelen kayıplara evapotransprasyon adı verilmektedir.

ET iki türlü olarak hesaplanmaktadır. Bunlardan birincisi potansiyel evapotranspirasyon hesabıdır. Her zaman yeterli zemin nemi bulunduğu takdirde meydana gelecek olan kayıp potansiyel evapotranspirasyon olarak adlandırılır ve bu ET FAO-Penman, Blaney-Criddle gibi tekniklerle hesaplanabilmektedir. İkinci olan gerçek evapotransprasyon ise mevcut zemin nemi ile sınırlıdır. Bundan dolayı zeminde nem yoksa terleme ve buharlaşma olmayacağından ET da olmamaktadır.

ET hesabı uzun zamandır farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Arazide ET, lizimetreler kullanılarak hesaplanabilmektedir. Arazide ET hesabı dar bir alan kapsamı ve zaman alması dolayısıyla çok verimli olamamaktadır. Bundan dolayı günümüzde uzaktan algılama teknikleri kullanılarak hesaplama teknikleri geliştirilmiştir.

Uzaktan algılama verileri kullanılarak hesaplamada bazı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; SEBAL (The Surface Energy Balance Algorithm for Land - Arsa yüzey enerji dengesini Algoritması), METRİK (Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration - Dahili Kalibrasyonla Buharlaşmayı hesaplamak için Uydu Tabanlı Enerji Dengesi Modeli) gibi yöntemlerdir (Okman, C. 1994).

Aşağıdaki çizimde meteorolojik parametreler gösterilmiştir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Meteorolojik parametreler

2.7. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama konusunda günümüze kadar birçok tanım yapılmıştır. Bunlar arasında “Uzaktan algılama, arada mekanik bir temas olmaksızın bir cisimden yayılan veya yansıtılan elektromanyetik ışının nitelik ve nicelik yönünden değerlendirilmesi ile cismin özelliklerinin uzaktan ortaya konması ve değerlendirilmesidir” en çok kullanılandır. Uzaktan algılama teknolojilerinin özünde nesneden yayılan ışının kullanılması olduğu görülmektedir.

Uzaktan algılama teknolojileri, uzun yıllardır insanlığın hizmetindedir. Kullanılan ilk fotoğraf makinesi aslında ilk uzaktan algılama çalışması olarak görülebilmektedir. İlk fotoğraf makinesinin kullanılması ile birlikte, 1800’lü yılların ortalarında hava balonları kullanılarak yeryüzünün fotoğrafları çekilmeye çalışılmıştır. Hatta 1903 yılında Julius Neubronner tarafından bir güvercine kamera takılarak yeryüzünün fotoğrafları

çekilmiştir. Bunun yanında savaşlar uzaktan algılama çalışmalarının gelişmesini sağlamıştır. 1. ve 2. Dünya savaşlarında özellikle uzaktan algılama çalışmaları ile düşman hatlarının içlerine girilmeye çalışılmıştır. Uzaktan algılama konusunda ilk teknolojik çalışmalar 2. Dünya savaşı sırasında Almanlar tarafından geliştirilen V2 roketlerine takılan otomatik fotoğraf makineleridir. Bu makineler uzaktan algılama konusunda çığır açan bir gelişme olmuştur. 2. Dünya savaşıdan sonra, soğuk savaş döneminde Rusya tarafından 1975 yılında geliştirilen ve yörüngeye gönderilen SPUTNİK uydusu dünyada uzaktan algılama çalışmalarının hızlanmasını sağlamıştır. Bu tarihten sonra özellikle Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Rusya'nın silahlanma yarışı uzaktan algılama çalışmalarını olumlu etkilemiş ve birçok uydu yörüngeye gönderilmiştir. 1960 ile 1972 yılları arasında Amerika corona programı çerçevesinde ilk keşif amaçlı uydular görüntü almak için yörüngeye gönderilmiştir. 1972 yılında çığır açan diğer bir gelişme olan SKYLAB ve LANDSAD sistemleri yörüngeye gönderilmiş ve ilk defa yeryüzünün operasyonel olarak görüntüleri alınmaya başlanmıştır.

3. MATERYAL METOD

Tezin bu bölümünde; çalışma alanı, kullanılan veriler, verilerin elde edildiği yerler ve çalışmada kullanılacak yöntem ayrıntılı şekilde anlatılacaktır.

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak tüm Türkiye seçilmiştir. Analizler tüm Türkiye üzerinde gerçekleştirilecektir (Şekil 3.1)

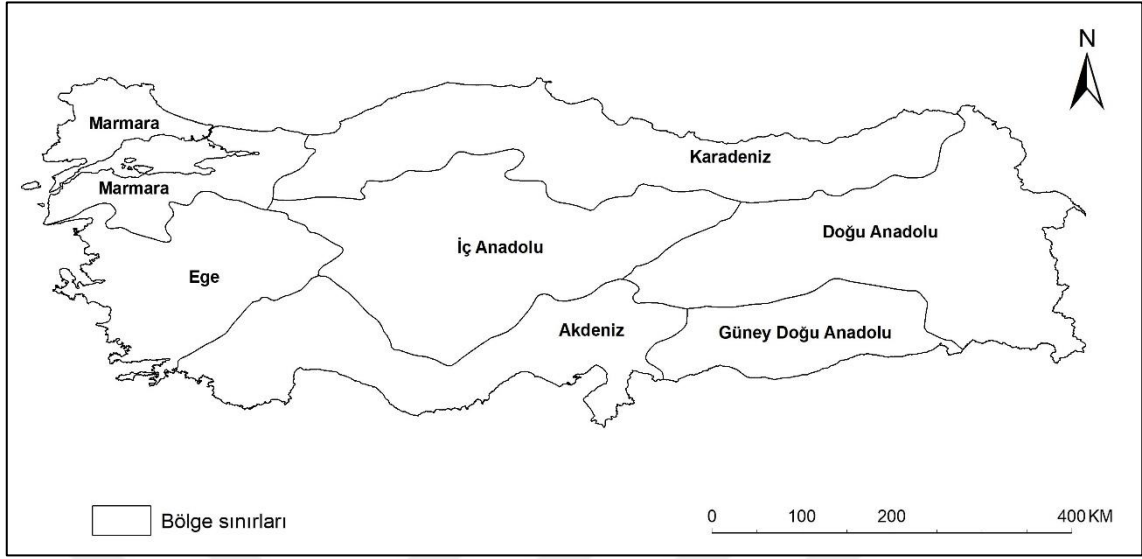
Türkiye, topraklarının büyük bir bölümü Anadolu'da, küçük bir bölümü ise Balkan Yarımadası'nın güneydoğusunda yer almaktadır. Böylece hem Asya'da hem de Avrupa'da toprakları vardır. Bu durum sayesinde Asya ve Avrupa kıtaları arasında bir geçiş konumunda olmaktadır.

Türkiye toprakları kabaca bir dikdörtgen şeklini andırır, 1.600 km uzunluğunda ve 800 km genişliğindedir. Gölleriyle birlikte 783.562 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Bunun 755.688 km²'lik kısmı Asya topraklarını oluştururken, geriye kalan 23.764 km²'lik kısmı Avrupa topraklarını oluşturmaktadır. Bu rakamlarla, yüzölçümü açısından dünyanın en büyük 37. ülkesidir (Http 1).

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili, önemli iki boğaza sahip, jeopolitik olarak önemli bir konumda yer almaktadır. Ayrıca 36°42° kuzey paralelleri ve 26°45° doğu meridyenleri arasında yer almaktadır. Matematiksel olarak bu konumda yer alması, iklimsel olarak orta kuşakta olmasını sağlamıştır. İklimsel olarak orta kuşakta yer alması, dört mevsimin belirgin olarak yaşanmasına neden olmaktadır.

Türkiye'de 3 ana iklim görülmektedir. Bunlar: Akdeniz ve Ege denizi kıyılarında Akdeniz iklimi, Karadeniz kıyılarında Karadeniz iklimi, denizden uzak iç kısımlarda ise karasal iklim özellikleridir. Farklı iklimlerin yaşanması Türkiye'de bölgesel olarak farklı türde bitki örtüsünün olmasını ve yine farklı türde tarım ürünlerinin yetişmesini sağlamaktadır.

Doğal kaynaklar olarak kendi kendine yetebilecek bir özelliğe sahip olan Türkiye, su kaynakları bakımından ne çok zengin, ne de su fakiri konumda olan bir ülkedir. Su kaynakları ülkede homojen dağılmadığından, bölgesel olarak tarımsal ürünlerde farklılık göstermektedir. Sulama probleminin olmadığı bölgelerde daha çeşitli tarım ürünleri yetişirken, su sıkıntısı çeken özellikle iç kısımlarda tarımsal çeşitlilik çok azalmaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma alanı

3.2. Çalışmada Kullanılan Veriler

Çalışmada; yağış, evapotranspirasyon ve yüzey nemi verisi kullanılmıştır. Kullanılan verilerle alakalı ayrıntılı bilgi aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Yağış

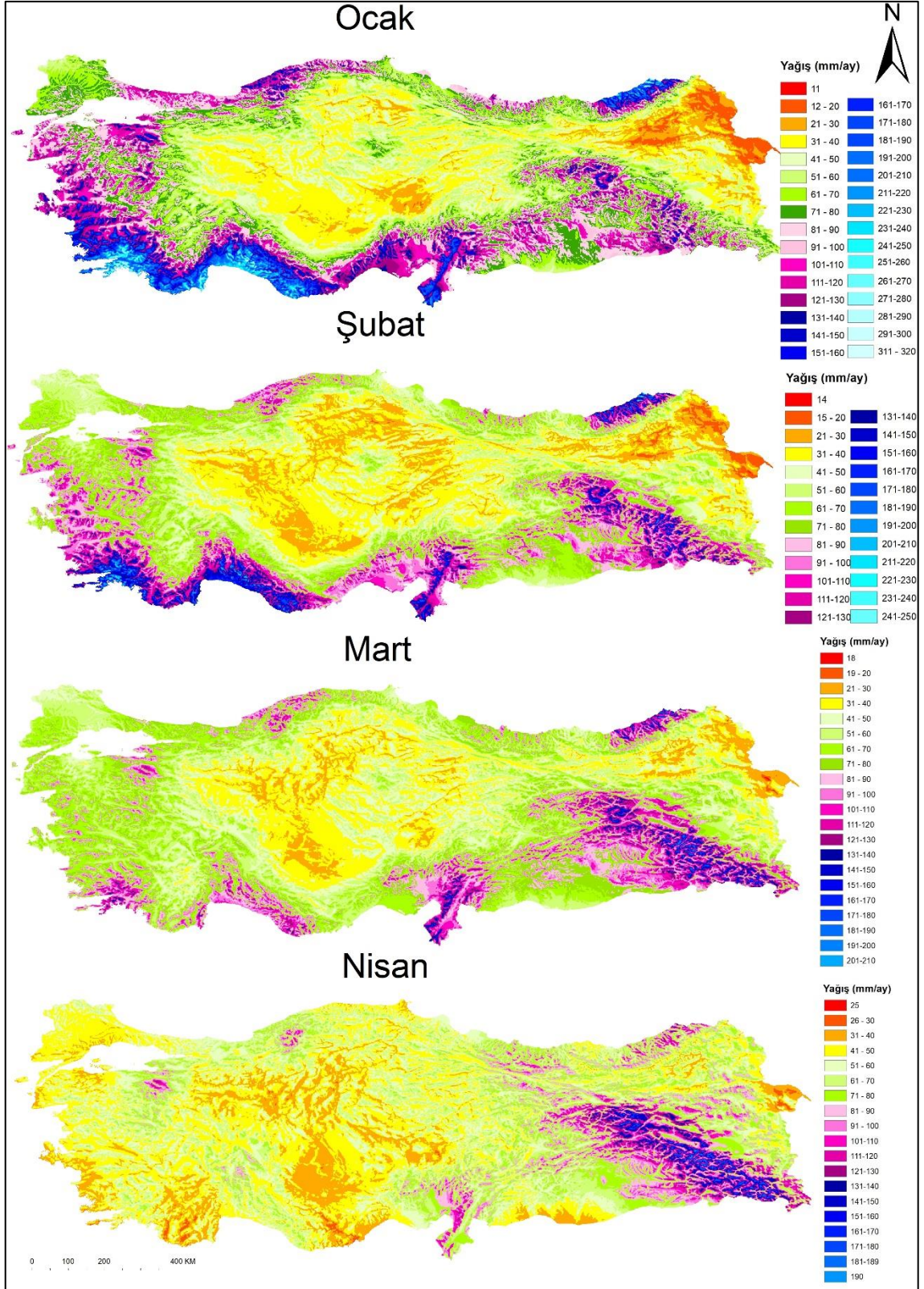
İklimsel veriler içerisinde en önemlisi olan yağış verileri küresel ölçekte birçok uydu görüntüsü ile tahmin edilebilmektedir. Küresel yağışlarla ilgili uzaktan algılama verileri, ekvatorda 8 km'lik bir çözünürlükle her 30 dakikada bir küresel yağış tahminleri üreten İklim Tahmin Merkezi (CPC) Morphing Technique (CMORPH) gibi farklı kaynaklardan elde edilebilmektedir. Bu teknik, yalnızca düşük yörüngeli uydu mikrodalga (MW) gözlemlerinden elde edilen yağış tahminlerini kullanmaktadır. Jeostationer uydulardan alınan, daha yüksek zamansal çözünürlüğe sahip kızılötesi (IR) bilgileri bulut hareket vektörlerini almak için kullanılmaktadır. Çökelme değerleri daha sonra bulutların hareketine göre zaman içinde enterpolasyon yapmaktadır. Diğer bir kaynak, her $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ piksel (ekvatorda yaklaşık 30 km) için altı saatlik aralıklarla yağış oranını tahmin etmek için yapay ağları kullanan Yapay Sinir Ağları (PERSIANN) sistemi kullanılarak uzaktan algılanan bilgidен yağış tahminidir (Romaguera, vd, 2010).

Bu tez çalışmasında kullanılan küresel yağış verileri aylık olarak CPC Kıtlık Erken Uyarı Sistemi Ağı (Famine Early Warning System Network, FEWS-NET) veri arşivinden elde edilmiştir. Çalışma öncesinde Meteosat-9 ET değerleri, LSA-SAF'dan 30 dakikalık

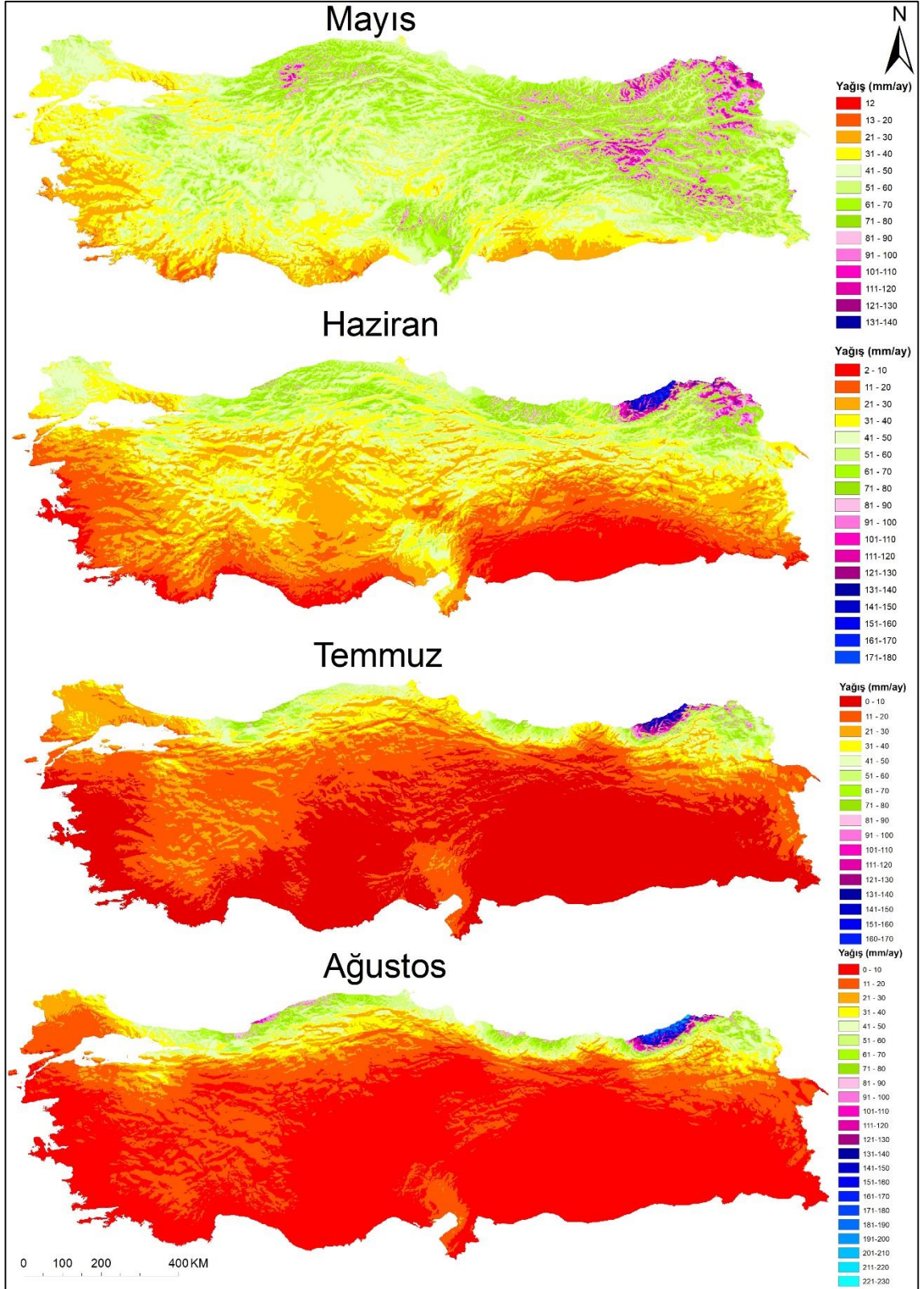
bir geçici çözünürlükle elde edilmektedir. İklim Tehlikeleri Grubu İstasyonlu Kızılötesi Yağış (CHIRPS) veri arşivi yarı küresel (50'S-50'N), 0,05 'çözünürlüğe, 1981'e yakın yağış zaman serisine kadar mevcuttur. Karasal yağış verileri, aylık olarak temin edilebilmektedir (Funk, C.,C., 2014).

Aşağıda FEWS-NET sisteminden indirilen veriler görünmektedir. İndirilen veriler mm/ay birimindedir (Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4)

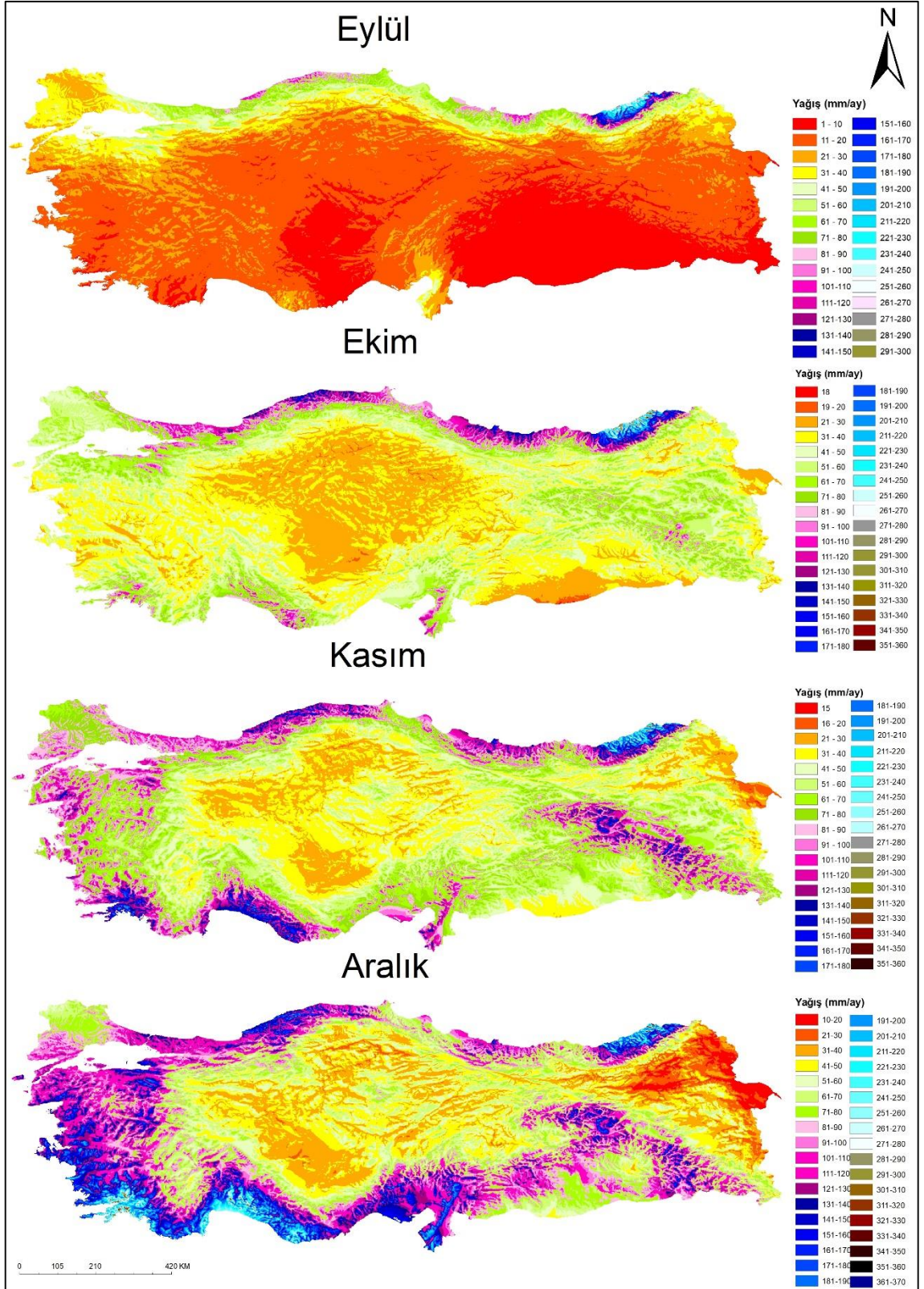




Şekil 3.2. FEWS-NET sisteminden indirilen yağış verileri



Şekil 3.3. FEWS-NET sisteminden indirilen yağış verileri (devam)



Şekil 3.4. FEWS-NET sisteminden indirilen yağış verileri (devam)

Tablo 3.1’de haritalardan yararlanarak elde edilen en düşük yağış, en yüksek yağış ve ortalama yağış verileri gösterilmektedir. Yağış verileri için 2018 yılı seçilmiştir. Bu yıl ortalama 599,6 mm yağış düşmektedir. 1981 ve 2010 Meteoroloji Genel müdürlüğü verileri incelendiğinde, Türkiye’de ortalama 574 mm yağış düştüğü görülmüştür. Seçilen yıl ortalaması uzun yıllar ortalama yağışına en yakın olan yıldır.

Tablo 3.1. *Aylık yağış verileri (2018)*

Aylar	En düşük (mm/ay)	En yüksek (mm/ay)	Ortalama (mm/ay)
Ocak	11	319	74,6
Şubat	14	251	64,4
Mart	18	210	62,7
Nisan	25	189	61,4
Mayıs	12	140	53,3
Haziran	2	183	33,1
Temmuz	0	172	16,2
Ağustos	0	229	14,8
Eylül	1	296	21,6
Ekim	18	363	49,2
Kasım	15	363	63,8
Aralık	12	379	84,06

3.2.2. Evapotranspirasyon

Evapotranspirasyon, enerji, hidrolojik, karbon ve besin döngüleri için çok önemli bir faktördür ve su dengesinin kilit bir bileşenidir. ET, ikincil meteorolojik parametreler kategorisine aittir. Geleneksel olarak ET, Bowen Ratio (Prueger, vd, 1997), eddy kovaryans (Nouri, vd, 2013) ve lizimetre sistemleri (Allen, vd, 1998) gibi geleneksel teknikler kullanılarak doğrudan homojen bir yüzey üzerinde ölçülebilmektedir. Bununla birlikte, bu teknikler dünya genelinde yüzeylerin çoğuna uygulanamamaktadır.

Gerçek ET’yi hesaplamak her zaman sorun olduğu için genellikle potansiyel ET kullanılması tercih edilmektedir. Potansiyel ET ile yapılan iklim hesaplamalarının doğruluk oranı daha düşük olmaktadır. Bu nedenle gerçek ET’yi hesaplamak için bilim insanları birçok model ortaya atmaktadır. Uzaktan algılama teknolojileri geliştikçe kullanılan bu modeller uydu görüntüleri üzerinden uygulanmaya başlanmıştır. Bu durum, gerçek evapotranspirasyon tahmininde önemli bir gelişme anlamına gelmektedir. Çünkü

geleneksel nokta ölçümlerinin ötesinde bu yöntem, mekânsal ve zamansal değişkenliği izlenmesi konusunda da geleneksel yöntemlerden oldukça üstündür. Bu tez çalışması kapsamında uzaktan algılama olduğu için gerçek ET hesabında uzaktan algılama tekniklerinde kullanılan bazı modeller üzerinde durulacaktır.

1980'lerden bu yana, ET'nin uzaktan algılama verilerinden tahmin edilmesi ve tahmin yöntemlerin geliştirilmesi için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Geçtiğimiz yıllarda, bölgesel ve küresel ölçekte uzaktan algılama verilerini kullanarak, ampirik ve fiziksel temelli yöntemlerle birçok analiz yapılmıştır.

Günümüzde ET'yi hesaplamakta en çok kullanılan, Enerji Dengesi (Energy Balance, EB) algoritmalarıdır. Uzaktan algılama tabanlı EB algoritmaları, ET'yi arazi yüzeyi enerji dengesi denkleminin bir "kalıntısı" olarak tahmin etmek için uydu tarafından algılanan radyasyonları, albedo, yaprak alanı indeksi, bitki örtüsü endeksleri, yüzey pürüzlülüğü, yüzey yayıcılığı ve yüzey sıcaklığı gibi arazi yüzey özelliklerine dönüştürmektedir. Genel olarak EB algoritmaları aşağıdaki formülasyona dayanmaktadır:

$$LE = \lambda ET = R_n - H - G \quad (3.1)$$

Burada LE gizli ısı akısı (Latent Heat) (W / m^2), λ buharlaşma gizli ısısı, R_n net radyasyon (W / m^2), G toprak ısı akısıdır (W / m^2) ve H hissedilir ısı akısıdır (W / m^2). En yeni EB modelleri esas olarak H'nin tahmininde farklılık göstermektedir (Gowda, vd., 2007). Bu modeller, kısaca anlatılacak olursa:

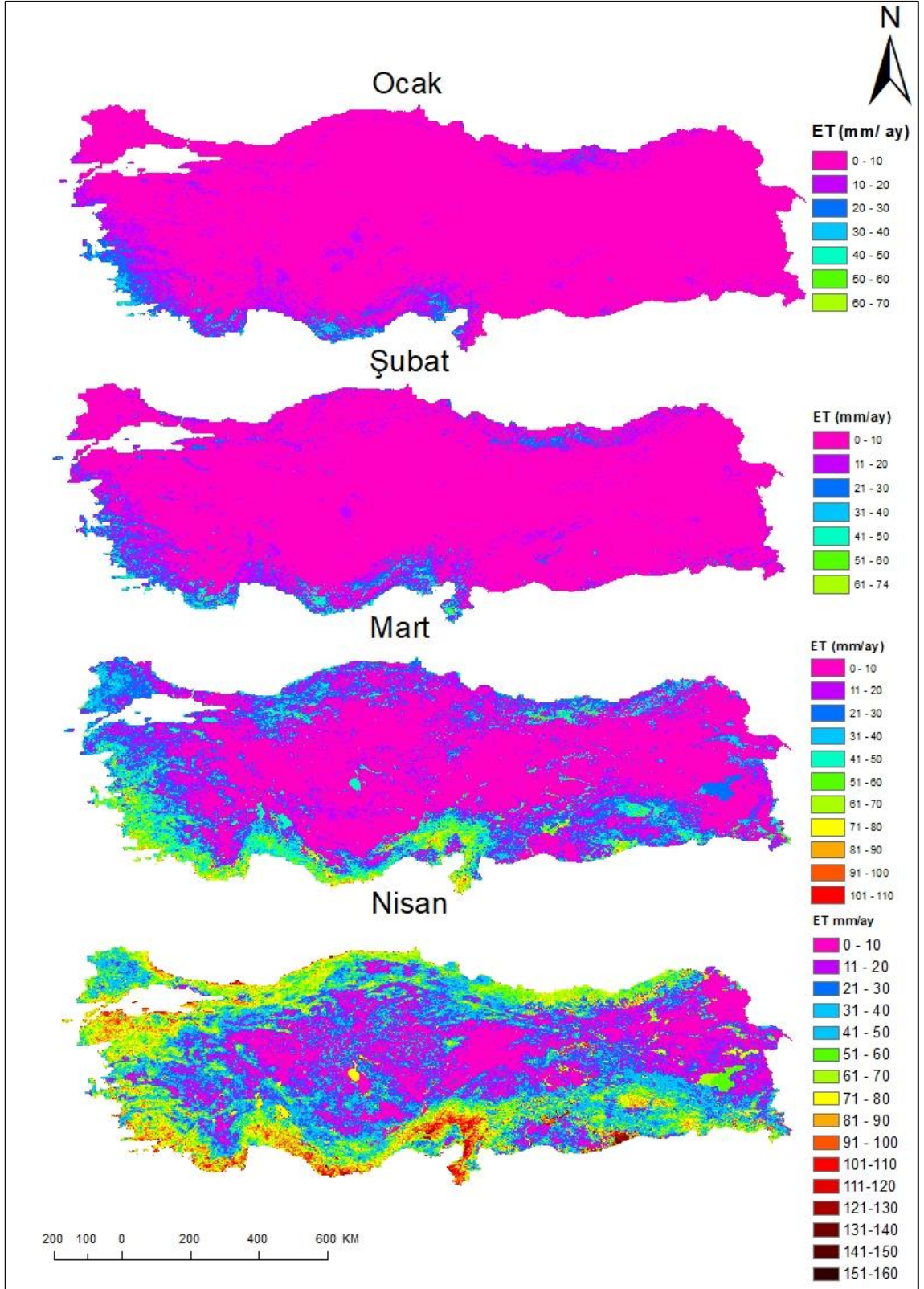
Arazi için Yüzey Enerji Dengesi Algoritması (Surface Energy Balance Algorithm for Land, SEBAL) toprak ve bitki örtüsünün enerji dengesinin ayrı olarak modellendiği, yani toprak ve bitki örtüsünün ET miktarının ayrı ayrı hesaplandığı ve daha sonra toplam LE'nin hesaba katıldığı, bir modeldir (Karimi ve Bastiaanssen, 2014). İki Kaynak Modeli (Two Source Model, TSM) kurak ve yarı kurak bölgelerde, bitki örtüsü dağılımı seyrek ve düzensizdir ve toprak ile bitki örtüsü kanopisi arasındaki bağlantı zayıf olduğu için ihmal edilebilir düzeydedir. Bu duruma dayanarak, iki kaynaklı model yani TSM haritalamayı tahmin etmek ve ET'yi hesaplamak için toprak ve bitki örtüsünü katmanlarını birleştirmiştir (Nouri Vd, 2013). Yüzey Enerji Dengesi Endeksi (Surface

Energy Balance Index, SEBI) ampirik bir sıcaklık farkı denklemi ve ıslak ve kuru alanlar arasındaki farkı temel alır (Romaguera Vd 2014). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) sistem, uydu görüntüleri içinde sıcak ve soğuk pikseller kullanan dâhili Kalibrasyon ile buharlaşma hesaplamaktadır (Allen vd 2007). SEBI'nin diğer varyasyonları arasında Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi Endeksi (Simplified Surface Energy Balance Index) (S-SEBI) (Roerik ve Menenti 2000) ve Yüzey Enerji Dengesi Sistemi (SEBS) (Su, 2002) gibi çok farklı ET hesaplama yöntemleri yer almaktadır.

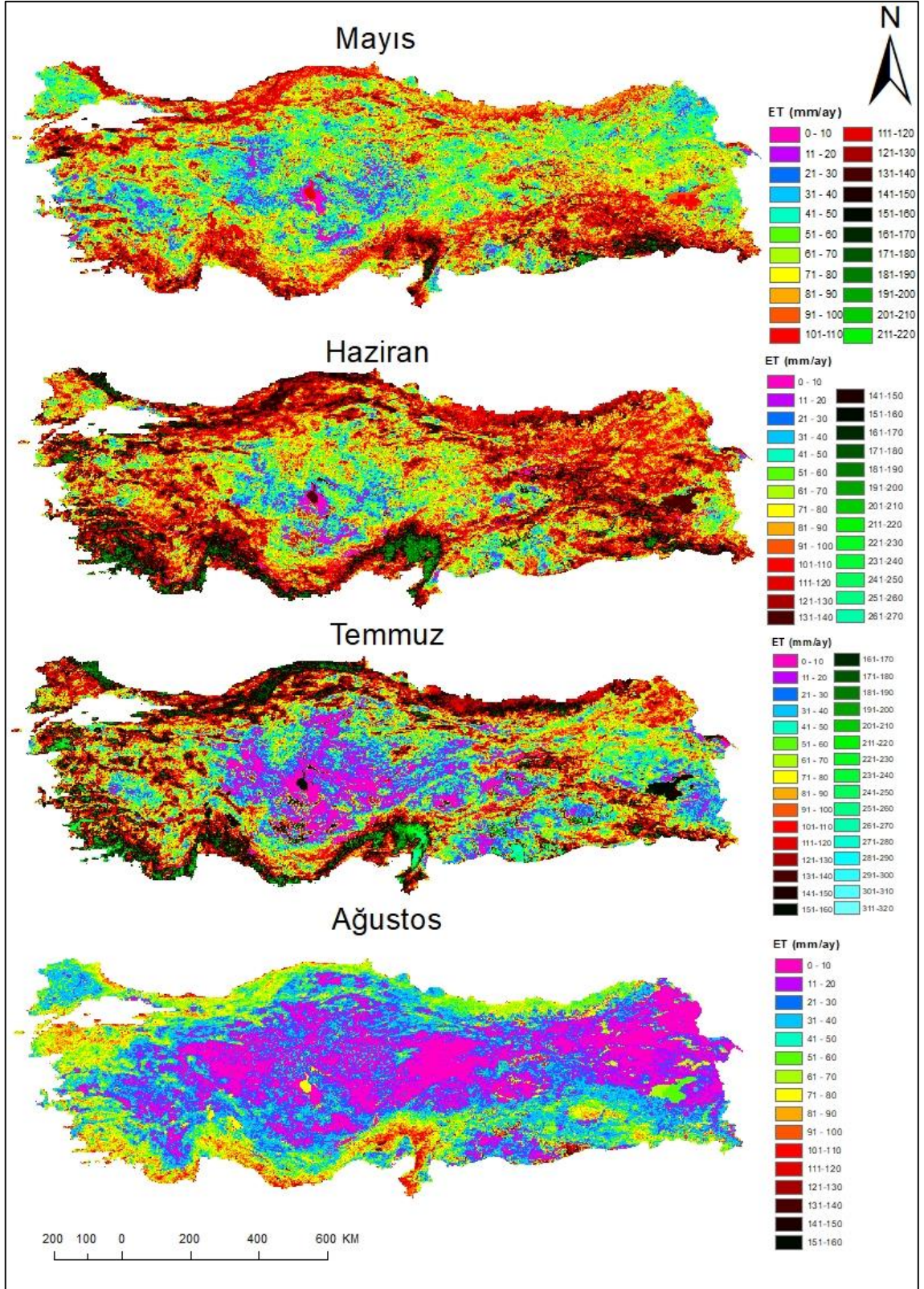
Bu tez çalışmasında kullanılan ET uydu görüntüleri FAO'nun Kıtık Erken Uyarı Sistemi'nden (FEWS-NET) elde edilmiştir. Görüntülerin mekânsal kapsamı; global, mekânsal çözünürlüğü; 1 km, zamansal çözünürlüğü ise 30 gündür.

Görüntüde ET'nin elde edilmesi için kullanılan yöntem ise şu şekildedir: Gerçek ET (ETa), 2003'ten günümüze kadar operasyonel Basitleştirilmiş Yüzey Enerjisi Dengesi modeli (Southern States Energy Board, SSEBop) (Senay vd, 2012) kullanılarak üretilmiştir. SSEBop kurulumu, operasyonel uygulamalar için benzersiz parametreleştirilmiş Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi (SSEB) yaklaşımına (Senay vd, 2012) dayanmaktadır. Uzaktan algılanan MODIS termal görüntülerinden üretilen ve her 10 günde bir alınan ET görüntüleri bir termal indeks yaklaşımı kullanarak referans ET ile birleştirmektedir. SSEBop parametrelemesinin en önemli özelliği, "sıcak / kuru" ve "soğuk / ıslak" referans noktaları için her piksele özgü önceden tanımlanmış, mevsimsel olarak değişen, sınır noktalarını kullanmasıdır.

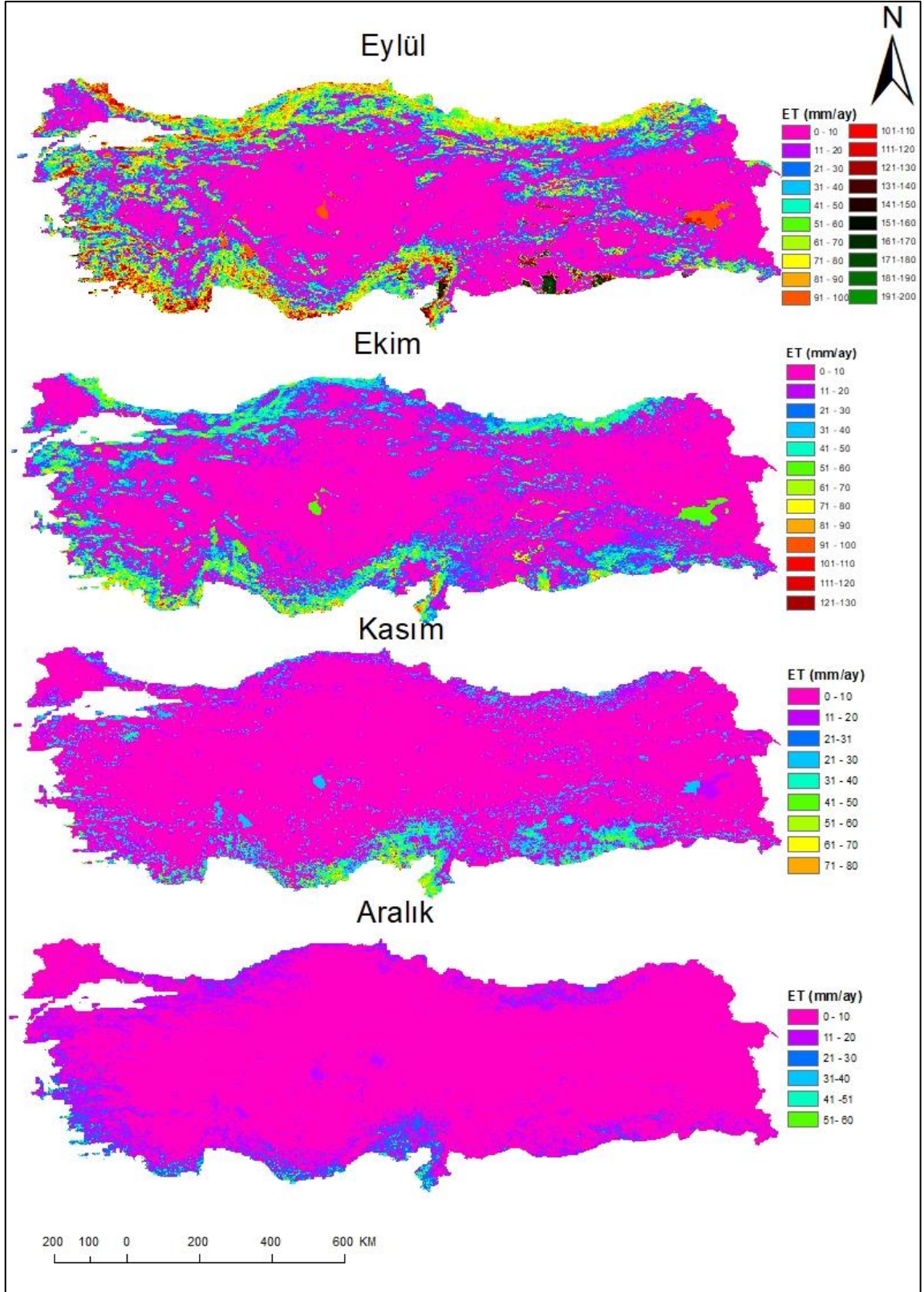
Yukarıda anlatılan yöntemle elde edilmiş uydu görüntüleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7)



Şekil 3.5. Aylık ET verileri



Şekil 3.6. Aylık ET verileri (devam)



Şekil 3.7. Aylık ET verileri (devam)

ET verileri incelendiğinde; en fazla ET'nin Temmuz ayında gerçekleştiği, en az ET'nin Ocak ayında gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni Ocak ayında sıcaklığın az olması ile terleme ve buharlaşmanın da azalması, Temmuz ayında sıcaklığın artmasıyla birlikte terleme ve buharlaşmanın da artmasından kaynaklanmaktadır. Tablo 3.2'de uydu görüntüleri üzerinden elde edilen değerlerde 2018 yılı aylık ET değerleri ve hektar başına düşen aylık değer gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Aylık ET miktarları (2018)

Aylar	En düşük (mm/ay)	En yüksek (mm/ay)	Ortalama (mm/ay)
Ocak	0	60	4,2
Şubat	0	74	4,8
Mart	0	122	16,7
Nisan	0	167	37,7
Mayıs	0	230	76,5
Haziran	0	289	97,22
Temmuz	0	338	84,6
Ağustos	0	291	56,1
Eylül	0	201	26,1
Ekim	0	133	14,4
Kasım	0	86	7,2
Aralık	0	59	5,4

3.2.3. Yüzey Nemi

Yüzey nemi su ayak izi bölümünde açıklandığı gibi toprağın belli kısmında mevcut bulunan nemi ifade etmektedir. Toprak nemi hesabı uzun yıllar boyunca noktasal ölçümlerle mümkün olmuştur. Noktasal ölçümler geniş alanlarda kullanımı uygun değildir ve çok emek isteyen bir yöntemdir. Uzaktan algılama tekniklerinin gelişimiyle birlikte toprak nemi hesabı da uydu görüntüleri ile yapılmaya başlanmıştır.

Toprak nemini tahmin etmeye yönelik yaklaşımlar, kullanılan uydu sensörlerinin tipinde, aynı zamanda meteorolojik ve arazi örtüsü verilerinin kullanımında, uygulama tipine ve mekânsal kapsamına (örneğin sulama, kuru toprak tarımı) göre farklılık göstermektedir (Romaguera, vd, 2010).

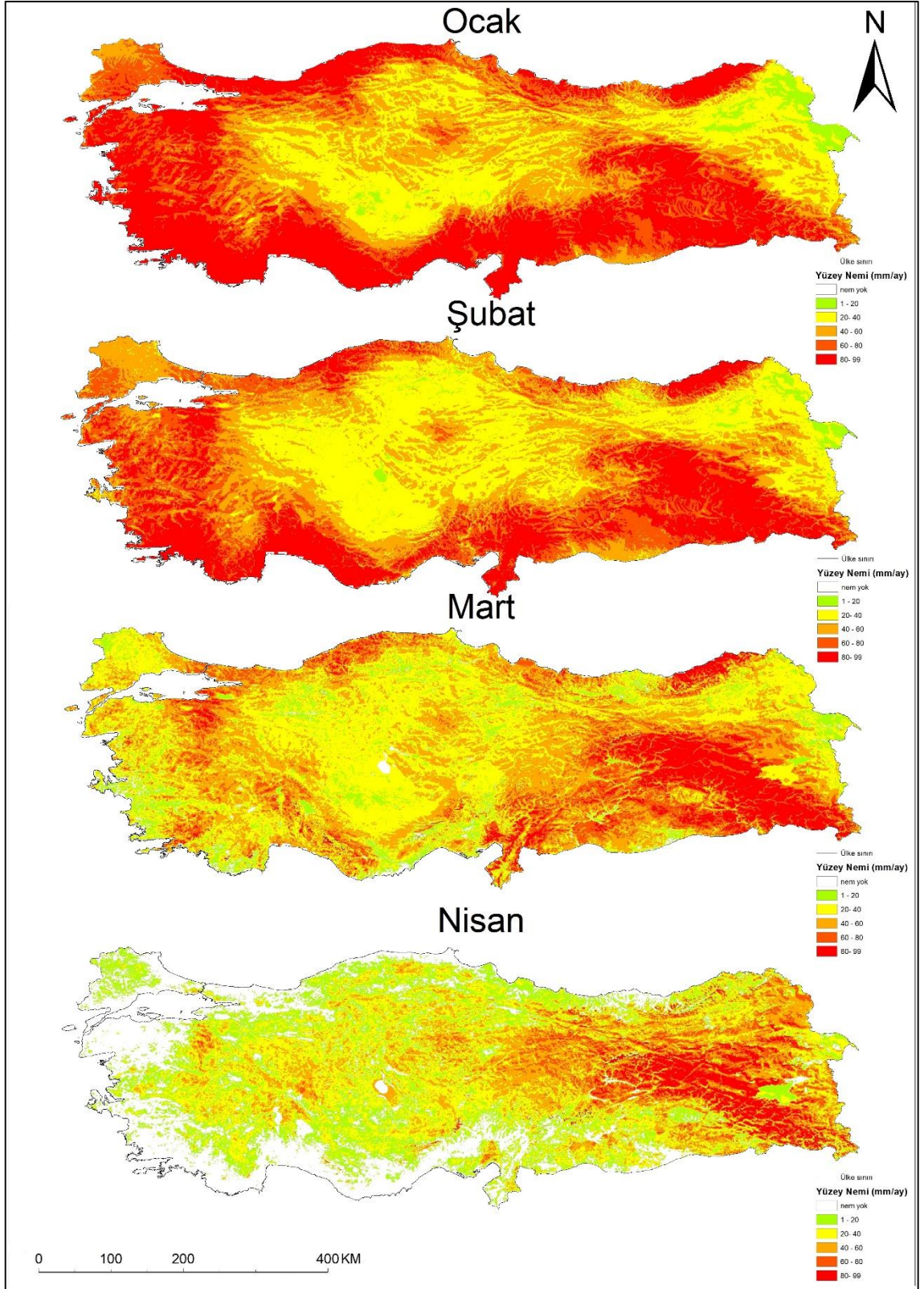
Uzaktan algılama teknikleri geniş alanları ifade ettiği için ve kullanımında diğer birçok teknikten düşük maliyetli olduklarından kullanımı çok daha yaygın olmaktadır (Romaguera, vd, 2010). Birçok çalışmada kullanılan sensörlerin zamansal, mekânsal ve spektral çözünürlüğü önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu nedenle toprak nemini tahmin etmek için farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Temel olarak, toprak nemini tahmin etmek için uzaktan algılama yöntemleri iki gruba ayrılabilir bunlar; 1) radar sensörleri (aktif mikrodalga) 2) optik uzaktan algılamadır (Termal ve Kızılötesi bantlar).

En son yapılan araştırmalar, aktif radarın veya sentetik açıklıklı radarların toprak nemi tahmininde daha başarılı olduğunu göstermiştir. Hem aktif hem de pasif mikrodalga uzaktan algılama, toprak nemi bilgisini almak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Pasif mikrodalga yöntemleri, arazi yüzeyinin doğal emisyonunu ölçerken, aktif mikrodalga sensörleri iletimden sonra arazi yüzeyinden geri saçılan enerjiyi ölçmektedir (Wagner, vd, 2007).

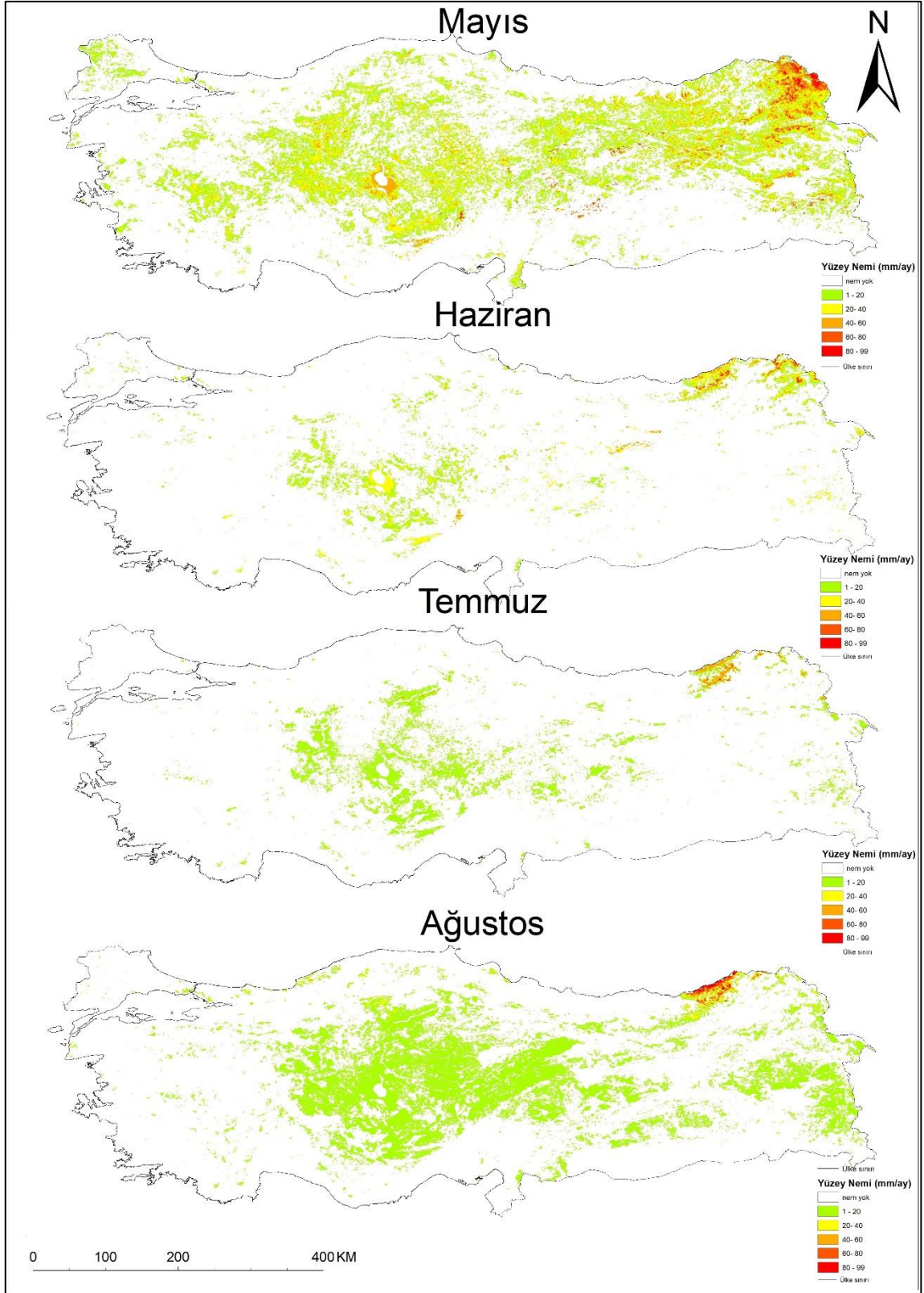
Mikrodalga uzaktan algılamasıyla ilgili bazı sınırlamalar mevcuttur, çoğu iklim uygulaması için toprak nemi kök bölgesine dâhil edilmektedir. Ancak mikrodalga uzaktan algılamasıyla kök bölgesi toprak nemi ölçülememektedir. Ayrıca, potansiyel önemli toprak nemi etkileri olan dünyanın çeşitli bölgelerini dışarda bırakan yoğun bitki örtüsü altında ölçümler zordur (Romaguera, vd, 2010).

Bu tez çalışmasında kullanılan nem verisi NASA'nın (National Aeronautics and Space Administration) AMSR2 uydusundan elde edilmiştir. Veri indirmek için NASA'nın veri indirme portalı olan GES- DİSK portalı kullanılmıştır. Toprak nemi verisi biçim olarak netCDF, mekânsal kapsamı global, mekânsal çözünürlüğü 10 km x 10 km ve zamansal çözünürlüğü ise 1 gündür.

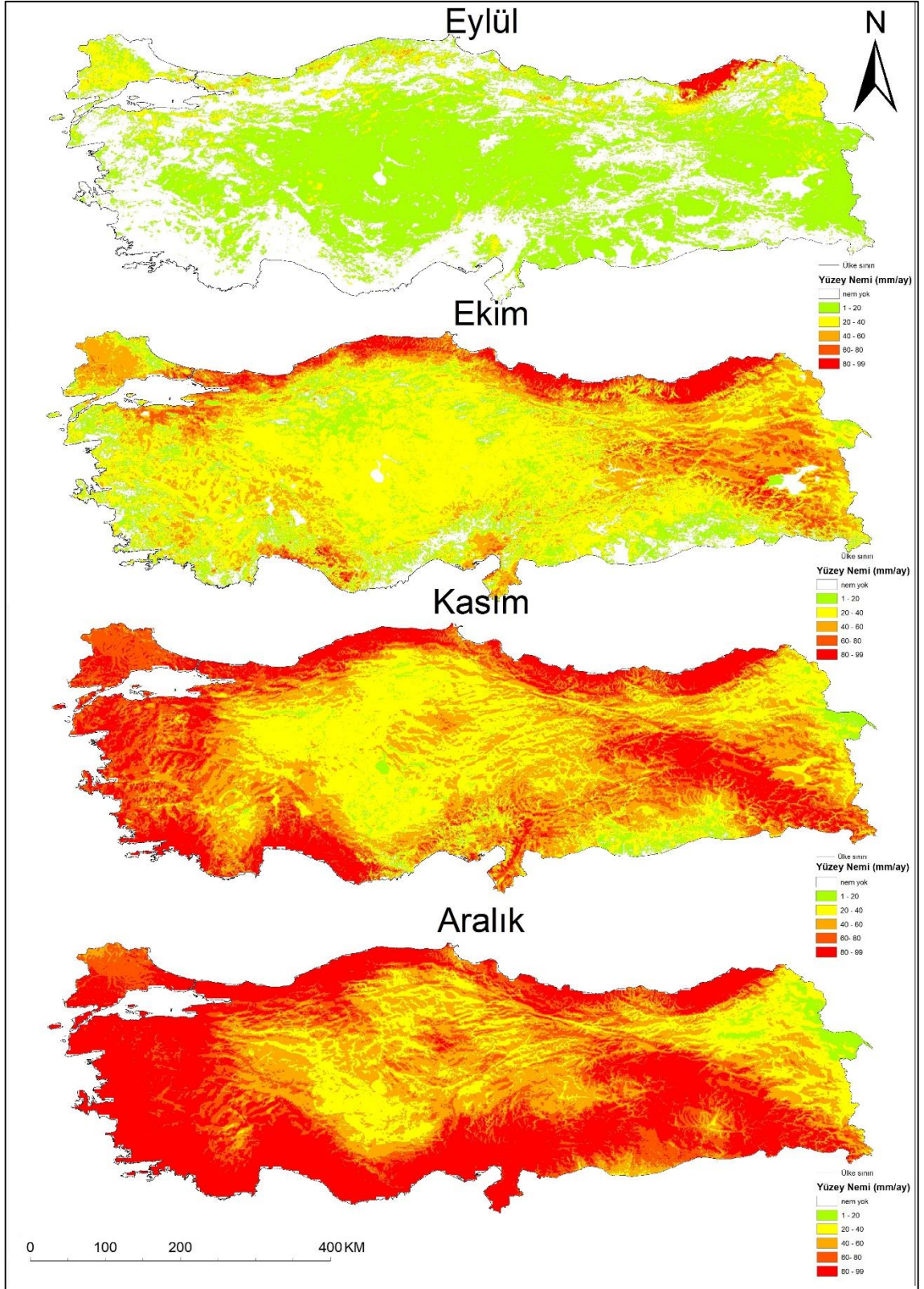
Bu verinin elde edilmesi, yüzey toprağı nemi ve bitki örtüsü optik derinliğini almak için ileri bir radyasyon transfer modeline dayanmaktadır. Kara yüzeyi sıcaklığı, AMSR2'nin Ka bandından (36.5 GHz) ayrı olarak elde edilmektedir. Bu yöntemin benzersiz bir özelliği, herhangi bir mikrodalga frekansında uygulanabilmesidir. Bu da çeşitli uydulardaki tüm pasif mikrodalga verilerinin kullanılmasını çok uygun hale getirmektedir ([http 2](http://2)). İndirilen veriler düzenlendikten sonra oluşan haritalar Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Yüzey nemi verisi



Şekil 3.9. Yüzey nemi verisi (devam)



Şekil 3.10. Yüzey nemi verisi (devam)

3.2.4. Arazi Kullanım Haritaları

Uzaktan algılama ile bitki su ayak izi hesabında yeşil ve mavi su ayak izi hesabı yapılacak bitkilerin arazide yer alan diğer alanlardan ayırmak gerekmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada arazi kullanım haritaları kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan arazi kullanım verileri CORINE (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu) projesi kapsamında elde edilen haritalardan alınmıştır.

CORINE projesi çerçevesinde elde edilen veriler 5 tip arazi örtüsü (AÖ) olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar; sulak alanlar, su yapıları, tarımsal alanlar, yapay alanlar, ormanlık ve yarı doğal alanlar şeklindedir.

Ayrıca sınıflandırmada arazi kullanımı (AK) alanları yerleşim alanları, endüstriyel alanlar, ticari alanlar, yol, park ve yeşil alanlardır (http 3).

Tablo 3.3. CORINE arazi sınıflarına ait seviyeler (http 3)

1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
1. Yapay Bölgeler	1.1. Şehir yapıları	1.1.1. Sürekli şehir yapısı
		1.1.2. Süreksiz Şehir Yapısı
	1.2. Endüstri, Ticaret ve Ulaşım Birimleri	1.2.1. Endüstriyel ve ticari birimler
		1.2.2. Karayolları, Demiryolları ve ilgili Alanlar
		1.2.3. Havaalanları
	1.3. Maden Ocağı, Boşaltım ve İnşaat Sahaları	1.3.1. Maden Çıkarım Sahaları
		1.3.2. Boşaltım Sahaları
		1.3.3. İnşaat Sahaları
	1.4. Yapay, Tarımsal Olmayan Yeşil Alanlar	1.4.1. Yeşil Şehir Alanları
		1.4.2. Spor ve Eğlence Alanları
2.Tarımsal Alanlar	2.1. Ekilebilir Alan	2.1.1. Sulanmayan Ekilebilir Alanlar

		2.1.2. Sürekli Sulanan Alanlar
	2.2. Sürekli Ürünler	2.2.1. Üzüm Bağları
	2.3. Meralar	2.3.1. Mera Alanları
	2.4. Karışık Tarımsal Alanlar	2.4.2. Karışık Tarım Alanları
		2.4.3. Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanları
3. Orman ve Yarı Doğal Alanlar	3.1. Ormanlar	3.1.1. Geniş Yapraklı Ormanlar
		3.1.2. İğne Yapraklı Orman
		3.1.3. Karışık Ormanlar
	3.2. Maki ve Otsu Bitkiler	3.2.1. Doğal Çayırliklar
		3.2.3. Sklerofil Bitki Örtüsü
		3.3.3. Seyrek Bitki Alanları
	3.3.Bitki Örtüsü İle Kaplı Olmayan veya Az Miktarda Bitki Örtüsü İle Kaplı Açık Alanlar	3.3.3. Seyrek Bitki Alanları
4.Sulak Alanlar	4.1. Karasal Bataklıklar	4.1.1. Karasal Bataklıklar
5. Su Yapıları	5.1. Karasal / İç Sular	5.1.2. Su Kütleleri

Zamansal çözünürlüğü 1990-2000-2006-2012-2018 yıllarıdır. Verilerin her bir sınıfına ait kullanıcı ve üretici doğrulukları aşağıda Tablo 3.4’de gösterilmiştir (http 3).

Tablo 3.4. CORINE verileri sınıflarının doğruluk değerleri

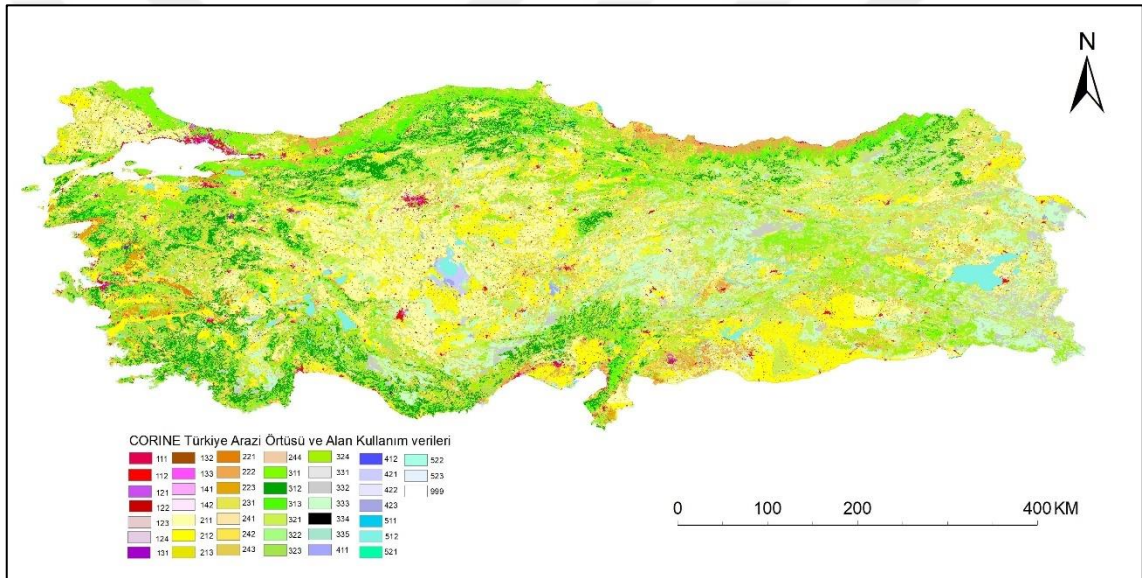
Sınıflar	Kullanıcı Doğruluğu %	Üretici Doğruluğu %
111	100.00	94.12
121	98.08	100.00
122	100.00	100.00
123	100.00	91.67
124	100.00	100.00
131	95.56	100.00
132	100.00	91.67

133	95.83	92.00
141	100.00	85.71
142	100.00	94.44
213	100.00	100.00
221	96.97	100.00
223	90.91	100.00
231	89.70	83.85
243	91.18	91.45
311	97.39	90.30
312	100.00	95.83
313	99.23	98.48
321	85.89	95.73
323	100.00	100.00
324	94.09	95.66
331	95.83	95.83
333	97.26	96.04
334	100.00	100,00
411	100.00	100.00
421	100.00	100.00
422	100.00	100.00
511	100.00	100.00
512	100.00	97.06
521	100.00	100.00
1121	100.00	97.22
1122	98.98	100.00
2111	88.89	85.64
2122	91.67	100.00
2221	82.14	100.00
2222	95.83	92.00
2421	92.86	91.23
2422	92.86	91.23
3321	90.76	100.00
3322	90.91	100.00
Genel doğruluk	93.45	

Tez çalışmasının konusu gereği bu tabloda bu tez çalışmasını ilgilendiren sınıflar; 213, 221, 223,231, 243 sınıflarıdır. Bu sınıflar ise; sulanmamış ekilebilir alanlar, kalıcı olarak sulanan alanlar, bağlar, meyve bahçeleri, zeytinlik alanlar ve tarımla uğraşılan

arazi sınıflarını oluşturmaktadır. Bu sınıfların genel doğruluk oranı %93,45 olarak görülmektedir ve bu yüksek bir doğruluk oranıdır.

Bu çalışmada elde edilen CORINE verilerinden 4. Seviye verileri kullanılmıştır. 4. Seviye verilerinden de çalışmanın kapsamında olan tarım alanları sınıfı kullanılmıştır. Tarım alanları sınıfı da kendi alanında alt sınıflara ayrılmakta ve alt sınıflardan 6 sınıf çalışmanın kapsamında olduğu için diğer CORINE verilerinden ayrılmıştır. Bu ayrılan sınıflar; bağlar, pirinç tarlaları, zeytinlik alanlar, meyve bahçeleri, sulanan araziler, sulanmayan arazilerdir. Kullanılan veriler hektar bazında verilmiştir. Veriler <https://CORINE.tarimorman.gov.tr/CORINEportal/index.html> indirilmiştir. (Şekil 3.11)



Şekil 3.11. CORINE 4. seviye sınıfları

Günümüzde yazılımlar birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama görüntüleri işleme için birçok yazılım mevcuttur. Bu yazılımları bir kısmı açık kaynak kodlu olup ücretsiz olarak sunulabilmektedir. Bu tez çalışmasında ArcGIS ve QGIS CBS yazılımları kullanılmıştır.

3.3. Kullanılan Yöntem

Bu tez çalışmasında su ayak izini tahmin etmek için gerçek sulamanın bulunması gerekmektedir. Gerçek sulamanın tahmini için ise; yağış, bitki su tüketimi, yüzey akışı ve toprak nem durumunun uzaktan algılama teknolojileri kullanılmaktadır.

Gerçek sulamanın tahmini için oluşturulan su kütlesi tahmini aşağıda gösterilmektedir (Romaguera vd, 2010).

$$P + I = ET + Q + \frac{ds}{dt} \quad (3.2)$$

Burada P yağış (mm)(precipitation), I gerçek sulama (actual irrigation), ET gerçek evapotransprasyon (mm), Q yüzey akışı (mm) (surface runoff) ve ds/dt (water storage) yüzey nemidir. Bu formül uygulanarak gerçek sulama için kütle su tahmini yapılmaktadır.

Ayrıca yeşil ve mavi su kullanımının analizi için ET yeşil ve ET mavi su bileşeni bulunmalıdır. Bunun tespiti içinse toplam ET, yeşil su ve mavi su bileşenine ayrılmaktadır (Romaguera, vd, 2010).

$$ET = ET_m + ET_y \quad (3.3)$$

Bu formülde ET (evapotransprasyon) bileşenlerinde mavi (ET_m) ve yeşil (ET_y) bileşenler toplanarak ET toplam oluşmaktadır. ET'nin mavi ve yeşil bileşenlerini bulmak için bileşenler toplam ET'den çıkarılmalıdır.

Yüzey akışının hesaba katılmadığı yani yüzey akışının ihmal edilebilir düzeyde olduğu alanlarda ET_y ve ET_m'nin sadece yağış ve sulamadan geldiği anlamına gelmektedir. Yüzey akışının hesaba katılması çok karmaşık bir analiz gerektirmektedir (Hoekstra, vd, 2009).

ET'nin bileşenleri hesaplandıktan sonra, bir ürünün su ayak izindeki mavi ve yeşil bileşenler hesaplanmaktadır. Bunun için Hoekstra'ya göre bir ürünün su ayak izindeki yeşil bileşen (WF_g, m³/ ton) ürün suyu kullanımındaki yeşil bileşen olarak (CWU_g, m³/ ha) ürün veriminin (Y, ton/ha) bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Ürün bileşimindeki mavi bileşen ise yine aynı şekilde hesaplanmaktadır.

$$WF_g = \frac{CWU_g}{Y} \quad (3.4)$$

Burada “WF_g” ürün su ayak izi içerisindeki yeşil bileşen, “CWU_g” ürün suyu kullanımındaki yeşil bileşen ve “Y” ise yıllık ürün verimidir. Bu formül uygulanarak ürün su kullanımındaki yeşil bileşen hesaplanmaktadır.

Burada, “WF_b” ürün su ayak izi içerisindeki mavi bileşen, “CWU_b” Ürün su kullanımındaki mavi bileşen, “Y” ise ürün bazında yıllık verimdir (Hoekstra, vd, 2009)

$$WF_b = \frac{CWU_b}{Y} \quad (3.5)$$

Bitkinin su kullanımındaki yeşil ve mavi bileşenler ise, bitkinin tüm büyüme peryodu içerisindeki günlük ET'nin toplanması ile hesaplanmaktadır (mm/gün) (Hoekstra, vd, 2009).

$$CWU_g = 10. \sum_{d=1}^{l g p} (ET_g) d \quad (3.6)$$

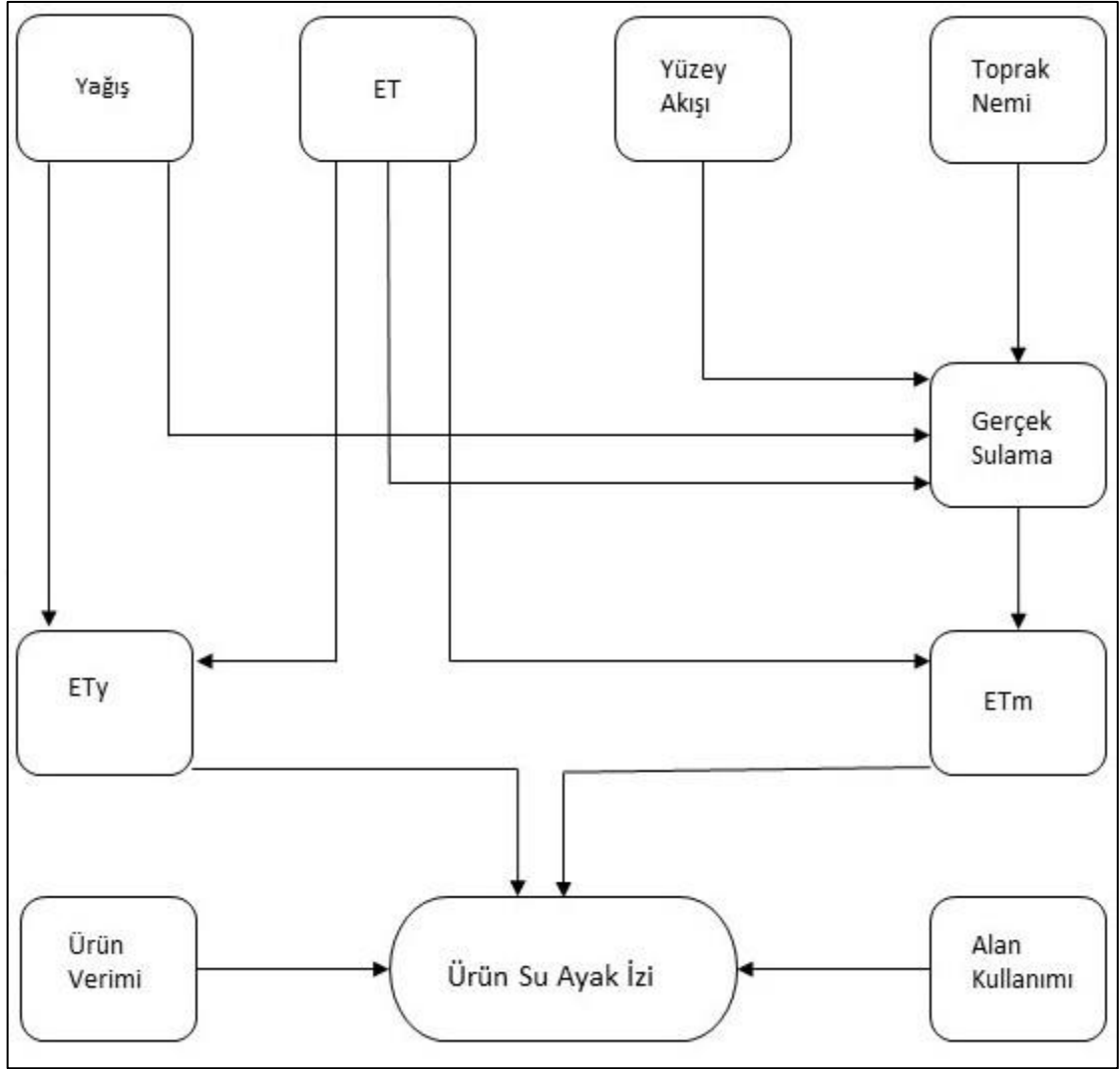
Bu formülde bitki su kullanımındaki yeşil bileşen hesaplanmaktadır. Burada CWU_g ürün su kullanımındaki yeşil bileşeni, 10 mm cinsinden su derinliğini (m³/ha) her bir kara yüzeyi için su hacmine dönüştürmek için kullanılmaktadır. l g p gün cinsinden büyüme süresinin kısalması, d=1 bir günlük toplamı ifade etmektedir.

$$CWU_b = 10. \sum_{d=1}^{l g p} (ET_b) d \quad (3.7)$$

Bu formülde bitki su kullanımındaki mavi bileşen hesaplanmaktadır. Burada CWU_b ürün su kullanımındaki mavi bileşeni, 10, mm cinsinden su derinliğini (m³/ha) her bir kara yüzeyi için su hacmine dönüştürmek için kullanılır. l g p gün cinsinden büyüme süresinin kısalması, d=1 bir günlük toplamı ifade etmektedir.

Bu formüller kullanılarak bir bitkinin ekimin 1 gününden hasat gününe kadar geçen sürede kullandığı toplam mavi yeşil su bileşeni hesaplanmaktadır.

Şekil 3.12' de bu karmaşık işlemlerin basitleştirilmiş modeli yer almaktadır (Romagera, vd., 2010).



Şekil 3.12. Uzaktan algılama verilerinden ürünlerin su ayak izini bulmak için önerilen akış şeması

3.4. Çalışmanın Uygulaması

Çalışma alanı seçildikten sonra çalışmanın uygulamasına geçilmiştir. Seçilen alan üzerinde, çalışma verileri alanında anlatılan veri kaynakları kullanılmıştır. Kullanılan veriler ve verilerin elde edildiği uydu görüntüleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5. Kullanılan veriler ve özellikleri

UZAKTAN ALGILAMA VERİSİ	İNDİRİLEN UYDU KAYNAĞI	MEKAN SAL KAPSA MA	MEKANSAL AK ÇÖZÜNÜRLÜK	ZAMANSAL ÇÖZÜNÜRLÜK	VERİ İNDİRİME TARİHİ	VERİNİ N KAPSA DIĞI YIL
ET (EVAPOTRANSPIRASYON)	FEWS- NET veri indirme portalı (USGS)	Global	1 km	30 gün	20-01- 2020	Ekim 2018 - Eylül 2018
P (YAĞIŞ)	Meteosat-9 (FEWS- NET kıtık erken uyarı sistemi)	50 Kuzey ve 50 Güney Enlemleri	0,05 km	30 gün	21-01- 2020	Ekim 2018 - Eylül 2018
S (YÜZEY NEMİ)	NASA'nın (National Aeronautics and Space Administration) n) AMSR2	Global	10km	1 gün	21-01- 2020	Ekim 2018 - Eylül 2018
ARAZİ KULLANIM	CORINE	Türkiye	-	-	21-01- 2020	2018

4. BULGULAR

Bu bölümde metodun uygulanmasından sonra ortaya çıkan sonuçlar anlatılacaktır. Çalışmanın Türkiye’de örneğinin olmaması ve bazı verilerin Türkiye için bulunmamasından dolayı yüzey akışı verisi kullanılmamıştır.

4.1. Formüllerin uygulanması

Hesaplamalar Denklem 3.2’e göre yapılmıştır. Bu çalışmada yüzey akışı verisi çalışma kapsamında elde edilemediği için 0 kabul edilmiştir. Bu da yağışın tamamen ET’ye dönüştüğü anlamı taşımaktadır. Yani yağış yüzey akışına geçmeden bütün yağışın ET ile tekrar döngüye katıldığı kabul edilmiştir. Formül bu duruma göre şu şekilde düzenlenmiştir (Romaguera, vd., 2010).

$$\begin{aligned} P + I &= ET + Q + \frac{ds}{dt} \\ Q &= 0 \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} I = \left(ET + \frac{ds}{dt} \right) - P \quad (4.1)$$

Formül 3.2’nin yüzey akışı verisinin var olmaması nedeniyle tekrar düzenlenmiştir ve düzenleme sonucunda formül 4.1 oluşmuştur. Formül 4.1, 2018 yılı 12 ayı kapsayan zamanda hesaplama yapılmıştır. Buna göre gerçek sulamanın hesabı için ET ve yüzey toprak nemi toplanıp yağıştan çıkarılmıştır. Bu formülle birlikte hesap yapılan alanda sulamanın var olması ya da olmaması ortaya çıkarılmaktadır. Sulama olan alanlarda da sulamanın miktarı hesaplanmış olacaktır. Bu analiz sonucunda ET_y ve ET_m haritaları ortaya çıkacaktır.

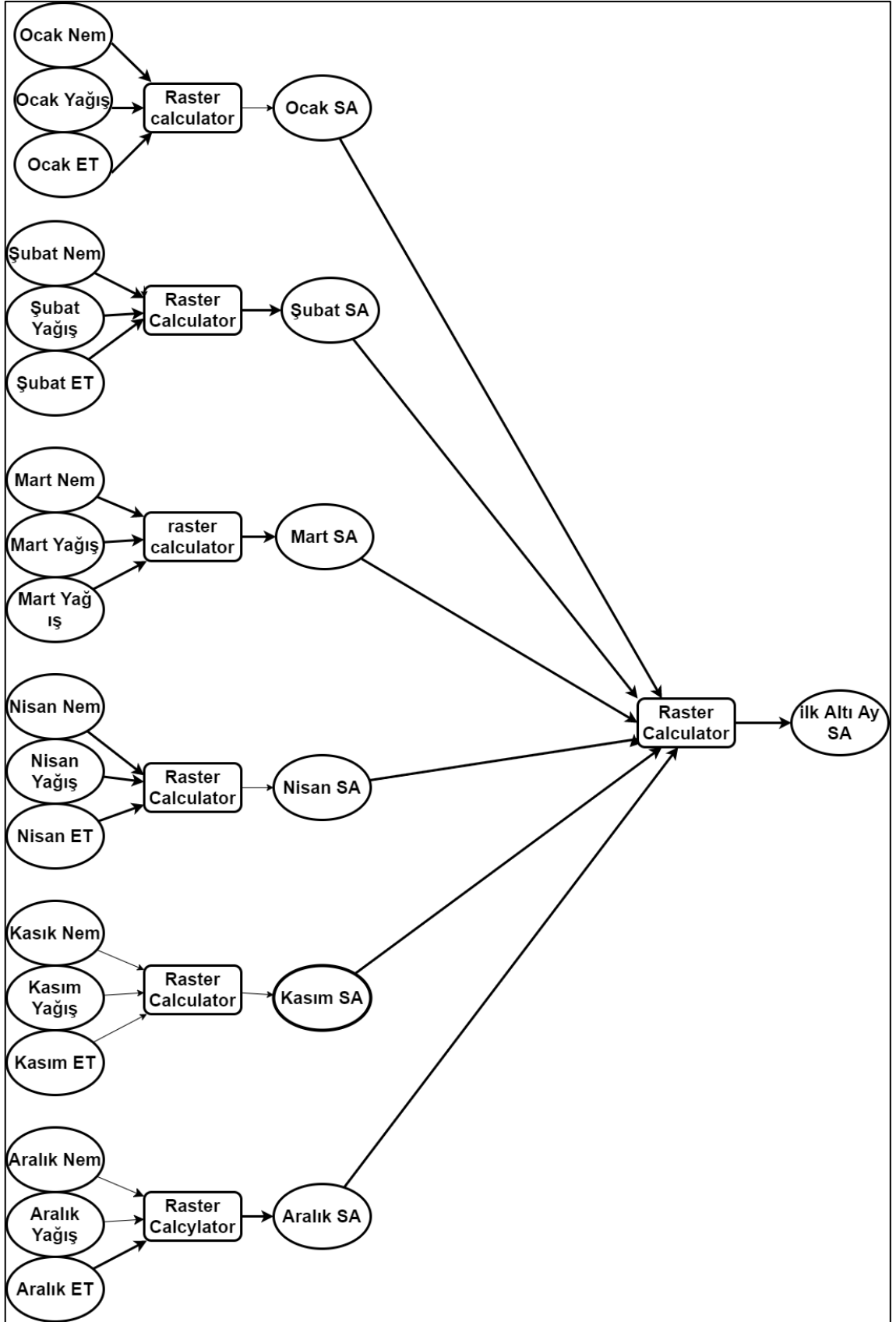
Yukarıda görülen formül “ArcGIS” yazılımının “ArcMap” programında “Arctoolbox” menüsü altında ki “spatial analyst tools” aracı altında “map algebra” aracı kullanılarak uygulanmıştır.

Hesaplama işlemleri yapılırken, yılın 12 ayı iki dönem şeklinde ayrılmıştır. Bunun nedeni yılın ilk altı ayında (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan) yağışın ET’den fazla olmasından dolayı bu aylarda sulamaya ihtiyaç olmamasıdır. İkinci 6 ayda (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim) ise yağış ET’den az olduğundan bu aradaki farkın, farklı kaynaklardan elde edildiği kabul edilmiştir. İki dönem hesaplamalarından

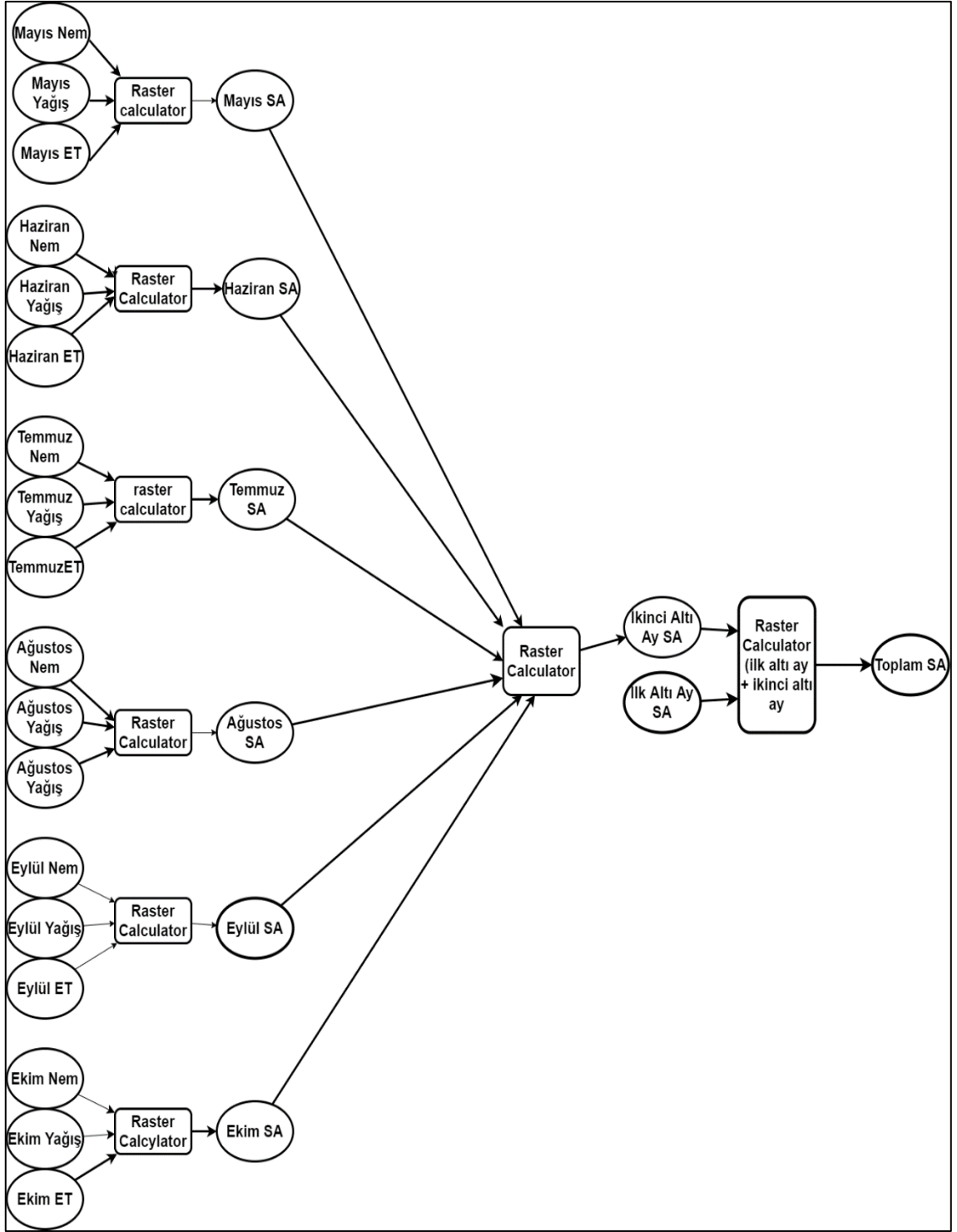
sonra toplam sonuç haritası oluşturulmuştur. Toplam sonuç haritası iki dönem toplam sonuç haritalarının toplanmasıyla elde edilmiştir.

Bu denklemlerin uygulanması için ArcMap yazılımında “Model Builder” aracı kullanılarak model oluşturulup işlem uygulanmıştır. Bu modelin oluşturulması için “Raster Calculator” aracı kullanılmıştır. (Şekil 4.1, Şekil 4.2)

Bu formülün uygulanmasıyla sulanan alanlar artı değerler alacaktır. Bunun nedeni toplam ET’nin yağış ve yüzey neminden çıkarılmasıdır. Yani ET fazla ama bu alanlarda yağış ve yüzey nemi eksiktir, bu eksikte çevrede yer alan su kaynaklarından ya da yeraltı suyundan elde edilmektedir. Bu alanlar yağış eksikliği olan alanlardır ancak ET hala bulunmaktadır. Bu alanlarda yağışın eksik olmasına rağmen ET’nin var olmasının nedeni, yeraltı kaynaklarından ya da sulak alanlardan sulamanın var olması olarak görülmektedir. Sonucun eksi olduğu alanlarda var olan ET, su ayak izi içindeki yeşil ET olarak adlandırılmaktadır (Romaguera, vd., 2014).



Şekil 4.1. İlk altı ay için oluşturulan model



Şekil 4.2. Yılın ikinci altı ayı için oluşturulan model

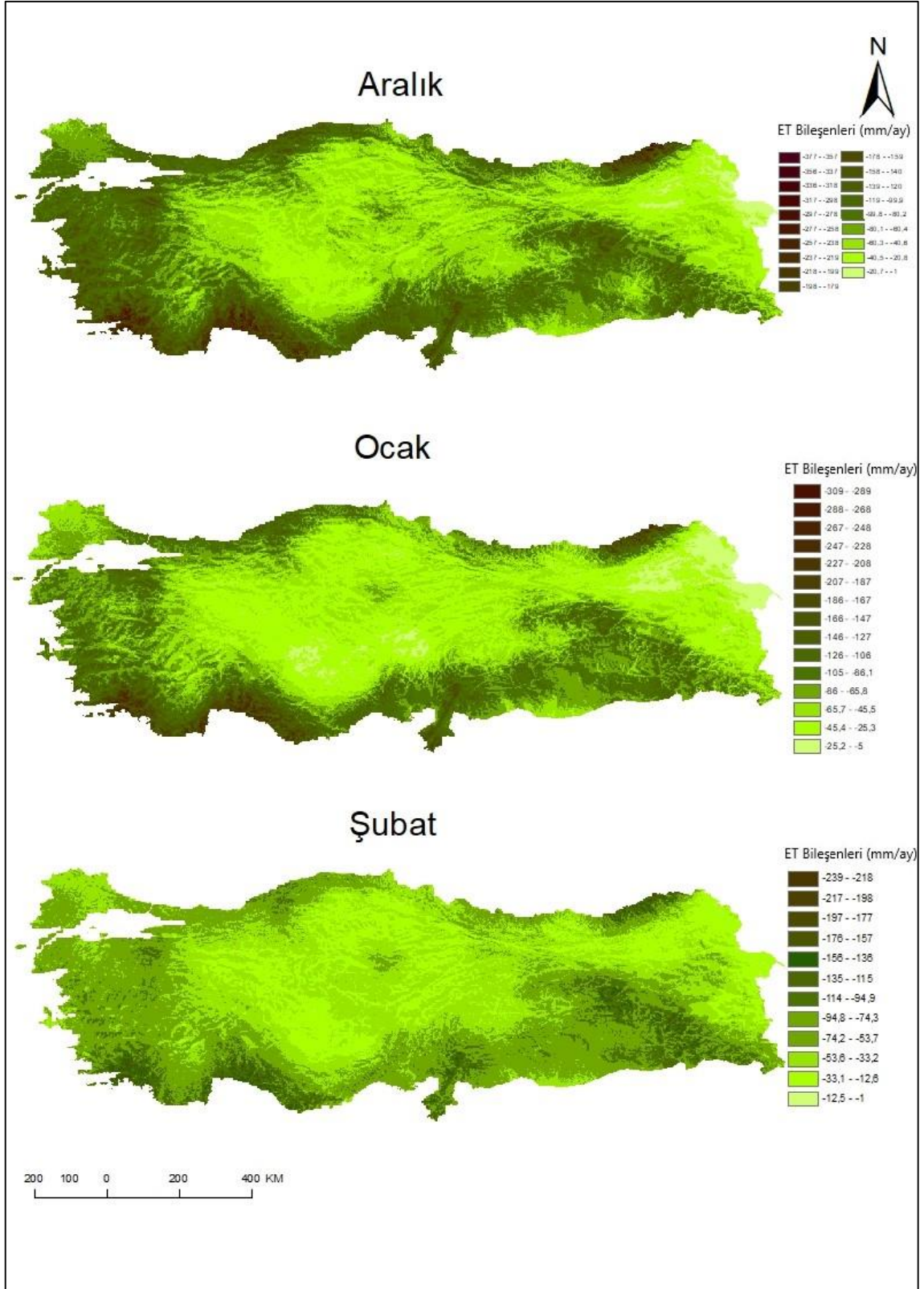
ET'nin mavi ve yeşil bileşeninin hesabından sonra ürün bazında su ayak izi hesabı yapılabilmesi için, Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 uygulanmaktadır. Bu denklemlerin uygulanmasıyla ürün su ayak izi içerisindeki yeşil ve mavi bileşenler hesaplanmaktadır.

Ürün su ayak izi içerisindeki bileşenler hesaplandıktan sonra, bitkinin tüm büyüme periyodu içerisindeki mavi ve yeşil bileşenleri hesaplamak için Denklem 3.6 ve Denklem 3.7 uygulanmış ve bitkinin su ayak izi hesaplanmıştır (Hoekstra, vd, 2009).

4.2. Ay Bazında Değerlendirme

Yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan haritalarda, su ayak izi içerisindeki iki bileşen görülmektedir. Bu iki bileşen ET_y ve ET_m'dir. Bu iki bileşenin ya yağıştan ya da sulamadan elde edildiği varsayılmıştır. Bu haritalardaki renklendirmelerde şu şekildedir; yeşil renk ve tonları ET içindeki yeşil bileşen, mavi renk ve tonları ET içindeki mavi bileşeni göstermektedir.

Aşağıda Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da hesaplama sonucu oluşan aylık ET bileşen değerleri ve haritalardan elde edilen grafikler gösterilmektedir.

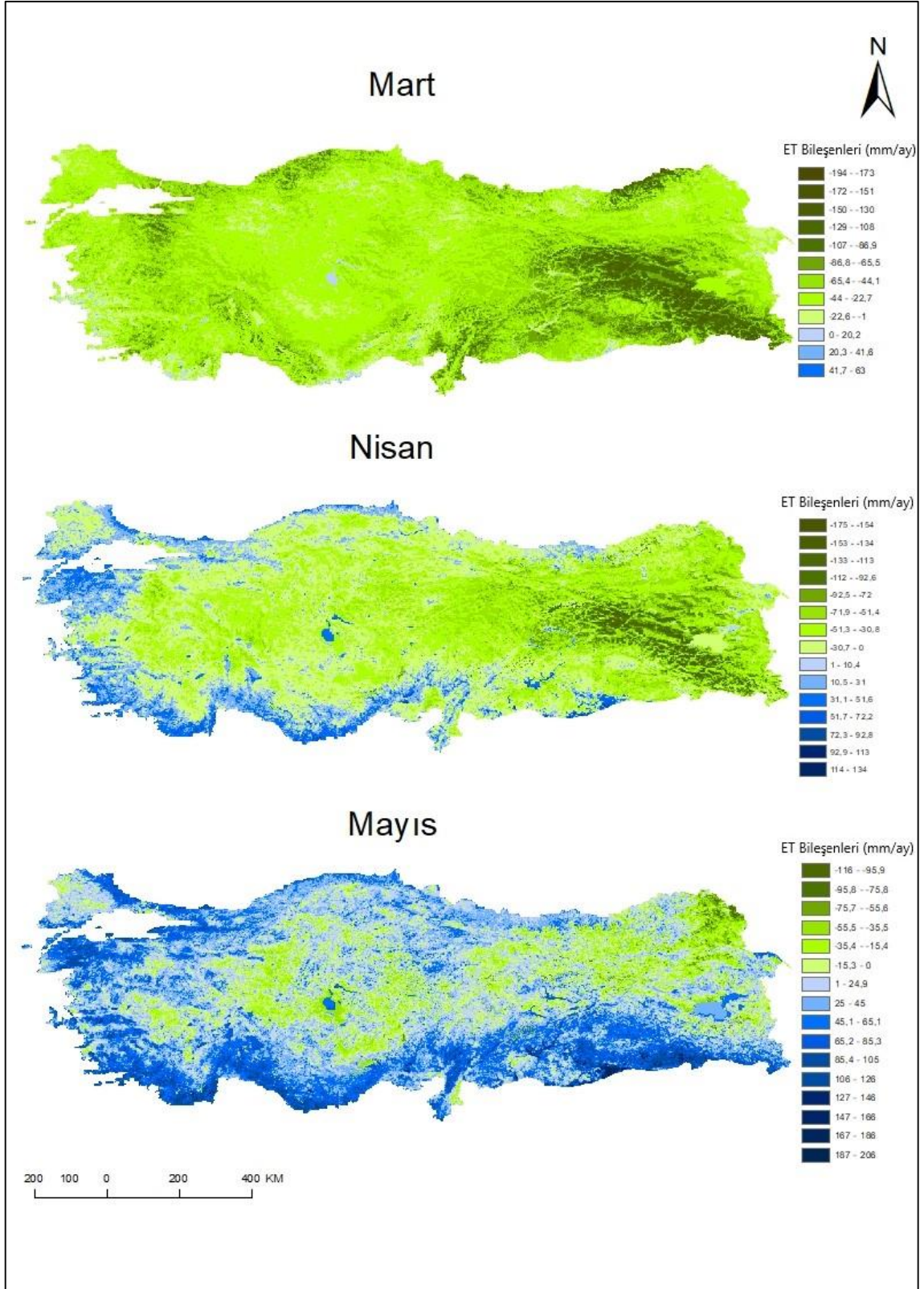


Şekil 4.3. Aralık, Ocak ve Şubat ayları ET bileşenleri

Aralık, Ocak ve Şubat ayları ET bileşen haritaları incelendiğinde; haritalardaki yeşil renk, yeşil evopatransprasyonu (ET_y) ifade etmektedir. Açık yeşil alandan koyu yeşil alana doğru gidildikçe, toprakta su fazlalığı artmaktadır. Dolayısıyla toprak suya ihtiyaç duymamaktadır. Toprağın suya ihtiyacı olmadığından ve bu aylar Türkiye’de kış ayları olmasından dolayı, ülkenin hiçbir yerinde mavi su ayak izine rastlanmamaktadır.

Türkiye’nin kıyı kesimleri iç kesimlerinden daha yağışlı olmasından dolayı, bu alanlarda su fazlalığı daha fazla olmaktadır. Haritada da bu alanlar koyu yeşil olarak görülmektedir. İç kesimler kıyı kesimlere nazaran daha az yağış alması nedeniyle daha açık yeşil olduğu görülmektedir. Buda iç kesimlerdeki bitkilerin de bu aylarda kıyı kesimlerdeki bitkiler gibi sulamaya ihtiyaç duymadığını göstermektedir.

Yukarıda anlatılan durumun temel nedeni, bu aylarda ET’nin yağıştan az olmasıdır. Hesaplama kullanılan formülde, toprağa girdi olarak gelen su; yüzey nemi ve yağış, topraktan çıkan su yani toprağı terekeden su olan ET’den çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır. ET’nin bu aylarda yağış ve toprakta biriken yüzey neminden az olması nedeniyle toprak suya doygundur ve su ihtiyacı olmamaktadır.



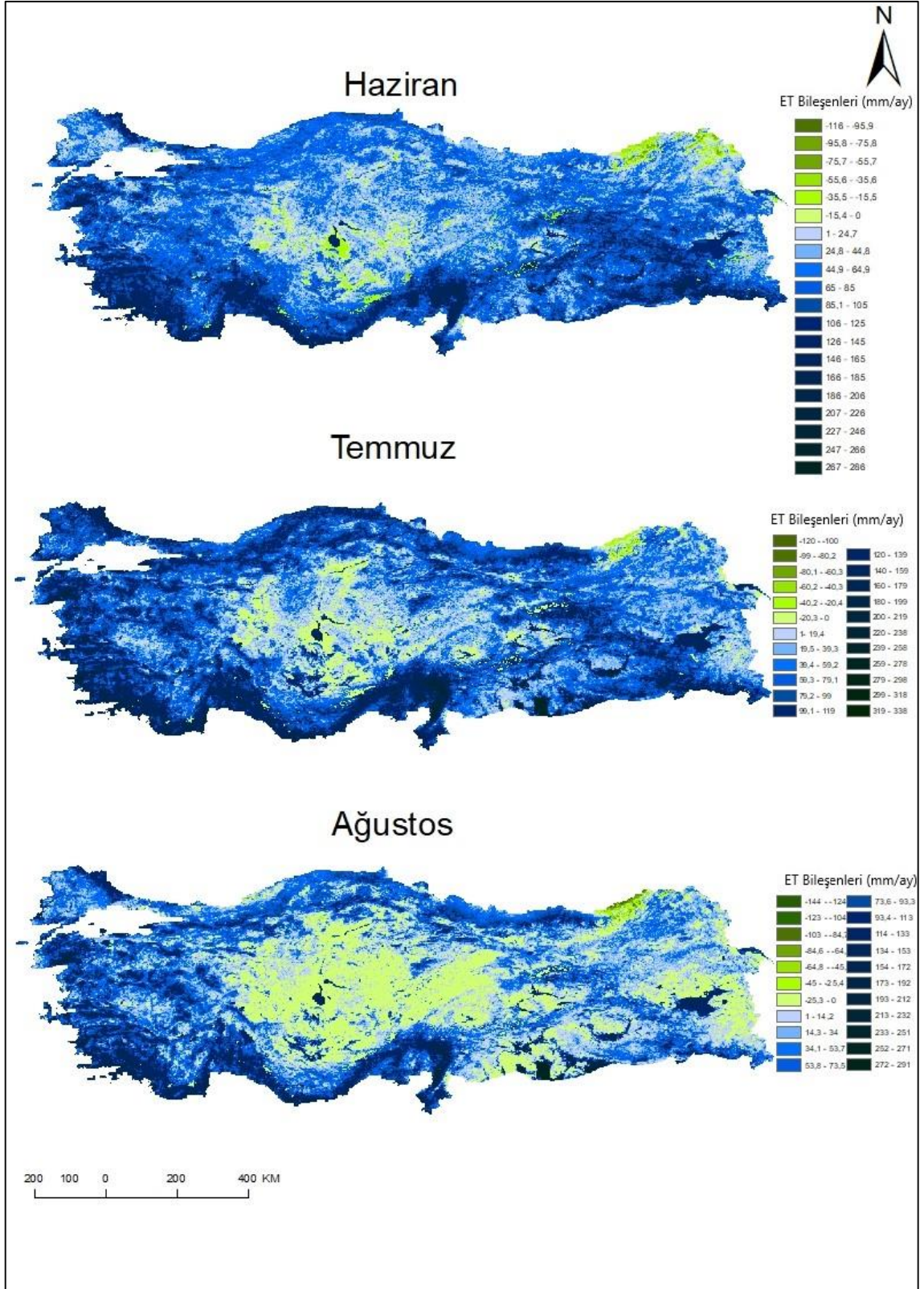
Şekil 4.4. Mart, Nisan ve Mayıs ayları ET bileşenleri

Mart, Nisan ve Mayıs ayları ET bileşen haritaları incelendiğinde; haritadaki yeşil renk; yeşil su ayak izini ifade etmektedir. Yeşil renk koyulaştıkça yeşil su ayak izi de mm cinsinden artmaktadır. Mavi renk ise mavi su ayak izini ifade etmektedir. Mavi renk koyulaştıkça mavi su ayak izi mm cinsinden artmaktadır.

Mart ayından itibaren sıcaklıkların artması ile ET'nin artması kaynaklı mavi su ayak izi yavaş yavaş artmaya başlamıştır. Bu ayda Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Ege Bölgesi'nde çok az da olsa mavi su ayak izine rastlanmaktadır. Bu ayda ülkede hala yağış olması kaynaklı olarak su ihtiyacı olmamaktadır; yani yağış ET'yi karşılamaktadır. Ayrıca ülkenin doğusu kuzeyi ve batısında yağış fazlalığından kaynaklı yeşil su ayak izi bileşeni fazla olmaktadır.

Nisan ayında, ET içerisindeki mavi bileşen artışı devam etmektedir. İç kesimlerde yeşil rengin fazla olması, bölgede sulama yapılmadan yapılan tarımı göstermektedir. Özellikle İç Anadolu bölgesinde buğday bitkisinin doğa koşullarına göre yetiştirilmesi bölgede yeşil su ayak izinin fazla olmasını sağlamaktadır.

Mayıs ayı incelendiğinde; Doğu Karadeniz kıyıları, Kuzeydoğu Anadolu ve İç Anadolu'nun iç kesimleri dışında ülkede ETm'nin fazla olduğu görülmektedir. Bu durum yağış yetersizliği kaynaklı sulama ihtiyacında artış olmasından kaynaklanmaktadır.



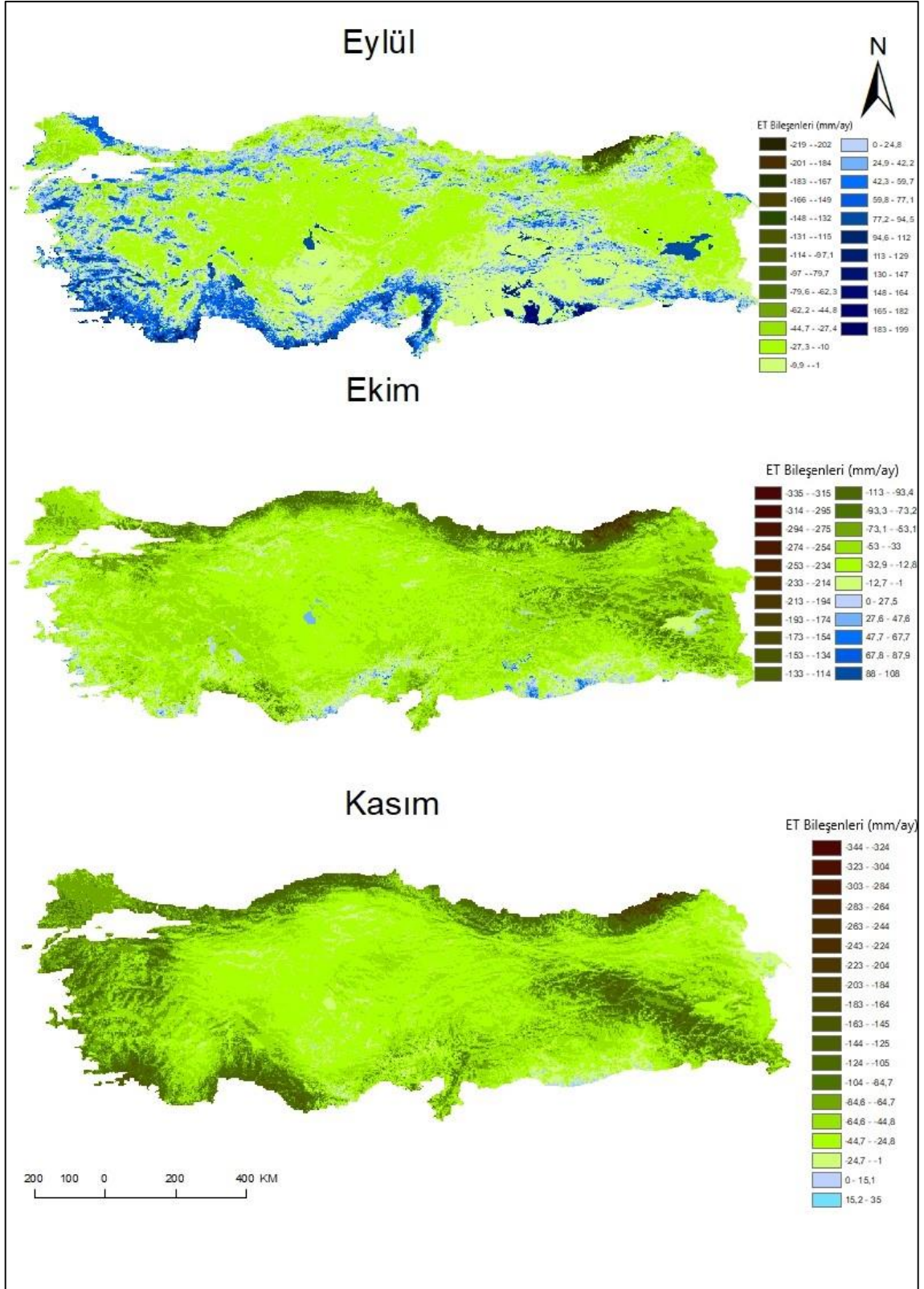
Şekil 4.5. Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları ET bileşenleri

Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında; yağış yetersizliği ve ET'nin fazla olmasından ötürü ülke genelinde ETm artmıştır.

Haziran ayında Doğu Karadeniz, İç Anadolu, Kuzeydoğu Anadolu ve Trakya'nın iç kesimlerinde yeşil bileşen olduğu görülmektedir. Bu durum Karadeniz'in iklim olarak her mevsimin yağışlı geçmesi, Kuzeydoğu Anadolu'nun yazın yağışlı geçmesi, İç Anadolu ve Trakya'nın iç kesimleri, buğday tarımının sulama olmadan yani susuz tarım uygulamaları ile yapılmasından dolayı ET içerisindeki yeşil bileşenin fazla olduğu görülmektedir.

Temmuz ayında Doğu Karadeniz kıyıları hariç ülkenin tamamında ETm'nin çok yoğun olduğu görülmektedir. Bu durumun yaz aylarındaki mevsimsel sıcaklık ve kuraklıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde mavi bileşenin ET'ye katkısının çok yoğun olduğu görülmektedir. Bu alanda bu ayda su ihtiyacı çok fazladır. Özellikle tarım yapılan alanlarda bu ihtiyacın karşılanması için yoğun bir şekilde sulama yapılmaktadır. Bu ayda bölgede suya olan ihtiyaç; Harran Ovasında 263.04 m³ olduğu yapılan çalışmada gösterilmiştir (İlhan ve Utku, 1998).

Ağustos ayında Temmuz ayı gibi mevsimsel sıcaklık ve kuraklıktan kaynaklı mavi bileşen yoğundur. Özellikle iç bölgelerde buğday hasadından sonra, yeşil bileşen azalmış ve burada sulamanın da olmamasından kaynaklı ET minimum düzeye inmiş ya da bazı bölgelerde ET sıfır olmuştur. Bu bölgeler haritalarda açık yeşil renkte gösterilmektedir.



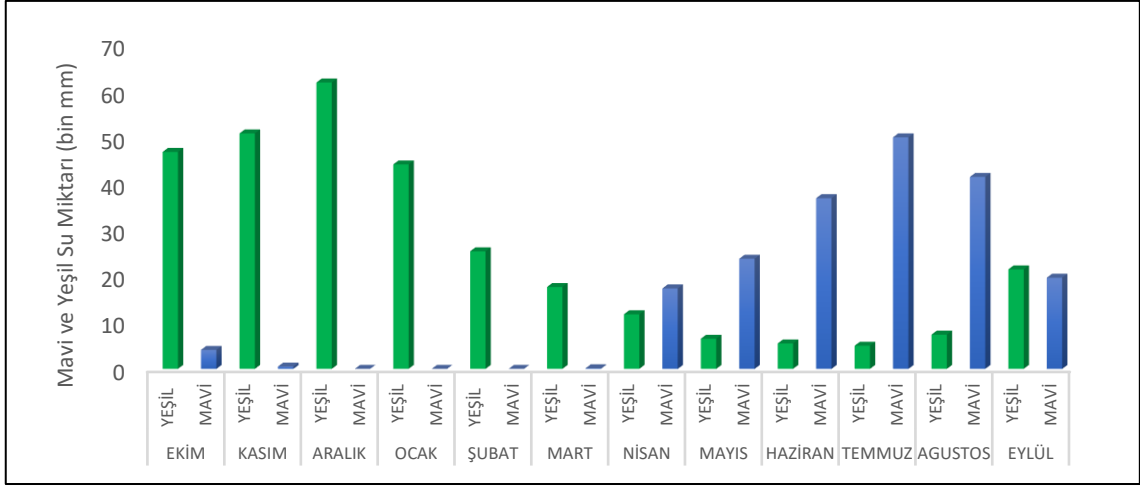
Şekil 4.6. Eylül, Ekim ve Kasım ayları ET bileşenleri

Eylül, Ekim ve Kasım ayları incelendiğinde Eylül ayında Doğu Karadeniz kıyılarının yağışlı olması nedeniyle ETy'nin fazla olduğu, iç kesimlerde yağış azlığı ve bundan dolayı mavi ve yeşil bileşenin ET'ye katkısının olmadığı görülmektedir. Güneydoğu Anadolu bölgesinde özellikle Şanlıurfa ilinin Harran ilçesinin de içinde olduğu bölgede yoğun sulamadan kaynaklı olarak mavi bileşenin çok fazla olduğu haritadan görülmektedir. Aynı ayda; Akdeniz, Ege ve Marmara kıyılarında mavi bileşenin olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde bu ayda yağışın azlığından bitkilerde sulamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Toprakta eksik olan nemin tamamlanması için yapılan sulama ile bölgede, su ayak izi içindeki mavi bileşen de artış olduğu gözlemlenmektedir.

Ekim ayında ülke genelinde yağışların artması nedeniyle mavi bileşen belirgin bir şekilde azalmıştır. Kıyı kesimlerde yeşil bileşenin arttığı görülmektedir, bu da alanlarda yağışın fazla olduğu ve toprağın su ihtiyacının olmadığını göstermektedir. İç kesimlerde yağışın olmaması ve toprakta nem eksikliğinden dolayı ET'nin olmadığı görülmektedir ve bu nedenle yeşil ve mavi bileşen bu ayda olmamaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bu ayda da su ihtiyacının hala fazla olduğu görülmektedir. Bu ayda alanda suya olan ihtiyacın 414.51 milyon m³ olduğu yapılan çalışmalarda görülmektedir (İlhan ve Utku, 1998). Bu ihtiyacın karşılanması için bölgede bulunan barajlar kullanılmaktadır. Bu durumda mavi bileşenin ET'ye katkısını arttırmaktadır.

Kasım ayı, ülke genelinde yağışların arttığı, ülke genelinde hava sıcaklığının düştüğü bir dönemdir. Bu dönemde sulama olmamasından dolayı mavi bileşenin ET'ye katkısı çok azdır. Sadece Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde çok az mavi bileşenin ET'ye katkısı vardır. Bu durum bu ayda Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde özellikle Harran Ovasının sulama alanlarının suya ihtiyacı olduğu görülmektedir. Bu ayda alanda suya olan ihtiyaç 2.57 milyon m³ olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmektedir (İlhan ve Utku, 1998).

Türkiye'deki durum Şekil 4.7'deki grafikte daha iyi görülmektedir.

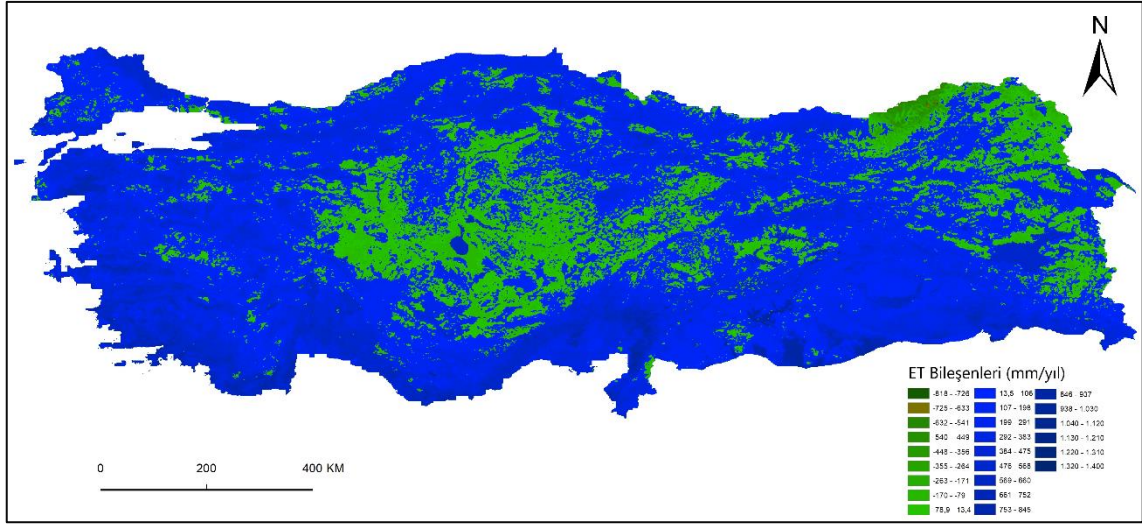


Şekil 4.7. ET içindeki mavi ve yeşil bileşen

Bu grafikte Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında ET içindeki yeşil bileşenin fazla olduğu görülmektedir. Bu aylarda Türkiye’de genellikle yağışın arttığı havaların soğumaya başladığı ve bitki su ihtiyacının en az olduğu dönemler olduğu için Türkiye’de sulamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Dolayısıyla bu aylarda ET içindeki mavi bileşenin sıfır olduğu görülmektedir. Mart ayından itibaren ET içindeki mavi bileşen artmaya başlamış ve yağışın en az olduğu Temmuz ayı zirve yapmıştır. Temmuz ayında ülkedeki ETm miktarı 50.500 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu aylar Türkiye’de bitkilerin su ihtiyacının en fazla olduğu aylardır. Bu aylarda yağış az, sıcaklık fazla, bitki terlemesi ve buharlaşma yani ET yüksektir (TAGEM, D.,2017). Ağustos ayından sonra mavi bileşenin ET’ye katkısı azalmış ve Eylül ayında ise iki bileşenin birbirine yaklaştığı görülmektedir.

4.3. Toplam Su Ayak İzi Sonuç Haritası

Bütün haritaların toplanması ile ET içindeki toplam mavi ve yeşil bileşen oluşturulmuştur. Oluşturulan harita Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



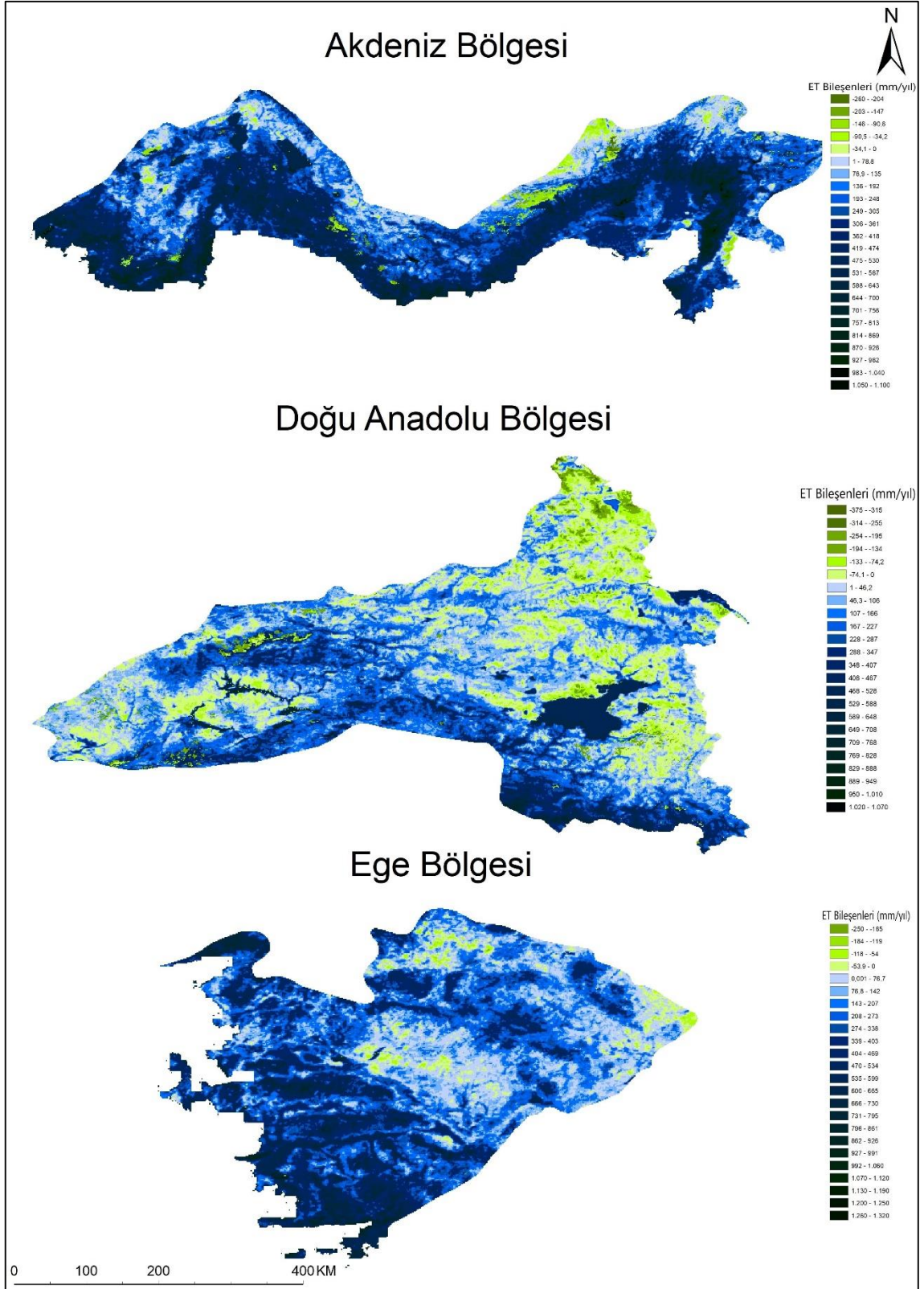
Şekil 4.8. Toplam ET mavi ve yeşil bileşen

Sonuç haritası incelendiğinde; bölgeler arasında farklı değerlerin olduğu, yağışın az olduğu alanlarda ve yoğun sulu tarım yapılan alanlarda su ayak izi içindeki mavi bileşenin yoğun olduğu görülmektedir. Özellikle Güneydoğu Anadolu, Ege Bölgesi, Akdeniz Bölgesinin kıyı kesimleri, Doğu Anadolu Bölgesinin barajlara yakın olan ve tarımın yoğun yapıldığı alanlarda mavi bileşen fazladır. Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimleri özellikle yağışın bol olduğu Doğu Karadeniz bölümü, İç Anadolu Bölgesi'nde buğday tarımının yapıldığı alanlarda, yine Trakya'nın iç kesimlerinde buğday tarımının yapıldığı kesimlerde yeşil bileşen fazladır.

İklimin ET içindeki bileşenlere etkisi yüksek olduğu su ayak izi haritasında görülmektedir. Yağışın fazla olduğu bölgelerde mavi bileşen, az olduğu bölgelerde mavi bileşenin fazla olması iklimin ET'ye etkisini göstermektedir.

4.4. Yedi Bölge Toplam Su ayak İzi Haritaları

Türkiye'de toplam sonuç haritası üzerinden yedi bölge ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Haritalardaki renklendirmeler her harita için ayrı ayrı değerlendirilmelidir.



Şekil 4.9. Bölgeler ET mavi ve yeşil bileşen

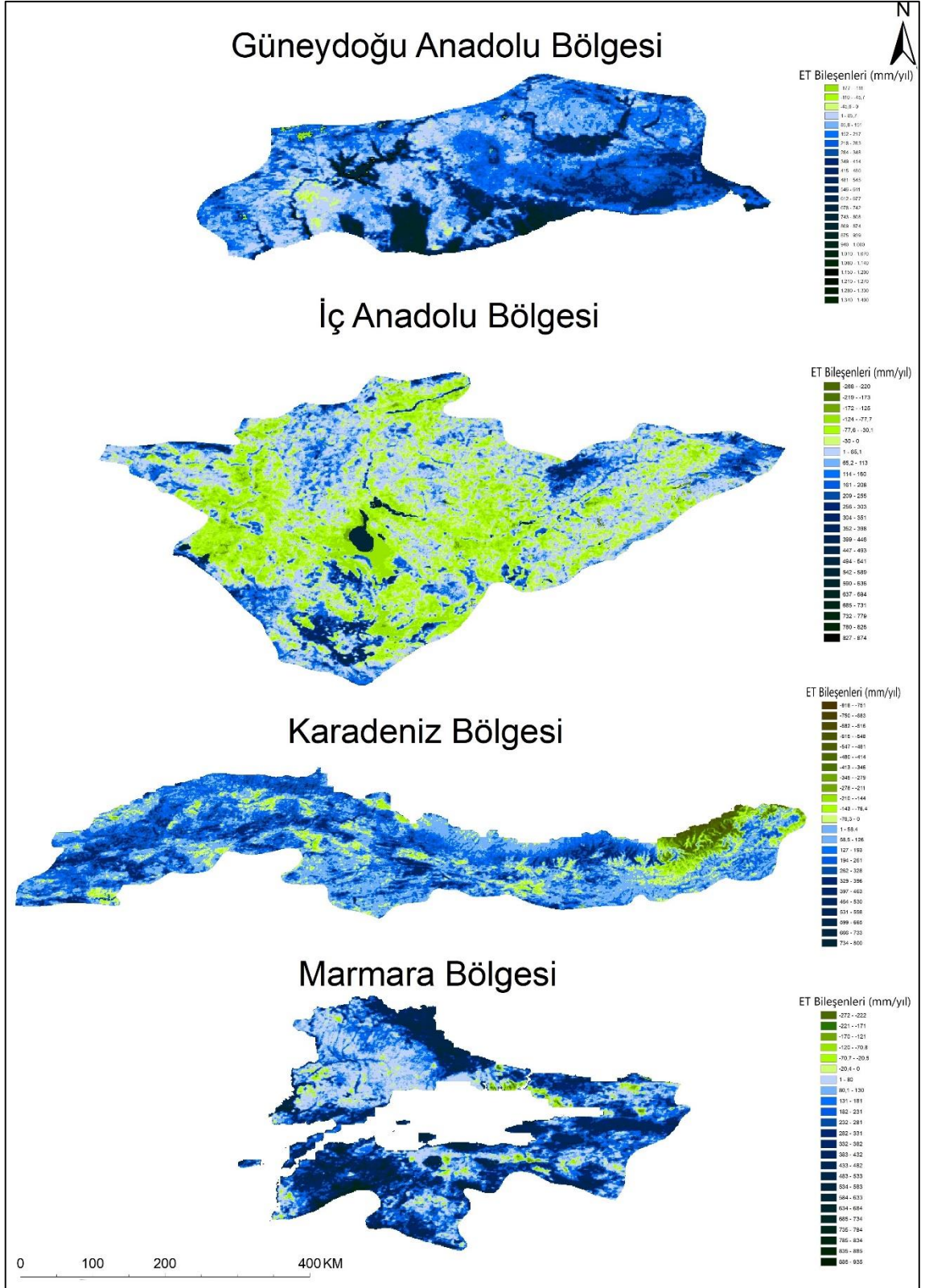
Harita incelendiğinde, Akdeniz Bölgesi'nde mavi bileşenin fazla olduğu yeşil bileşenin daha az olduğu görülmektedir. Özellikle Mersin ve Adana illerinin olduğu yerlerde mavi bileşenin yoğunlaştığı, yeşil bileşenin ise bu illerde çok azaldığı görülmektedir. Adana ili içerisinde yer alan Çukurova'nın olduğu alanda mavi bileşenin yoğunlaştığı harita üzerinde görülebilmektedir. Bu alanda pamuk tarımı yoğun yapılmaktadır ve pamuk hasat dönemine kadar sulandığı için burada mavi bileşen yoğunlaşmaktadır (Alper, 2015). Ayrıca Mersin ili içerisinde yer alan Anamur ilçesinde, Yaz kuraklığının yoğun yaşanması kaynaklı tarım alanlarında sulama yapılmakta, bu durum bu tarım alanlarında mavi bileşenin artmasına neden olmaktadır. Bu durum harita üzerinde gösterilmektedir.

Doğu Anadolu Bölgesi dağlık olduğundan çok fazla tarım alanı yoktur. Yapılan tarım genellikle uygun olan ovalardadır. Bölgede yeşil bileşen mavi bileşenden fazladır. Yeşil bileşenin fazla olmasının nedeni; tarım yapılan alanlarda kuru tarımın yapılması ve özellikle dağlık alanlardaki orman varlığından kaynaklanmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi içerisinde yer alan Malatya ili kayısı tarımı yoğun yapılmaktadır. Son yıllarda kayısı tarımı sulama suyu kullanılmadan yapılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte bölgede kayısı tarımının yapıldığı tarım topraklarında ET içerisindeki yeşil bileşenin fazla olduğu görülmektedir. Bölge içerisinde yer alan, Iğdır Ovası Doğu Anadolu'nun en verimli deltasıdır. Ovanın tarıma uygun alanları 73.768 ha'lık alana denk gelmektedir. 1953 yılından itibaren sulama projelerinin yapılmasıyla birlikte topraklarında verim de artmıştır (http 4). Doğu Anadolu'da farklı mikroiklim bölgesinde bulunan Iğdır Ovası'nda her türlü sebze ve meyve yetiştirilebilmektedir. Iğdır Ovası'nın bu durumu, ovadaki tarım arazilerinin ve sulu tarımın yoğun yapılmasına neden olmuştur. Iğdır Ovası'nda iklimsel nedenlerle sulu tarımın fazla yapılması ET içerisindeki mavi bileşenin belirgin bir şekilde fazla olmasına neden olmaktadır. Bu durum Şekil 4.9'da görülmektedir.

Ege Bölgesi'nde yeşil ve mavi bileşenler birbirine yakın görünmektedir. Ancak Ege Bölgesi'nin yoğun tarım yapılan ovaları olan; Küçük Menderes, Büyük Menderes, Gediz ve Bakırçay gibi ovalarda yoğun sulamadan kaynaklı olarak mavi bileşen yoğun olarak görülmektedir. Bu ovalarda ilkbaharın son aylarından itibaren sulama faaliyetleri yapıldığından mavi bileşen fazla olarak gerçekleşmektedir. Ege Bölgesi iç kesimlerinde yani İç Ege bölümünde özellikle Kütahya ve Afyon'u içine alan bölgede yeşil bileşenin

mavi bileşenden fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu bölümde yağış azlığından genellikle sulama suyu ihtiyacı olmayan buğday arpa gibi tahılların yetiştirilmesi olarak görülebilmektedir.





Şekil 4.10 incelendiğinde; Güneydoğu Anadolu Bölgesi Türkiye'nin en kurak bölgesidir. İlkbaharın yağışlı yazı kurak geçen bölgede ET'nin mavi bileşeni fazladır, özellikle GAP'ın etkisiyle bölgede sulama yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Özellikle bölgenin güneyinde, Şanlıurfa Harran Ovası'nın olduğu bölge mavi bileşen yoğun olduğu görülmektedir. GAP, ülkemiz su kaynakları potansiyelinin % 28'ini oluşturan, Fırat ve Dicle havzalarının verimli bir şekilde kullanılması amacıyla oluşturulmuş, yaklaşık 1.800.000 ha sulama alanı ile büyük kapsamlı bir su kaynakları geliştirme projesidir. Şanlıurfa ili sulamaları da GAP sulamalarının yaklaşık %50'sini kapsamaktadır. Harran Ovası Şanlıurfa ilinde en fazla sulama yapılan ovadır (Sepetçioğlu vd, 2020). Güneydoğu Anadolu ET içindeki mavi bileşenin fazla olması ülkede en fazla sulamanın burada olduğunu göstermektedir.

İç Anadolu Bölgesi'nde yeşil bileşen mavi bileşenden az olduğu görülmektedir. İç Anadolu Bölgesi Türkiye'de Güneydoğu Anadolu'dan sonra en kurak ikinci bölgedir. Bundan dolayı tarımda genellikle su isteği az olan, yağışlı dönemde yetişen kurak aylarda hasat edilen tahıliller tercih edilmektedir. Özellikle buğday tarımı yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Buğday sonbahar ekilip ilkbahar yağmurlarıyla yetişip yazın hasat edilmektedir sulama suyu ihtiyacı yoktur (Alper, 2015). Bu durum İç Anadolu Bölgesi'nin kurak olmasına rağmen yeşil bileşenin var olmasını sağlamıştır. İç Anadolu Bölgesi'nde, ET içindeki mavi bileşen haritada mavi renk ile gösterilmiştir. Mavi rengin hâkim olduğu alanlar genellikle şekerpancarı, patates, soğan ve bazı meyve ağaçlarının yetiştirildiği tarım topraklarıdır (Tümenbatur, A. 2012). Bu tarım topraklarında, yoğun sulama yapıldığı için mavi bileşende yoğunlaşmıştır.

Marmara Bölgesi'nde, yeşil bileşen mavi bileşenden fazladır. Bursa Ovası'nın içinde bulunduğu alanlarda yeşil bileşenin fazla olduğu, Çanakkale illinin olduğu yerlerde mavi bileşenin fazla olduğu, Marmara'nın kuzeybatı kesimlerinde Trakya olarak adlandırılan alanda, toplamda 1.315.000 ha ekilebilir tarım alanının 12.500.000 ha alanının kuru tarım, 160.000 ha alanının sulu tarım olduğu görülmektedir. Trakya'nın iç kesimlerinde kuru tarım yapılan alanlarda kuru tarım olarak buğday ve ayçiçeği tarımı yapıldığı ve bu kesimde yeşil bileşenin fazla olduğu görülmektedir ([http 5](http://5)). Trakya'nın iç kısımları karasal iklimin görüldüğü ve aslında yazı kurak geçen bir bölüm olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı bölgenin iç kesimlerinde sulama yapılmaması yanı kuru tarım yapılması nedeniyle ET içindeki yeşil bileşenin fazla olmasına neden olmaktadır.

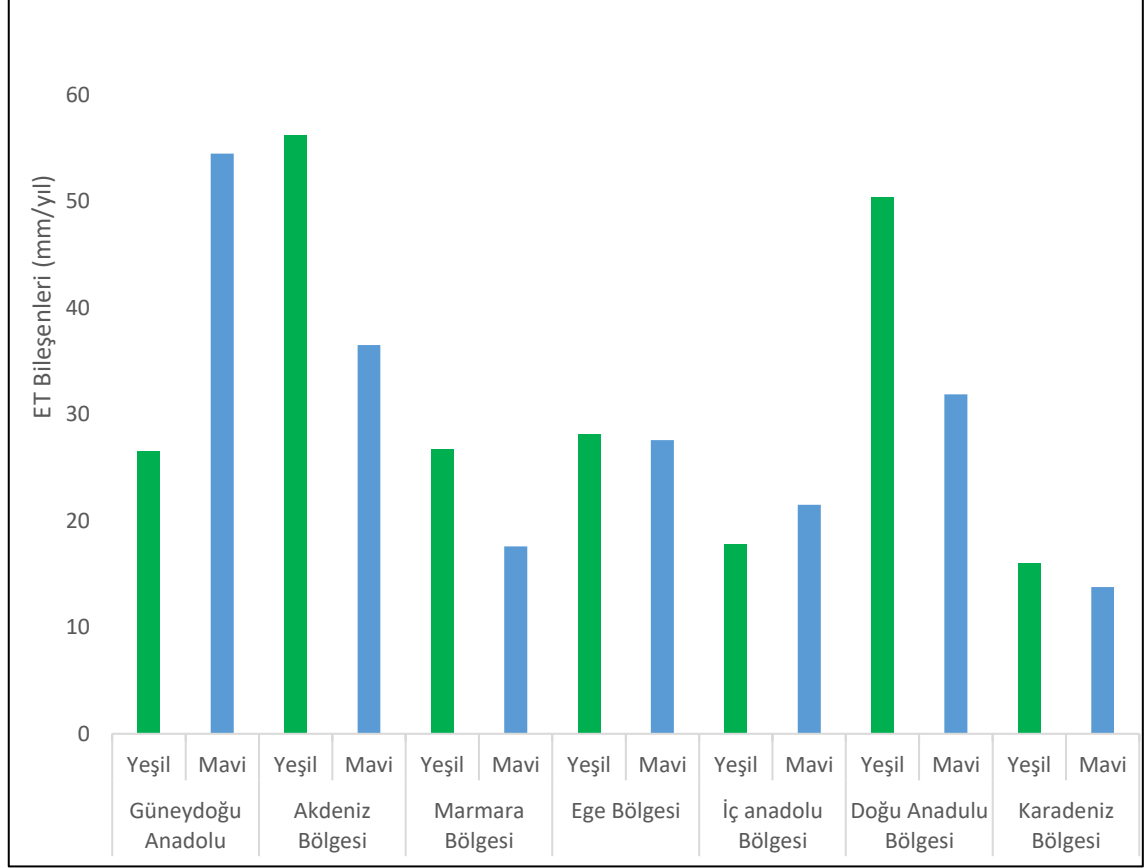
Marmara Bölgesi'nin güneyinde, çeltik tarımı yapılmaktadır. Türkiye çeltik yetiştiriciliğinde Güney Marmara Bölgesi önemli bir potansiyele sahiptir. Bölge, Türkiye çeltik ekilişinin %29,58'ini, üretiminin ise %28,20'ini karşılamaktadır. Çeltik bitkisi yapısı gereği yetiştirme döneminde yoğun su tüketmekte, hasat zamanında ise suya ihtiyaç duymamaktadır. Yetiştirme dönemi dikkate alındığında, Güney Marmara'da çeltik tarımının yapıldığı tarım topraklarında ET içindeki mavi bileşen arttığı görülmektedir.

Karadeniz Bölgesi, Türkiye'de en fazla yağış alan bölgemizdir. Özellikle Doğu Karadeniz Bölümü her mevsim yağış alır. Bundan dolayı Karadeniz Bölgesinde ET'nin yeşil bileşeni çok yüksek olmaktadır. Bölgede yağışın biraz daha azaldığı Orta Karadeniz bölümünde mavi bileşen artmıştır.

Karadeniz Bölgesi'nde yoğun bir şekilde tarımı yapılan bitki olan mısır 155,623 ha'da üretilmektedir. Özellikle Orta Karadeniz bölümünde, Samsun'da 46.3 ha ile toplam mısır üretiminin % 44 bu ildir (Kapar ve Ahmet, 2006). Mısır bitkisinin yetiştirme döneminde bol su istemesi, yağışın az olduğu dönemde sulama ihtiyacının olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle Orta Karadeniz bölümünde ET içindeki mavi bileşen fazladır.

Türkiye'de mevcut 7 bölge incelendiğinde, bölgeler arasında ET'nin mavi ve yeşil bileşenleri arasında farkların bulunduğu görülmektedir. Haritalardaki piksel değerlerinin

toplanmasından elde edilen grafik, ET içindeki yeşil ve mavi bileşen açısından farkları görülmesini sağlamaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Türkiye Bölgeler ET mavi ve yeşil bileşen miktarları (mm/yıl, bin).

Bu değerlendirmeler genel olarak fikir verse de, daha ayrıntılı ve bitki bazlı değerlendirme daha seçici olacaktır. Çünkü ay ve bölge değerlendirmelerinde Türkiye'nin tüm toprakları dikkate alınmıştır, yani ormanlık alanlar, tarımsal alanlar, meralar, çorak alanlar, çalılıklar vb. birçok arazi yüzeyi karışıktır. Bundan dolayı CORINE verileri kullanılarak bitkisel bazda değerlendirme yapılacaktır.

4.5. CORINE Sınıfları Kullanılarak Değerlendirme

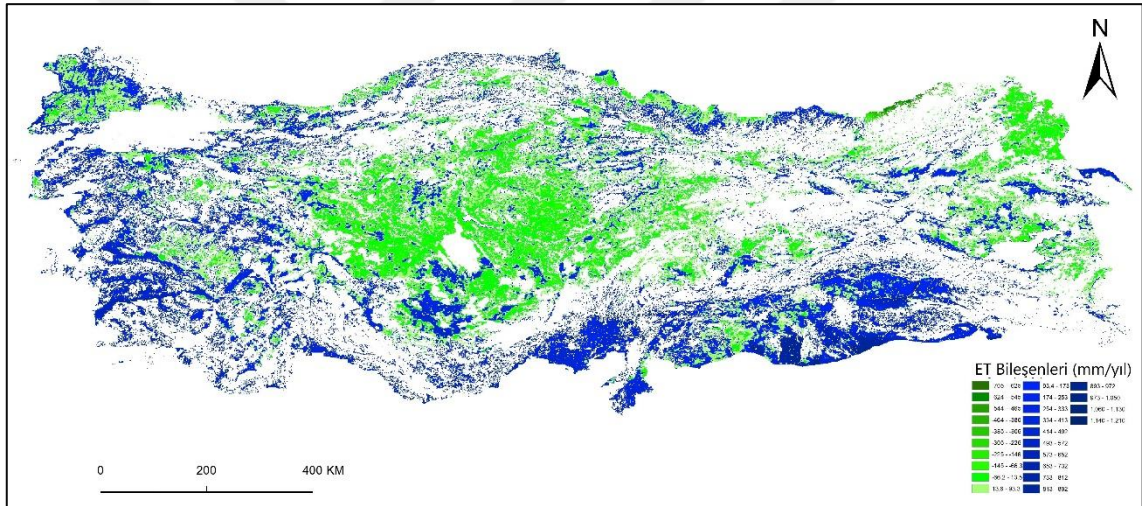
Bu bölümde CORINE verileri kullanılarak, yapılan işlemler sonucundaki verilerin değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Toplam sonuç haritasının içerisinde farklı arazi örtüsü alanları bulunmaktadır. Bunlar CORINE verilerine göre;

- Şehir yapıları,

- Endüstri, ticaret ve ulaşım birimleri,
- Maden ocağı, boşaltım ve inşaat sahaları,
- Yapay, tarımsal olmayan yeşil alanlar,
- Ormanlar,
- Maki ve otsu bitkiler,
- Bitki örtüsü ile kaplı olmayan veya az miktarda bitki örtüsü ile kaplı açık alanlar,
- Karasal bataklıklar, Karasal İç Sular gibi arazi örtüsü ve arazi kullanım alanlarıdır.

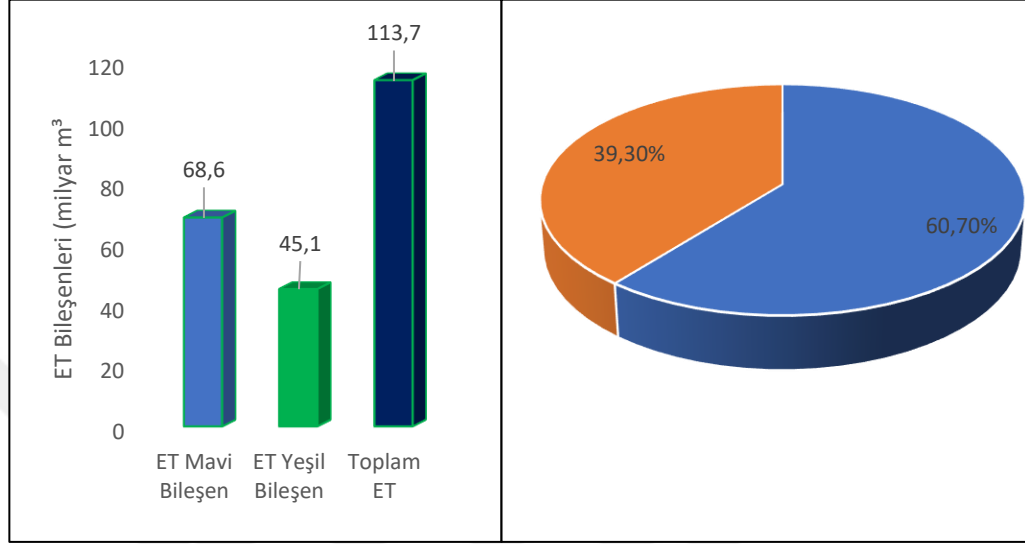
Tezin konusu tarım alanlarındaki yetiştirilen bitkisel su ayak izini hesaplamak olduğu için toplam sonuç haritasından diğer alanlar çıkarılıp, tekrar harita oluşturulmuş ve hesaplamalar yapılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Tüm tarım alanları (CORINE verileri) ET mavi ve yeşil Bileşen

Şekil 4.12 incelendiğinde, ülkenin güney ve batı kesimlerinde mavi bileşenin fazla olduğu görülmektedir. İklimsel nedenlerden kaynaklanan bu duruma göre, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde özellikle GAP bölgesi sulama alanında ET içindeki mavi bileşen miktarının çok fazla olduğu, Akdeniz Bölgesi'nde Çukurova'da mavi bileşenin fazla olduğu, yine Akdeniz Bölgesi'nde kıyı kesimlerde mavi bileşenin yoğun olduğu, Ege Bölgesi; Küçük Menderes, Büyük Menderes, Gediz ve Bakırçay havzalarında mavi bileşenin fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 4.12'deki bileşenler hesaplandığında ülkenin tamamında ET içindeki mavi bileşenin; 68,6 milyar m³, yeşil bileşenin 41,5 milyar m³ ve toplam ET'nin 113,7 milyar m³ olduğu hesaplanmıştır (Şekil 4.13).

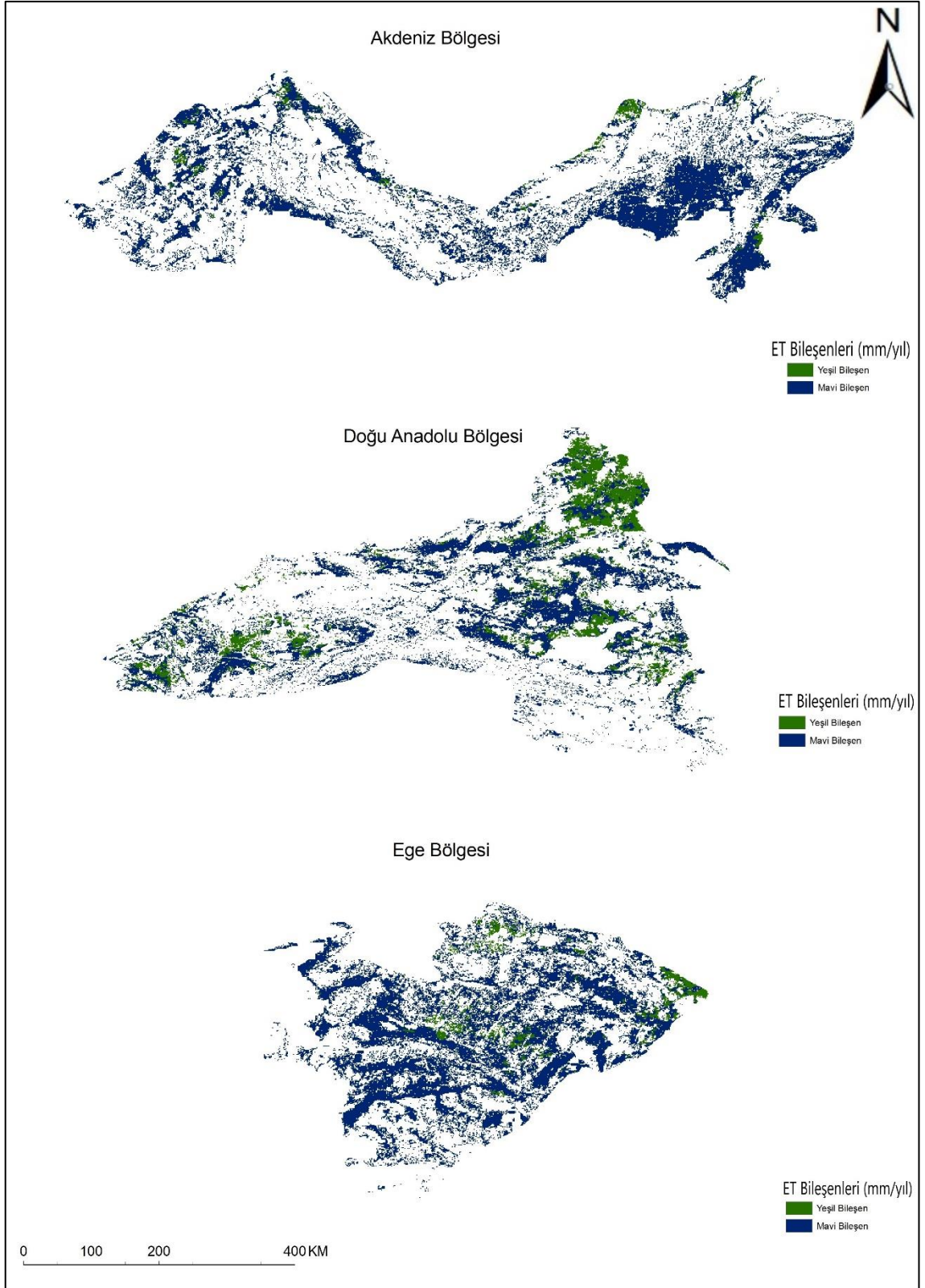


Şekil 4.13. Yeşil, mavi ve toplam ET miktarları ve oranları

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 bölge topraklarının tamamını kapsamaktadır. Tezin konusu itibariyle bazı alanlar konu dışı olduğu için haritalardan çıkarılmıştır. Bu alanlar CORINE Türkiye verilerinden alınmıştır. Veriler şunlardır:

- Şehir yapıları,
- Endüstri, ticaret ve ulaşım birimleri,
- Maden ocağı, boşaltım ve inşaat sahaları,
- Yapay, tarımsal olmayan yeşil alanlar,
- Ormanlar,
- Maki ve otsu bitkiler,
- Bitki örtüsü ile kaplı olmayan veya az miktarda bitki örtüsü ile kaplı açık alanlar, karasal bataklıklardır.

CORINE sınıfları kullanılarak elde edilen bölgeler bazında değerlendirme Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de gösterilmiştir.



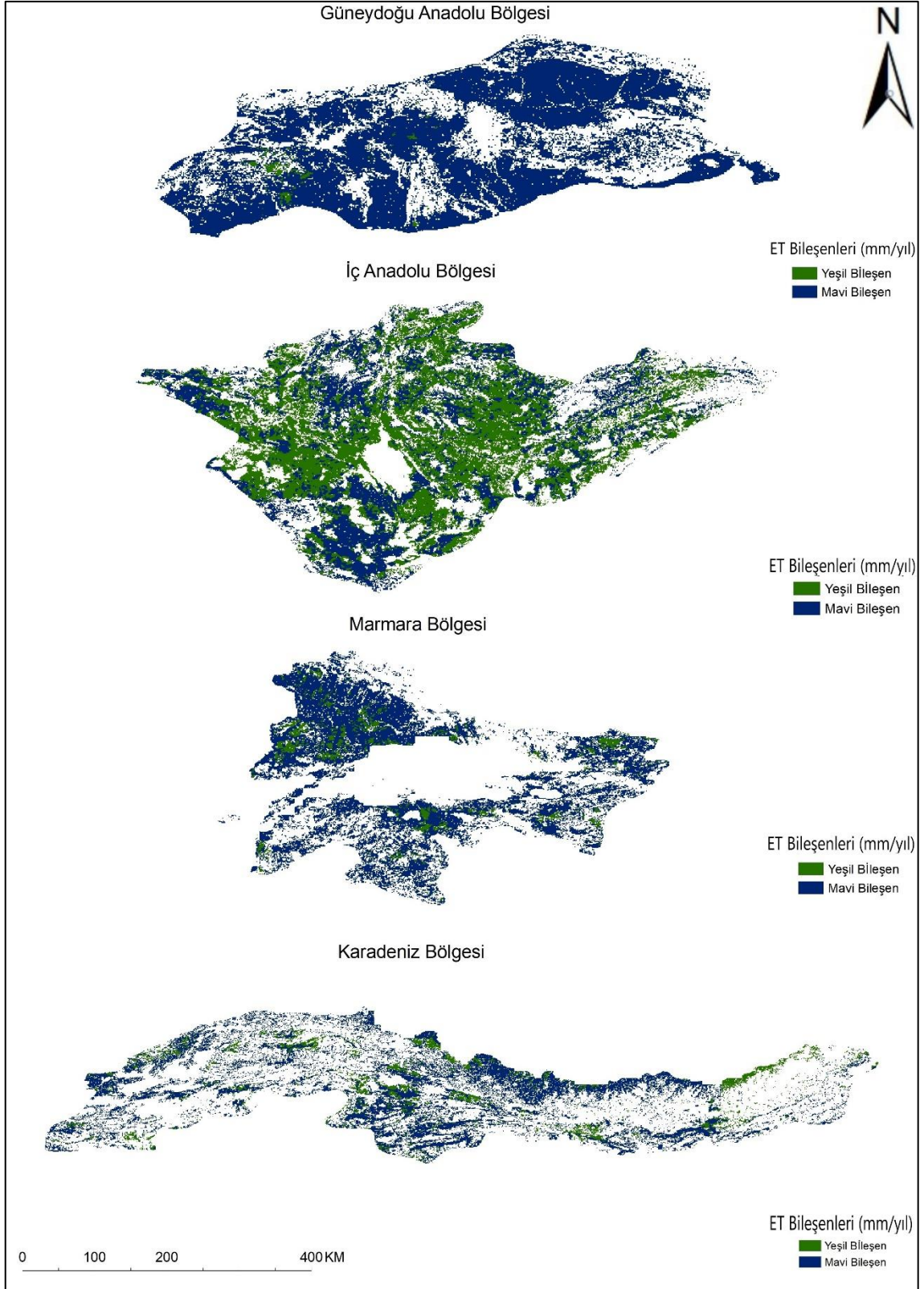
Şekil 4.14. Bölge tarım alanları (CORINE verileri) ET bileşenleri

Şekil 4.14'e bakıldığında, ETm'nin en fazla Akdeniz ve Ege Bölgeleri'nde olduğu gözlemlenmiştir.

Ege Bölgesi'nde akarsu havzaları çevresinde CORINE verilerine göre sürekli sulak alanlara denk gelen bölgede ET içindeki mavi bileşenin çok yoğun olduğu görülmektedir. Ege Bölgesi iç kısımlarında CORINE verilerine göre, sulanmayan ekilebilir alanlar, doğal bitki örtüsü ile ekilebilir tarım alanları ve karışık tarım alanlarında yeşil bileşenin olduğu görülmektedir.

Doğu Anadolu Bölgesi'nde özellikle Iğdır'da, CORINE verilerine göre karışık tarım alanları olarak geçen alanda ET içindeki mavi bileşen miktarının fazlalığı göze çarpmaktadır. Ayrıca Doğu Anadolu Bölgesi içerisinde yer alan Keban ve Karakaya baraj gölleri çevresi, yoğun sulamadan kaynaklı mavi bileşenin fazla olduğu, bu alanlarda karışık tarım alanları ve sürekli sulanan alanlar sınıfında olduğu gözlemlenmiştir.

Akdeniz Bölgesi içerisinde yer alan Çukurova'da tarımı yapılan pamuk bitkisinin etkisiyle bölgede mavi bileşen fazla olmuştur. Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre, 36.721 ha'da pamuk tarımı yapılmaktadır. Pamuk yetiştirme döneminde su isteyen bir bitkidir. Özellikle yaz aylarında yetiştiği bölgede fazla sıcaklıkların olması ve yağış az olması nedeniyle sulamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum bu alanda mavi bileşenin artmasına neden olmaktadır. CORINE verilerine göre bu alanlar, sürekli sulanan alanlar ve meyve bahçeleridir.



Şekil 4.15. Bölge tarım alanları (CORINE verileri) ET bileşenleri

Şekil 4.15’de dört bölgemizin tarım alanlarının mavi ve yeşil bileşenini göstermektedir. Yapılan hesaplama sonucu oluşturulan haritaya bakınca;

Güney Doğu Anadolu Bölgesi CORINE verilerine göre karışık tarım alanları olarak geçen Şanlıurfa Harran Ovası’nda mavi bileşenin fazla olduğu, bölgede yer alan mera alanlarının ET’nin yeşil bileşeninin fazla olduğu görülmektedir.

İç Anadolu’da CORINE verilerine göre tahıl tarımı yapılan arazide yeşil bileşenin fazla olduğu, bölgenin güneyinde CORINE sınıflandırmasına göre sürekli sulanan alanın mavi bileşenin olduğu haritada gözlemlenmektedir.

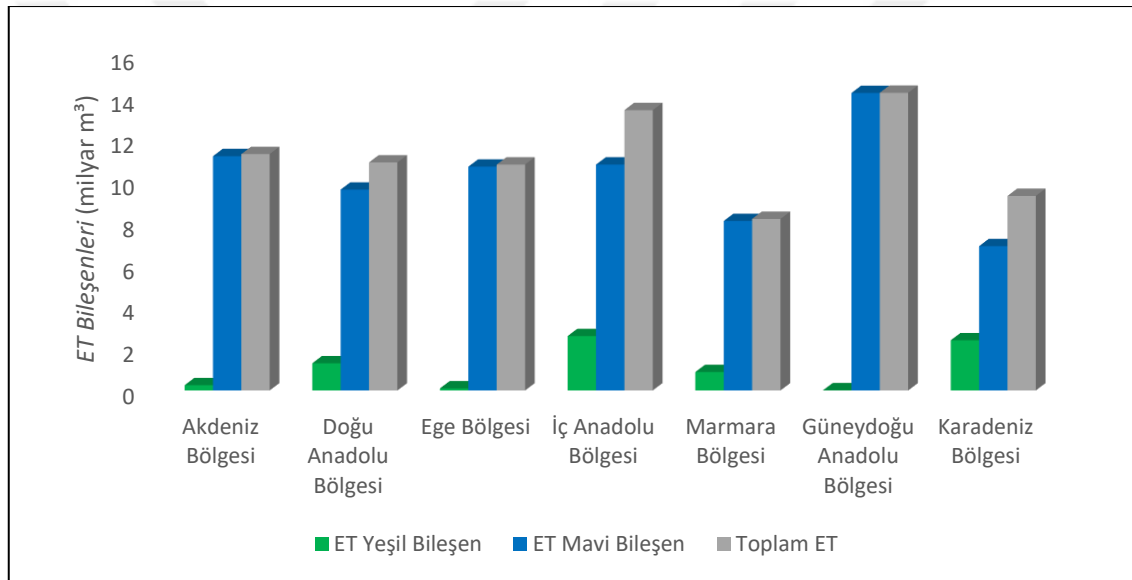
Marmara Bölgesi’nin güneyinde; CORINE verilerine göre karışık tarım alanlarının, pirinç tarımı yapılan toprakların, mavi bileşenin fazla olduğu, ayrıca sürekli sulanan alan olarak geçen kısımlarda mavi bileşenin fazla olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca bölgenin iç kesimlerinde kuru tarım yapılan alanlarda CORINE verilerine göre sulanmayan tarım alanlarına denk gelen bölümünde ET içindeki yeşil bileşenin fazla olduğu harita üzerinde gözlemlenmektedir.

Karadeniz Bölgesi’nde CORINE verilerine göre; meyve bahçeleri, mera alanları ve sulanmayan ekilebilir alanlarda ET içindeki yeşil bileşenin fazlalığı gözlemlenmiştir. Mavi bileşenin iç kısımlarda yağış azlığıyla, yine meyve bahçelerinde olduğu gözlemlenmiştir. Karadeniz Bölgesi’nde kıyı ve iç kesim arasında ET bileşenleri konusunda fark vardır, kıyı kesiminde daha çok yeşil bileşenin olduğu harita üzerinde gözlemlenmektedir.

Türkiye’de mevcut 7 bölge incelendiğinde, bölgeler arasında ET’nin mavi ve yeşil bileşenleri arasında farkların bulunduğu görülmektedir. Haritalardaki piksel değerlerinin toplanmasından elde edilen veriler Tablo 4.1 ve Şekil 4.16’da gösterilmektedir. Bu tablo ve şekilde ET içindeki yeşil ve mavi bileşen açısından farkların görülmesi sağlanmaktadır.

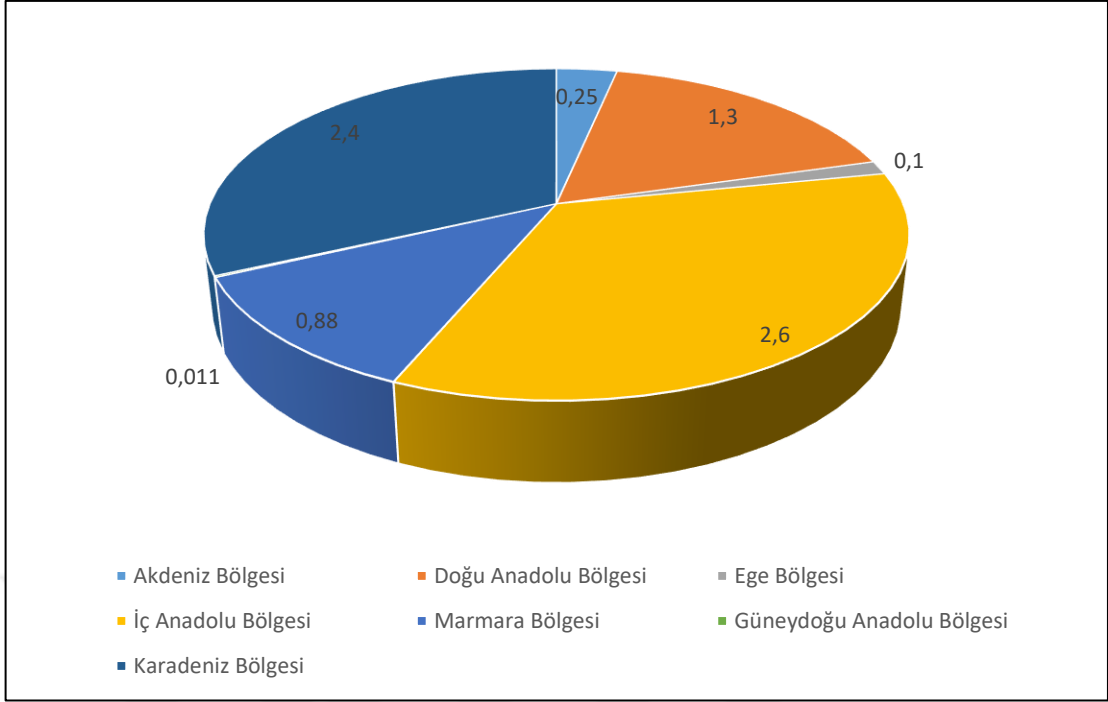
Tablo 4.1. CORINE verileri ile elde edilmiş bölgeler ET bileşen miktarları

Bölgeler	ET Yeşil Bileşen İzi (milyar m ³)	ET Mavi Bileşen (milyar m ³)	Toplam ET (milyar m ³)
Akdeniz Bölgesi	0,25	11,2	11,3
Doğu Anadolu Bölgesi	1,3	9,6	10,9
Ege Bölgesi	0,107	10,7	10,8
İç Anadolu Bölgesi	2,6	10,8	13,4
Marmara Bölgesi	0,88	8,1	8,2
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	0,011	14,22	14,23
Karadeniz Bölgesi	2,4	6,9	9,3

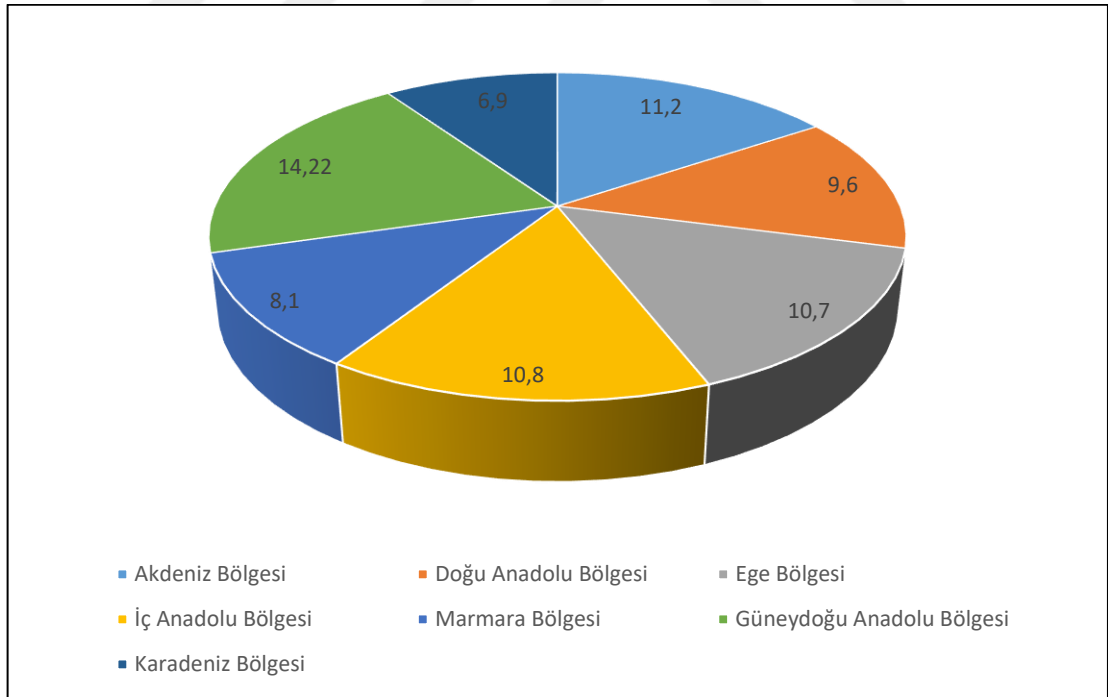


Şekil 4.16. Türkiye Bölgeler ET mavi ve yeşil bileşen (milyar m³/yıl)

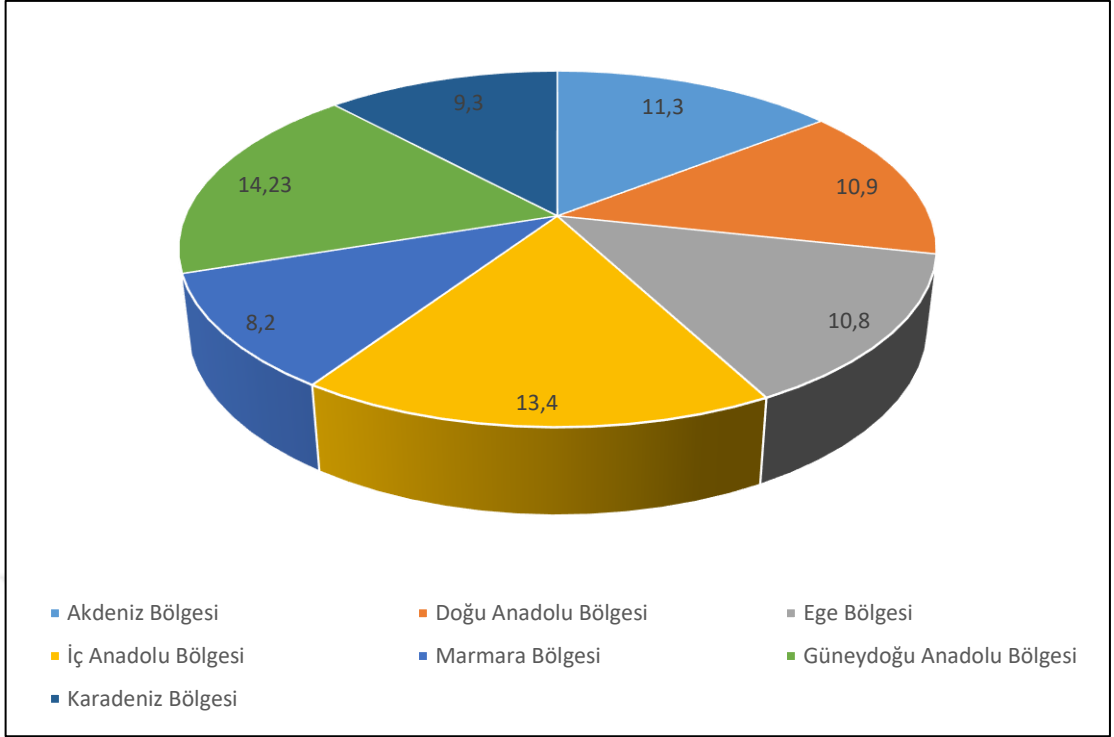
Bölgelerin, ET içindeki mavi ve yeşil bileşen ve toplam ET değerleri incelendiğinde; toplam su Tarımsal su kullanımının en fazla Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, yeşil Bileşenin İç Anadolu Bölgesi'nde ve mavi bileşenin ise yine Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yüksek olduğu görülmektedir. Aşağıdaki pasta grafiklerde bu durum daha iyi anlaşılmaktadır (Şekil 4.17, Şekil 4,18 ve Şekil 4,19).



Şekil 4.17. Bölgeler yeşil Bileşen (milyar m³/yıl)



Şekil 4.18. Bölgeler mavi bileşen (milyar m³/yıl)

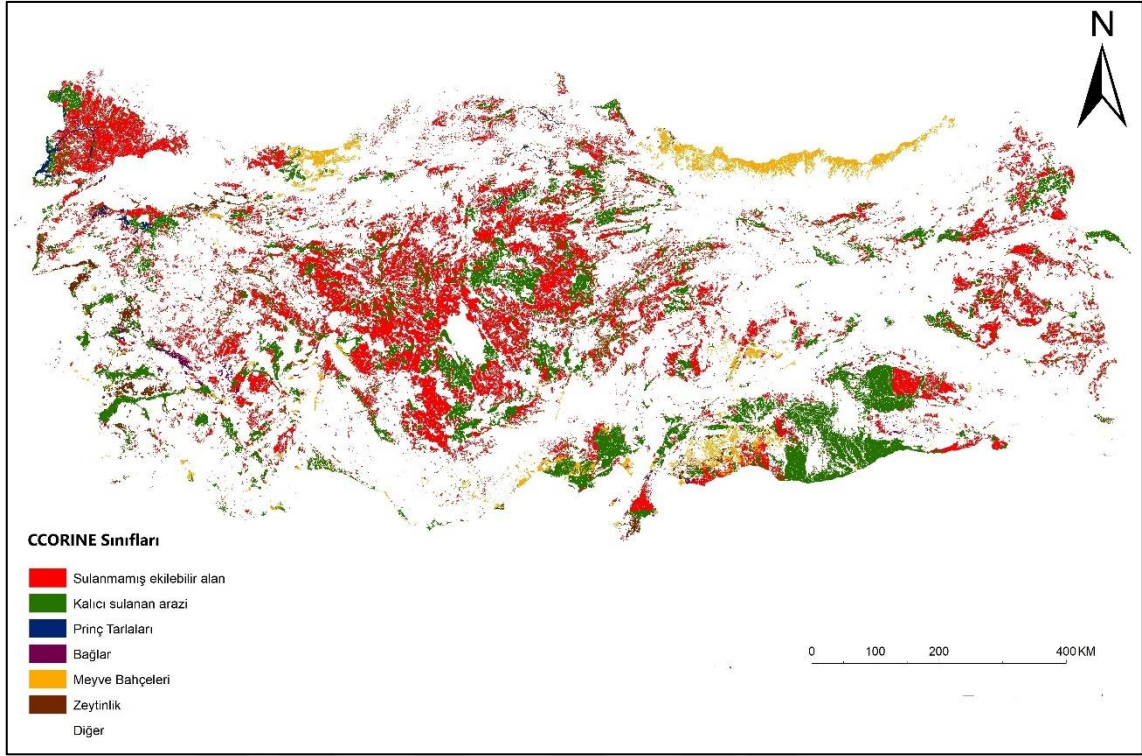


Şekil 4.19. Bölgeler toplam tarımsal su tüketimi (milyar m³/yıl)

Bu değerlendirmeler genel olarak fikir verse de, daha ayrıntılı ve bitki bazlı değerlendirme daha seçici olacaktır. CORINE verileri kullanılarak bitkisel bazda değerlendirme yapılacaktır. Bununla birlikte daha ayrıntılı bir değerlendirme olacaktır.

4.6. Bitkisel Değerlendirme

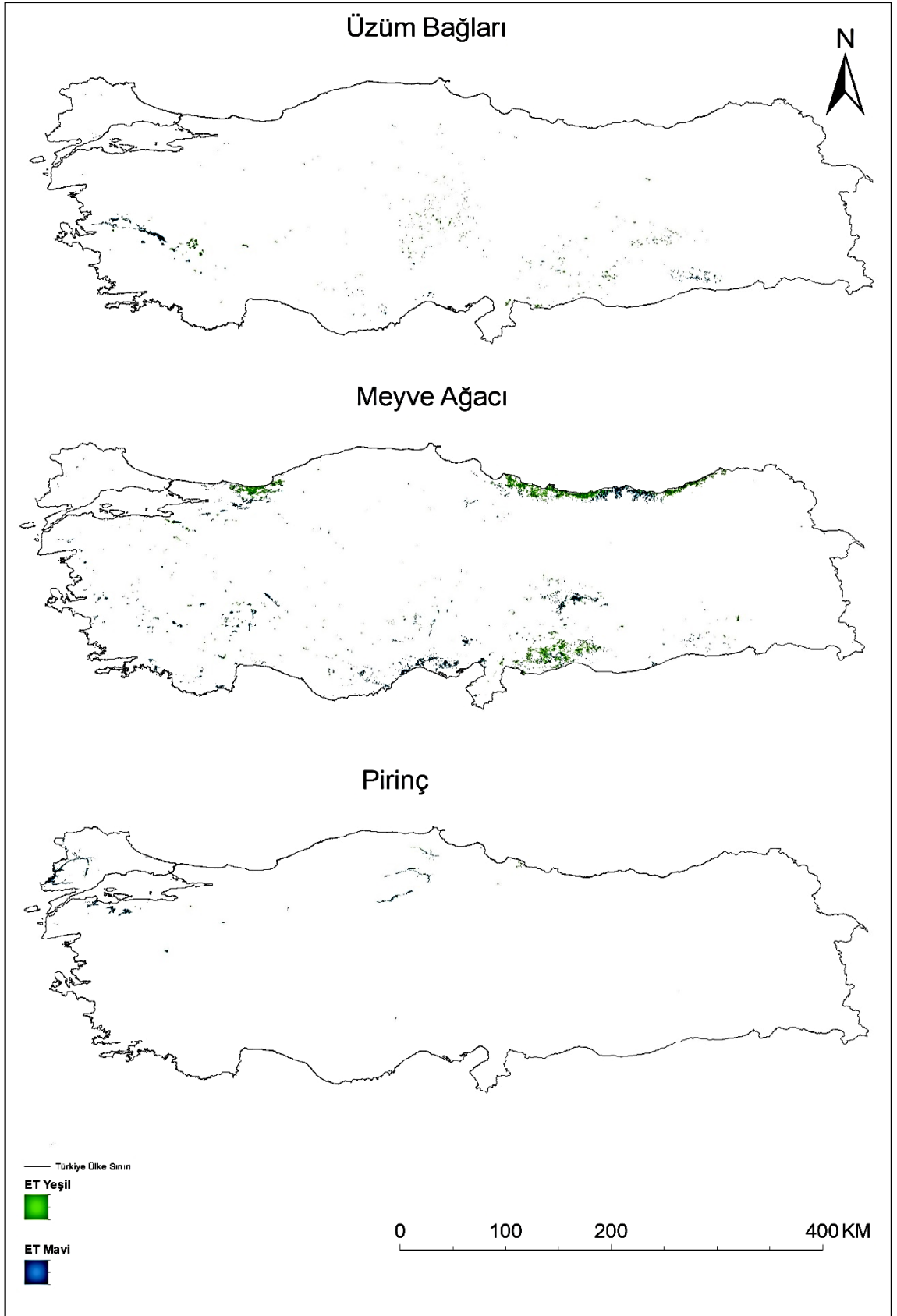
İndirilen 2018 yılı 4. Seviye CORINE verilerinden bu çalışmanın kapsamına giren tarımsal alanlara ait arazi yüzey verileri kullanılmıştır. Bu veriler içerisinde; bağlar, zeytinlik alanlar, toplam sulanan alanlar, sulanmayan alanlar, pirinç tarlaları ve meyve bahçeleri verileri kullanılmıştır. CORINE tarım sınıflaması içinde olan mera, alanları ve ormanla karışık tarım alanları sınıfları kullanılmamıştır. Kullanılan sınıflar Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



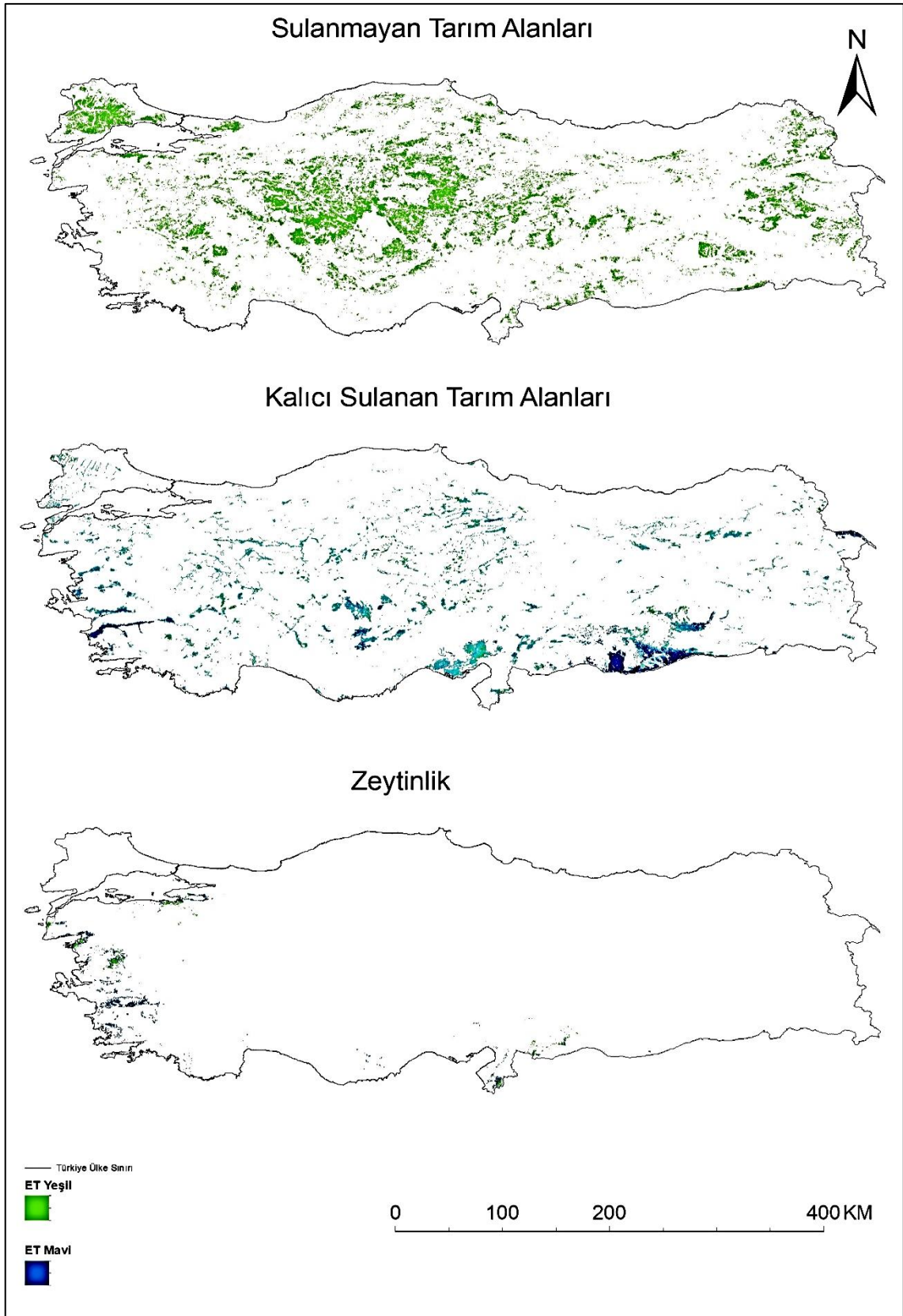
Şekil 4.20. CORINE 4. seviye sınıfları

CORINE verileri ile toplam sonuç haritasından kesilen ET bileşen verileri iki haritada gösterilmiştir haritaların altında haritalardan alınan verilerle elde edilen grafik ve açıklamaları Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de gösterilmiştir.

Veriler, ArcGIS’in ArcMap arayüzü kullanılarak tek tek diğer verilerden ayrılmıştır. Kullanılacak olan veriler aşağıdaki ET bileşenleri ile anlatılmıştır.



Şekil 4.21. CORINE verileri ET bileşenleri

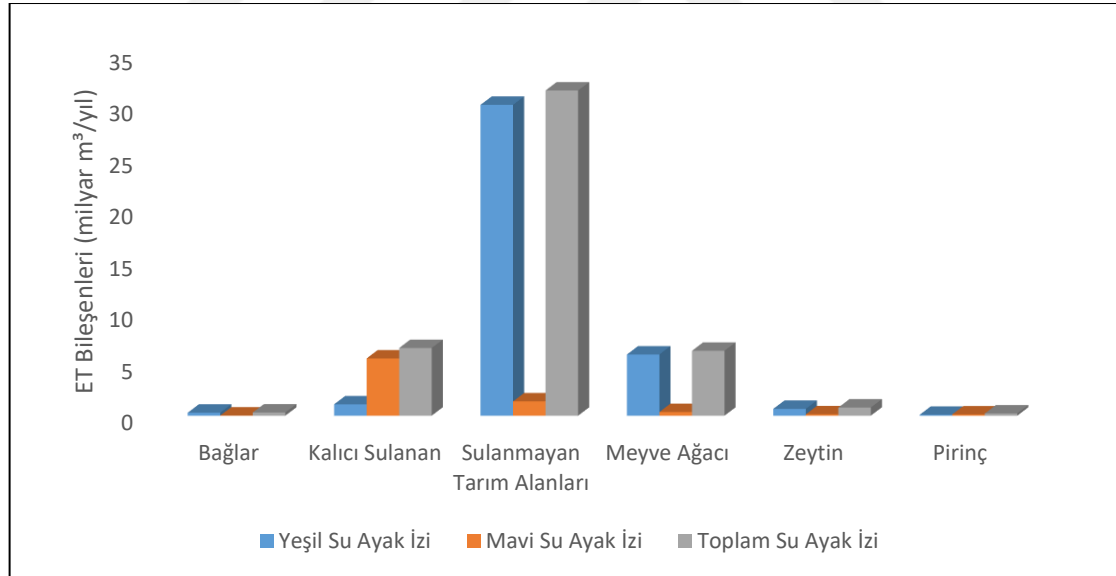


Şekil 4.22. CORINE verileri ve ET bileşenleri

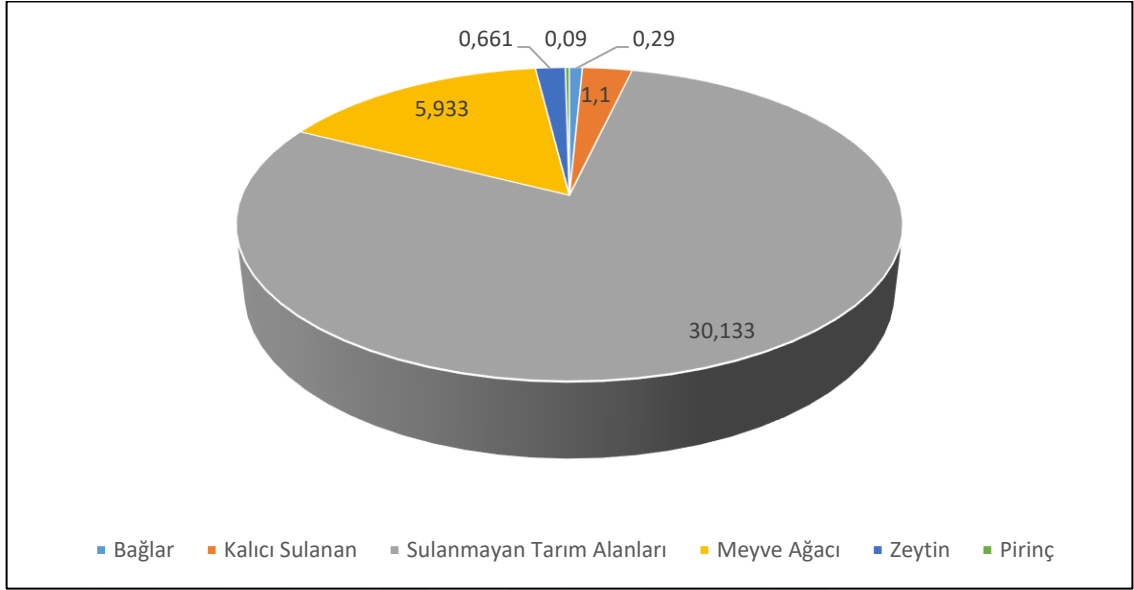
CORINE verileri kullanılarak yapılan hesaplamalara bakıldığında; yeşil bileşenin en fazla 30,1 milyar m³/yıl ile sulanmayan tarım alanlarında olduğu, mavi bileşenin ise kalıcı sulanan alanlarda olduğu hesaplamalar sonucu ortaya çıkmaktadır. Sulanmayan tarım alanlarının ET değeri içindeki yeşil bileşenin çok fazla olduğu görülmektedir. Tablo 4.2’de altı bitkinin ET bileşenleri ve toplam su ayak izi gösterilmektedir. Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’te altı sınıfın ET bileşenleri ve grafikleri verilmiştir.

Tablo 4.2. Bitkisel değerlendirme ET bileşenleri ve toplam su tüketimi

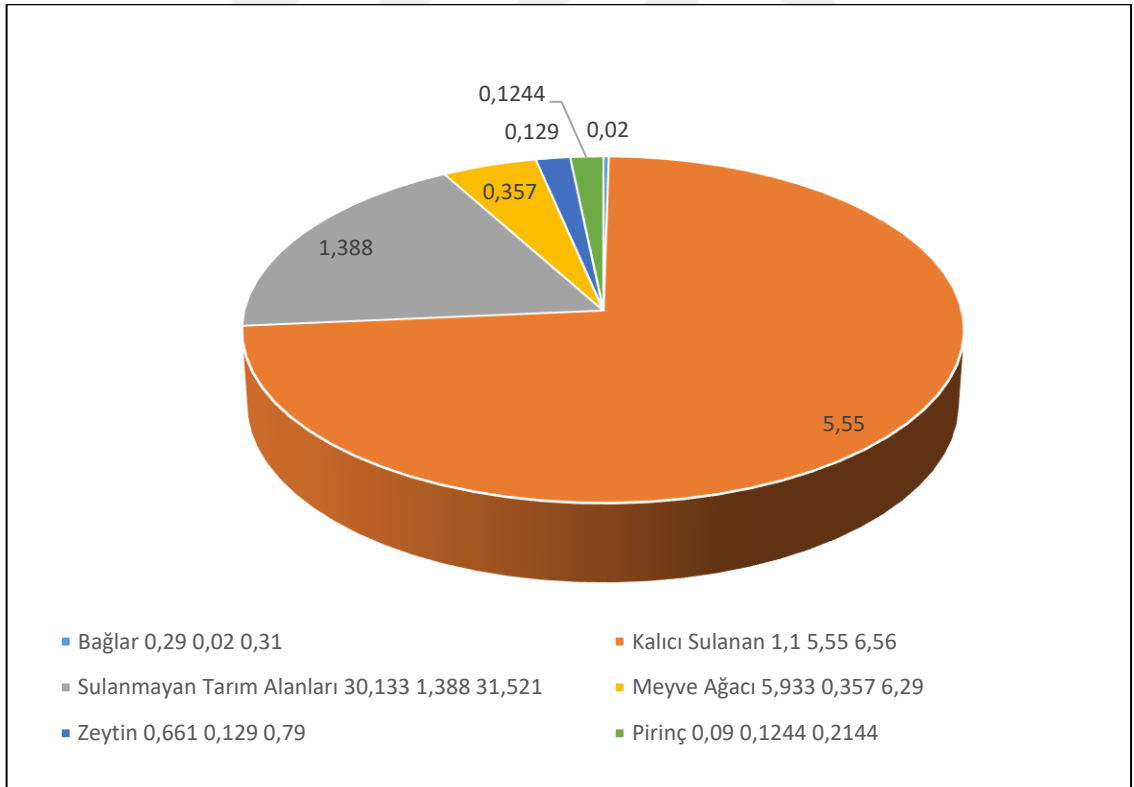
Su Ayak İzi	Bağlar	Kalıcı Sulanan	Sulanmayan Tarım Alanları	Meyve Ağacı	Zeytin	Pirinç
Yeşil Bileşen (milyar m³)	0,29	1,1	30,133	5,933	0,661	0,09
Mavi Bileşen (milyar m³)	0,02	5,55	1,388	0,357	0,129	0,1244
Toplam Su kullanımı İzi (milyar m³)	0,31	6,56	31,521	6,29	0,79	0,2144



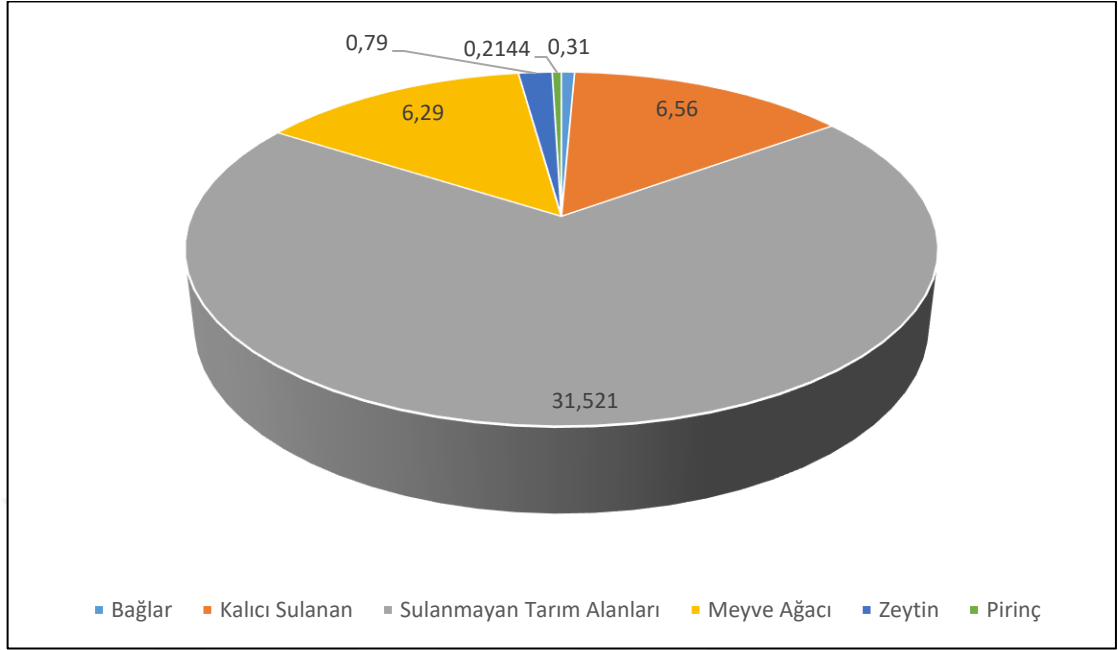
Şekil 4.23. CORINE verileri kullanılarak oluşturulan tarım ürünlerinin ET bileşenleri



Şekil 4.24. ET içindeki yeşil bileşen (milyar m³/yıl)



Şekil 4.25. ET içindeki mavi bileşen (milyar m³/yıl)



Şekil 4.26. Altı sınıf toplam Su kullanımı (milyar m³/yıl)

İlk veri olan bağlar verisi, asma ekili arazilerdir. Bu CORINE verisi şu şekilde sınıflandırılmıştır.

- Bağ içindeki asma fidanlıkları,
- Şarap üretimi için ekilmiş bağlar,
- Üzüm (sofralık) bağları,
- Bağların alan olarak %25'ten fazla olduğu karışık tarım arazileri,
- Daima sulu tarım yapılan tarlalar içindeki bağlardır.

Bu şekilde sınıflandırılan bağların ET bileşenleri incelenmiş ve sonuç olarak, Türkiye'deki bağların yeşil bileşeninin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Yıllık toplam 316.2 milyon m³/yıl su ayak izinin olduğu, yeşil bileşen miktarının 290 milyon m³ ve mavi bileşenin ise 20.6 milyon m³/yıl kullandığı belirlenmiştir. Bu da üzüm bağlarında daha çok yağmur suyu kullanıldığı anlamına gelmektedir.

Diğer bir CORINE verisi olan meyve ağaçları verisi üzerinde de analiz yapılmıştır. CORINE verilerinde olan meyve ağaçları şu şekilde sınıflandırılmıştır:

Meyve ağaçları ve fundalık dikili parseller: tek veya karışık türler, sürekli çimen kaplı yüzeylerle ilişkili meyve ağaçlarını bulundurmaktadır. Kestane ve ceviz bahçeleri dâhildir.

- Şerbetçiotu üretimi,
- Taneli meyve bitkileri üretimi, siyah ve/veya kırmızı frenk üzümü, ahududu (frambuaz), altın çilek, böğürtlen ekinleri,
- Hasır üretimi için söğüt ekimi,
- Sera içindeki meyve ağaçları,
- Karakteristik özelliklerini koruyan terk edilmiş meyve bahçeleri,
- Elma, armut, erik, kayısı, şeftali, kiraz, incir, ayva vb. meyve ağaçları Odunsu gövdeli ekinleri: kestane, ceviz, badem, fındık, fıstık bahçeleri,
- Kalıcı gül bahçeleri,
- Meyve ağaçları arasında asma (bağ) üretimi (ekili alanın en az %40'ı bağ),
- Tropik meyve ağaçları,
- Meyve ağaçları arasında bostan ekimi,
- Kalıcı endüstriyel bitki üretimi (çay, kahve, karadut, kakao),
- Dağınık, bostan ekili alanlar,
- Sulu tarım arazileri içindeki meyve bahçeleridir.

Yapılan analizde Türkiye’de meyve ağaçlarının daha çok ET’nin yeşil bileşenini kullandığı, yeşil bileşenin miktarının 5,9 milyar m³/yıl olduğu görülmektedir. Özellikle Karadeniz Bölgesi’nde iklimden dolayı yeşil bileşenin fazla olduğu görülmektedir. Mavi bileşen ise 357,5 milyon m³/yıl olduğu, bunun en büyük kısmının Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesi olduğu görülmektedir. Meyve ağaçlarında yeşil bileşenin fazla olması özellikle Doğu ve İç Anadolu’nun bazı bölgelerinde sulama suyu kullanmadan meyve ağacı yetiştirilmektedir. Malatya kayısısından örnek verecek olursak, dünya kayısı üretiminin %74 Malatya’dadır. Üretilen kayısının su ayak izi ise dünya ortalamasının %60’ından daha azdır (Türkiye’nin Su Ayak İzi raporu, 2014). Bunun nedeni yetiştirilen kayısının bir kısmı sulama suyu kullanmadan yetiştirilir yani kuru tarım yapılmaktadır.

Bundan dolayı analiz sonucu çıkan haritada Malatya ilinde meyve ağacının yeşil bileşenin fazla olduğu görülmektedir.

Bir diğer verimiz olan pirinç bitkisi CORINE’de şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- Çeltik tarımı için hazırlanmış tarlalar. Sulama kanallarının olduğu düz yüzeylerdir. Yüzeyler periyodik olarak su altında kalırlar.
- Çeltik tarlaları
- Sulama kanallarıdır.

Pirinç karakteristik olarak yetiştirme döneminde bol su ister hasat döneminde ve hasat dönemine yakın zamanda hiç su istememektedir. Pirinç yetiştirilmede sulama suyu yoğundur. Bu nedenle pirincin mavi bileşeni, yeşil bileşeninden fazla olduğu görülmektedir. Mavi bileşen miktarı 124,4 milyon m³/yıl ve yeşil bileşenin 91,4 milyon m³/yıl olmuştur.

Diğer bir veri olan sulanmayan tarım alanları verisi CORINE’deki sınıflandırma şu şekildedir:

- Tahıllar, baklagiller, yem ürünleri, köklü (toprak altı) ürün tarlaları ile nadasa bırakılmış tarlalar. Çiçek, meyve ağaçları ve sebzeler (ister açık arazide ister plastik/cam serada yetiştirilsin) dahildir. Aromatik bitkiler, ilaç sanayiinde kullanılan bitkiler ve mutfakta kullanılan bitkiler dahil ancak kalıcı meralar hariçtir.
- Kuşkonmaz ve yabani hindiba (radika) benzeri çok yıllık bitkiler
- Su altındaki tarlalarda yetiştirilen bitkiler (çeltik vb.)
- Çilek vb yarı kalıcı ekinler
- Geçici olarak nadasa bırakılan tarlalar
- Kalıcı olmayan endüstriyel bitkiler (tekstil bitkileri, yağ veren bitkiler)
- Tütün
- Baharat bitkileri
- Şekerkamışı
- Dönüşümlü olarak ekilen çiçekler

- Lavanta vb. türdeki endüstriyel çiçekler
- Fidanlıklar
- Dağınık, çoğunlukla şerit halindeki bitki örtüsü
- Uydu görüntüsünde sulama kanallarının görüldüğü sulu tarım yapılan terk edilmiş tarlalardır.

Sulanmayan tarım alanları genellikle ikliminden dolayı sulama imkânı olmayan; özellikle İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'nun sulanamayan alanlarını kapsamaktadır. Bu alanlarda sulama imkânı kısıtlı olduğu için yetiştirilen bitkiler için sulama suyu kullanımı çok sınırlıdır. Özellikle ülkemizin tahıl ambarı olarak bilinen İç Anadolu Bölgesi'nde sulama suyu kullanılmadan tahıllar yetiştirilmektedir. Sulanmayan alanların yeşil bileşen miktarı 30,1 milyar m³/yıl, mavi bileşen ise 1,3 milyar m³/yıl olarak görülmektedir. Sulanmayan alanlarda mavi bileşen varlığının olması, bazı bitkilerde sulama suyu kullanıldığı düşünülmektedir.

Kalıcı sulanan alanlar CORINE'de şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- “Kalıcı bir altyapısı olan (sulama kanalları, drenaj ağı ve ek sulama tesisleri) ile sürekli veya periyodik olarak sulama yapılan sulu tarım ekinlerini içermektedir. Bu ekinlerin çoğunun tarımı su temini olmaksızın yapılamamaktadır. Tek tük sulama yapılan sulu tarım arazileri dâhil değildir.
- Yakın zamanda terk edilmiş sulama sistemleri (uydu görüntüsünün yorumlanması spektral yansımaya, sulama sisteminin ve toprağın nemli olup olmamasına göre yapılır)
- Ekili çayırlardır (kalıcı bir sulama altyapısı varsa).

Kalıcı sulanan araziler ikliminden dolayı sulama ihtiyacı ve sulama altyapısı olan alanları kapsamaktadır. Türkiye'de bu özellikleri gösteren en önemli yer Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. GAP Projesinden sonra sulama imkânı artan bölge Türkiye'de kalıcı sulanan alanlardan ve en fazla sulama yapılan alanlardandır. Özellikle Şanlıurfa ilinde yer alan Harran Ovası en fazla mavi bileşenin olduğu yer olarak görülmektedir. Bunun dışında İç Anadolu Bölgesi, Ege Bölgesi'nin Graben Ovaları, Doğu Anadolu'nun Alçak Ovaları ve Akdeniz Bölgesi'nin kıyı kesimleri sulamanın yoğun olduğu alanlardır.

Bu alanlarda toplam mavi bileşen sulanan alanlar haritasındaki pikseller toplanarak elde edilmiş ve sonuç 5,5 milyar m³/yıl olmuştur.

Son olarak zeytinlik alanlar incelenecektir. CORINE’de zeytinlikler şu şekilde sınıflandırılmıştır:

“Zeytin ağacı ekili araziler. Aynı parselde zeytin ağacı ile asma ekili olan alanlar dâhildir.

- Otsu tabaka ile gölgelenen zeytinlikler
- Sürekli sulama yapılan zeytinlikler hariçtir.

Zeytinliklerde ülke genelinde yeşil bileşenin fazla olduğu görülmektedir. Bölgesel olarak baktığımızda, Ege Bölgesi’nin sulanan arazilerinde, zeytinlik alanların ET bileşeninden mavi bileşenin çok olduğu görülmektedir. Özellikle Ege Bölgesi’nin tarım yapılan ovalarındaki mavi bileşen daha fazladır. Toplam mavi bileşen miktarı 129,3 milyon m³/yıl’dır. Akdeniz Bölgesi’nde ise yeşil bileşenin fazla olduğu görülmektedir. Bunun yanında yeşil bileşenin miktarının 661,7 milyon m³/yıl olduğu hesaplanmıştır.

Su ayak izi kavramının ilk ortaya atan Hoeksta 2010 yılında yaptığı değerlendirmede buğdayın su ayak izini manuel olarak hesaplamıştır. Bu hesaplama göre buğdayın su ayak izi içindeki mavi ve yeşil bileşenler bazı ülkelere göre Tablo 4.3’de şu şekilde gösterilmektedir (Mekonnen, Hoekstra, 2010).

Tablo 4.3. Buğdayın bazı ülkelerdeki mavi ve yeşil su ayak izi

Şehir	Mavi Su Ayak İzi (m ³ /yıl)	Yeşil Su Ayak İzi (m ³ /yıl)
Hindistan	81,335	44,025
Çin	47,370	83,459
Pakistan	27,733	12,083
İran	10,940	26,699
Mısır	5,930	1,410
Amerika Birleşik Devletleri	5,503	111,926
Dünya	203,744	760,301

Bu değerlendirme her ürün için tek tek yapılmıştır. Önerilen bu yöntem ile hesaplama daha kolay olmuş ve ürün bazında değerlendirme yapılması sağlanmıştır.

Bunun yanında önerilen yöntem ile gerekli verilerin elde edilmesi halinde geniş alanlarda kullanılabilir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Türkiye’de bitki su ayak izi tahmini için uzaktan algılama tekniklerini kullanma potansiyelini açıklamaktadır. Bu çalışmada önerilen yöntemde yer alan parametreler yağış, bitki su tüketimi (ET’den elde edilen), yüzey nemi, yüzey akışı (Türkiye’de yüzey akışı verisi olmadığından ve alternatif yöntemlerle yüzey akışı verisinin hesaplanmasının bu çalışmanın dışında olmasından, dolayı yüzey akışı parametresi bu çalışmada kullanılmamıştır) ve arazi kullanımıdır. Bu parametreler var olan küresel ürünlerden elde edilebilir veya alternatif olarak mevcut yöntemlerle türetilmektedir. Tez çalışmasında uygulanan yöntem ile sulama hacmini hesaplamak ve bitki su tüketimi içerisindeki mavi ve yeşil bileşeni hesaplamak için bir yöntem önerilmektedir.

Ülke bazında yapılan ilk çalışma olması dolayısıyla çalışmada bazı eksiklikler mevcuttur. Bunların başında bazı verilerin Türkiye bazında bulunmamasıdır. Özellikle yüzey akışı ve su deposu (yüzey nemi hariç) verisi elde etmek, farklı yöntemlerin kullanımını gerektirmektedir. Bu çalışmada veriler elde edilemediğinden kullanılmamıştır. Diğer bir eksiklik, çalışmanın kapsadığı alan tüm Türkiye olduğu için, hassasiyeti daha düşük olmaktadır. Çalışmanın uygulamasının daha küçük alanlarda daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Yağış tahminleri büyük ölçüde yağış rejimine; yani yağışın aylara dağılımına bağlıdır (Tian, vd, 2007). Soğuk mevsimde $\pm\%$ 10 ve sıcak mevsimde $\%$ 10 ile $\%$ 20 arasında bir hesaplamada sapma olabilmektedir (Sapiano Arkin, 2009). Bu sapma uzaktan algılama verilerine de yansiyabilmektedir. Ayrıca ET tahmininde de $\%$ 15-30 oranında bağlı hatalar olabileceği yapılan gözlemlerde görülebilmektedir (Kalma, vd., 2008).

Türkiye bazında yapılan çalışmada, Türkiye’de ET’nin mavi ve yeşil bileşen durumu şu şekildedir: Türkiye’de mavi bileşenin yeşil bileşenden çok olduğu görülmektedir. Mavi bileşen miktarı 68,6 milyar m^3 /yıl, yeşil bileşen 45,1 milyar m^3 /yıl olarak belirlenmiştir. Türkiye’de Orman ve Su İşleri Bakanlığı’nın yaptığı hesaba göre 2016 yılında 43,06 milyar m^3 sulama suyu kullanımının olduğu hesaplanmıştır. Bu çalışmada 68.6 milyar m^3 olarak hesaplanmıştır aradaki farkın bu çalışmanın 12 ayı baz almasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışmada çıkan sonuç su ayak izini ifade etmemektedir. Su ayak izi hesabı için temel girdi olan ET içindeki mavi ve yeşil bileşen hesaplanmıştır. ET içindeki mavi ve yeşil bileşen hesaplanmasından sonra ürün verimi ve ürünün ekim ve hasat zamanı hesaba katılarak ürün su ayak izi hesaplanabilir.

Türkiye’de mavi ve yeşil bileşen miktarları bölgesel olarak farklılıklara sahiptir. Bu farklılıkların nedeni iklimdir. Karadeniz Bölgesi yağışlı olduğu için burada sulamaya ihtiyaç duyulmamaktadır ve burada yeşil bileşenin Türkiye’nin diğer bölgelerine göre fazla olduğu görülmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi kurak bir bölge olması nedeniyle bölgede yetiştirilen ürünlerde sulamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle GAP Projesi’nden sonra bölgede yoğun sulama yapılmıştır. Bundan dolayı oransal olarak en fazla sulama yapılan bölgenin burası olduğu görülmüştür. İç Anadolu Bölgesi de Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nden sonra 2. kurak bölgemiz olmasına rağmen, bölgede mavi bileşen yeşil bileşenden fazla olmasına rağmen yeşil bileşenin de diğer bölgeler düşünüldüğünde fazla olduğu analiz sonuçlarında görülmüştür. Bunun nedeni bölgede sulama suyu kullanmadan tarım yapılmasıdır. Özellikle tahıllar, sonbahar ekilir ilkbahar yağışları ile ekinler gelişmekte ve yazın ürünler hasat edilmektedir. Bundan dolayı sulama suyu ihtiyacı olmadan ürünler yetiştirilmiş olmaktadır. Ege Bölgesi’nde mavi bileşen yeşil bileşenden fazladır. Özellikle kıyı kesimlerdeki ovalarda yoğun sulama yapılan akarsu kenarlarında mavi bileşen çok yoğun olduğu hesaplamalar sonucunda görülmüştür.

CORINE verileri kullanılmasıyla ürün bazında değerlendirme yapılabilmiş ve bazı ürünlerin toplam mavi ve yeşil bileşen miktarı hesaplanabilmiştir. Burada yapılan analizde ortaya çıkan duruma göre, bölge analizinde olduğu gibi ürün analizinde de iklimin etkisinin büyük olduğu görülmüştür. CORINE verilerinin kullanılmasının bir avantajı da, analizin içerisine analizi etkileyecek (ormanlık alan, mera, çayır vb.) olan alanların girmemesinin sağlanmasıdır. Bunun yanında analiz sonucu CORINE verileriyle daha hassas bir şekilde incelenebilmektedir.

Çalışma sürecinde birçok sorun ile karşı karşıya kalınmıştır. Özellikle verilerin toparlanmasında sıkıntılar yaşanmıştır. Ayrıca formüllerde yer alan bazı uzaktan algılama verileri Türkiye için bulunmadığından ve bu verilerin manuel hesabının bu çalışmanın dışında olması, verilerin kullanılmamasına neden olmuştur. Ayrıca çalışmanın

Türkiye’de ilk olması, çalışmanın diğer çalışmalarla değerlendirilememesine neden olmuştur.

Çalışmanın doğruluk analizi, kullanılan uzaktan algılama verilerinin doğruluk analizi ile aynıdır. Birçok çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da hata payı bulunmaktadır. Ancak çalışmanın hata payı çalışmayı değerlendirecek bir çalışmanın Türkiye’de olmamasından dolayı hesaplanamamıştır.

Tez çalışmasında yapılan analizlerde, ET’nin mavi ve yeşil bileşenleri hesaplanmıştır. Ürün bazında ayrıntılı analizlerin yapılabilmesi için ürünlerin ekim gününden hasat gününe kadar analiz edilmesi, toplam ekim alanının bilinmesi ve hektar başına verimin ton bazında bilinmesini gerektirmektedir. Bu verilerin elde edilmemesi ve çalışmanın Türkiye için örnek olması nedeniyle bu hesaplama yapılamamıştır. Denklem 4, Denklem 5, Denklem 6 ve Denklem 7 sırası ile uygulanarak ürün bazında ayrıntılı analiz yapılabilir ve ürünlerin kullandığı toplam yeşil ve mavi su hesaplanmış olmaktadır.

Su ayak izi çalışmalarının dünyada ve ülkemizde yeni olması ve çalışmaların yeni başlaması birçok ülkede hala çalışmaların yeterince olmamasına neden olmaktadır. Özellikle su ayak izi çalışmalarında uzaktan algılama verilerinin kullanılması daha çok yenidir. Bundan dolayı çalışmalar hala devam etmektedir. Türkiye’de su ayak izi çalışmaları 2012 yılından itibaren yapılmaktadır. Bu yıldan itibaren çalışmalar başlamış ve 2014 yılında ilk su ayak izi raporu yayımlanmıştır. Bu yıldan itibaren çeşitli çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir. Ancak su ayak izi hesaplamasında uzaktan algılama verilerinin kullanılması henüz ülkemizde mevcut değildir. Bu çalışma Türkiye ölçeğinde yapılan ilk çalışma olacaktır.

Çalışmanın bu şekliyle ülkemizde ilk olması bazı konularda çalışma esnasında zorluklar oluşmasına neden olmuştur. Bu tür çalışmaların artması için bazı tavsiyelerde bulunulmuştur:

1. Çalışma esnasında bazı verilerin elde edilmesi zor olmuştur. Özellikle yüzey nemi verisi ve yüzey akışı verisi Türkiye bazında bulmak zor olmaktadır. Bu verilerin bu gibi çalışmalarda çok önemli parametre olduğu düşünüldüğünde, bu verilerin oluşturulması için daha fazla çalışma olması gerektiği görülmektedir.

2. ET bileşenleri hesaplamalar yapılırken 12 ay baz alınmıştır. Tarım ürünü su ayak izi hesaplanırken, ürünün ekim gününden hasat gününe kadar zaman diliminde hesaplamalar yapılırsa sonuçlar daha hassas olacaktır.
3. Türkiye'nin kendi öz kaynakları ile oluşturup kullandığı uydular kullanılarak kuraklık izleme çalışmalarında, su ayak izi çalışmalarında, havza çalışmalarında, bitki su ihtiyacı belirleme çalışmalarında ve sulama haritası oluşturma çalışmalarında altlık olarak kullanılacak veriler oluşturulmalıdır.
4. Türkiye ılıman iklim kuşağı ve subtropikal kuşak arasındadır. Bundan dolayı 3 farklı iklim ülkemizde görülebilmektedir. Bu iklimlerden biri Akdeniz bir diğeri karasal iklimdir. Bu iklimler küresel iklim değişikliğinden en çok etkilenen iklimlerdir. Bu bölgelerde iklim değişiminin sonuçlarını kestirebilmek, önlemler alabilmek, insan için çok önemli olan tarımsal üretimin devamlılığını sağlayabilmek için su ayak izi gibi çalışmalar desteklenmelidir.
5. Türkiye su ayak izi raporu 2014 yılında hazırlanmıştır. Değişen şartlar ve değişen teknolojilerle bu rapor güncellenmelidir.
6. Su ayak izi kavramı sadece tarımsal üretim için geçerli olan bir kavram değildir ve birçok alanda kullanılabilmektedir. Uzaktan algılama çalışmaları ile birçok alanda üretimdeki su ayak izi çalışmaları değerlendirilebilmektedir.
7. Su tüketimin çok yoğun olduğu birçok sektörde yoğun su talebinin olduğu ve su kalitesinin olumsuz yönde etkilendiği nehir havzalarında detaylı su ayak izi çalışmaları gerçekleştirilmesi, söz konusu havzalarda su kaynakları üzerindeki gerçek etkinin ortaya koyulmasında ve havza yönetim planı hazırlık süreçlerinde yararlı bir araç olacaktır.
8. Tarımsal üretimde ki su ayak izi çalışmalarının arttırılması ile, bitkinin su ihtiyacı belirlenebilecektir. Bu bağlamda tarımsal üretimdeki su ayak izi çalışmaları arttırılması gerekliliği görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Allen, R. G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 133(4), 380-394.
- Cai, X., Thenkabail, P. S., Biradar, C. M., Platonov, A., Gumma, M., Dheeravath, V., & Vithanage, J. (2009). Water productivity mapping using remote sensing data of various resolutions to support. *Journal of Applied Remote Sensing*, 3(1) .
- Chapagain, A. K., ve Hoekstra, A. Y. (2004), Water Footprint of Nations Volume 1 : Main Report. In Value of Water Research Report Series No.16.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H. G., & Gautam, R. (2005). The water footprint of cotton consumption.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2008). The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *Water international*, 33(1), 19-32.
- Chen, J. M., Chen, X., Ju, W., & Geng, X. (2005). Distributed hydrological model for mapping evapotranspiration using remote sensing inputs. *Journal of Hydrology*, 305(1-4), 15-39.
- Chu, Y., Shen, Y., & Yuan, Z. (2017). Water footprint of crop production for different crop structures in the Hebei southern plain, North China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(6), 3061-3069.
- DSİ. (2014), Devlet Su İşleri-Toprak ve Su Kaynakları. Retrieved from <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>
- Funk, C. C., Peterson, P. J., Landsfeld, M. F., Pedreros, D. H., Verdin, J. P., Rowland, J. D., ... & Verdin, A. P. (2014). A quasi-global precipitation time series for drought monitoring. *US Geological Survey data series*, 832(4), 1-12.

- Gowda, P. H., Chavez, J. L., Colaizzi, P. D., Evett, S. R., Howell, T. A., & Tolk, J. A. (2007). Remote sensing based energy balance algorithms for mapping ET: Current status and future challenges. *Transactions of the ASABE*, 50(5), 1639-1644.
- Gobin, A., Kersebaum, K. C., Eitzinger, J., Trnka, M., Hlavinka, P., Takáč, J., ... & Lalić, B. (2017). Variability in the water footprint of arable crop production across European regions. *Water*, 9(2), 93.
- Hoekstra, A. Y. (2003). Virtual water trade: proceedings of the international expert meeting on virtual water trade, Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002, Value of Water Research Report Series No. 12.n
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2008). Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources Appendix XX: Water footprints of nations.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A., Martinez-Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2009). Water footprint manual: State of the art 2009.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A., Martinez-Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2009). Water footprint manual: State of the art 2009.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Mekonnen, M. M., & Aldaya, M. M. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge.
- Hoekstra, A. Y. (2019). Green-blue water accounting in a soil water balance. *Advances in water resources*, 129, 112-117.
- İlhan, A. İ., & Melahat, U. T. K. U. (1998). GAP Sulama Alanında Bitki Su Tüketimi Ve Bitki Su Gereksinimi.
- Karimi, P., & Bastiaanssen, W. G. M. (2014). Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting—Part 1: Review of the accuracy of the remote sensing data. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, 11, 1073-1123.
- Kapar, H., & Ahmet, Ö. Z. (2006). Bazı mısır çeşitlerinin Orta Karadeniz Bölgesin'de performanslarının belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2), 147-153.
- Keeble, B. R. (1988). The Brundtland report: 'Our common future'. *Medicine and War*, 4(1), 17-25.

- Kalma, J. D., McVicar, T. R., & McCabe, M. F. (2008). Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data. *Surveys in Geophysics*, 29(4-5), 421-469.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrology and earth system sciences*, 14(7), 1259-1276.
- Mekonnen, M. M., & 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.
- Norman, J. M., Kustas, W. P., & Humes, K. S. (1995). Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77(3-4), 263-293.
- Nouri, H., Beecham, S., Kazemi, F., Hassanli, A. M., & Anderson, S. (2013). Remote sensing techniques for predicting evapotranspiration from mixed vegetated surfaces. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 10(3), 3897-3925.
- Okman, C. (1994). Hidroloji, (syf 17,18,19,20,51,52,53,54)
- Prueger, J. H., Hatfield, J. L., Aase, J. K., & Pikul Jr, J. L. (1997). Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. *Agronomy Journal*, 89(5), 730-736.
- Roerink, G. J., Su, Z., & Menenti, M. (2000). S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25(2), 147-157.
- Rogers, P. P., & Lydon, P. (1994). Water in the Arab world: perspectives and prognoses. In *Conference on Water in the Arab World*, Harvard University (USA), 1993. Division of Applied Sciences, Harvard Univ..
- Romaguera, M., Hoekstra, A. Y., Su, Z., Krol, M. S., & Salama, M. (2010). Potential of using remote sensing techniques for global assessment of water footprint of crops. *Remote Sensing*, 2(4), 1177-1196.

- Romaguera, M., Hoekstra, A. Y., Su, Z., Krol, M. S., & Salama, M. (2010). Potential of using remote sensing techniques for global assessment of water footprint of crops. *Remote Sensing*, 2(4), 1177-1196.
- Romaguera, M., Toullos, L., Stancalie, G., Spiliotopoulos, M., Struzik, P., Calleja, E. J., & Papadavid, G. (2014, August). Identification of the key variables that can be estimated using remote sensing data and needed for Water Footprint (WF) assessment. In *Second International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2014)* (Vol. 9229, p. 922912). International Society for Optics and Photonics.
- Romaguera, M., Krol, M. S., Salama, M., Hoekstra, A. Y., & Su, Z. (2012). Determining irrigated areas and quantifying blue water use in Europe using remote sensing Meteosat Second Generation (MSG) products and Global Land Data Assimilation System (GLDAS) data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(8), 861-873.
- Romaguera, M. I. R. E. I. A., Salama, M. S., Krol, M. S., Su, Z., & Hoekstra, A. Y. (2012). Remote sensing method for estimating green and blue water footprint. *Remote sensing and hydrology*, 352, 288-291.
- Sapiano, M. R. P., & Arkin, P. A. (2009). An intercomparison and validation of high-resolution satellite precipitation estimates with 3-hourly gauge data. *Journal of Hydrometeorology*, 10(1), 149-166.
- Senay, G.B., M. Budde, J.P. Verdin, and A.M. Melesse, 2007. A coupled remote sensing and simplified surface energy balance approach to estimate actual evapotranspiration from irrigated fields. Special issue: Remote sensing of natural resources and the environment. *Sensors*, 1, 979-1000.
- Sepetçioğlu, M. Y., Yenigün, K., Karakuş, S., & Aslan, V., 2020, Şanlıurfa İli Sulamaları Işığında Sulama Şebekelerinin Karşılaştırılması. *Türk Hidrolik Dergisi/Turkish Journal of Hydraulic*, 2(1), 19-30.
- Symeonidou, S., & Vagiona, D. (2019). Water Footprint of Crops on Rhodes Island. *Water*, 11(5), 1084.

- Su, Z. (2002). The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and earth system sciences*, 6(1), 85-99.
- Siebert, S., & Döll, P. (2010). Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*, 384(3-4), 198-217.
- Tagem, D. (2017). Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi. Turkish General Directorate of Agricultural Research and Policies, Turkish General Directorate of State Hydraulic Works, Ankara.
- Tian, Y., Peters-Lidard, C. D., Choudhury, B. J., & Garcia, M. (2007). Multitemporal analysis of TRMM-based satellite precipitation products for land data assimilation applications. *Journal of Hydrometeorology*, 8(6), 1165-1183.
- Toulios, L., Romaguera, M., Calleja, E., Stancalie, G., Struzik, P., Dalla Marta, A., ... & Vuolo, F. (2013, August). Potential of remote sensing techniques to improve the agriculture water footprint assessment and the virtual water trade accounting. In *First International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2013)* (Vol. 8795, p. 879506). International Society for Optics and Photonics.
- Töreyn, G., Özdemir, İ., & Kurt, T. (2010). ArcGIS 10 Desktop Uygulama Dokümanı. İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti, 1-4.
- Türkiye’nin Su ayak izi raporu, (2014). WWF-Türkiye. (Sf- 37-38-39-40).
- Tümenbatur, A. (2012). Serbest bölgeler ve Türkiye ekonomisine katkıları üzerine bir değerlendirme. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(3), 339-356.
- UN- United Nations, (2019), World Population Prospects: The 2019 Revision Erişim: 15 Ocak 2020, <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-2019-highlights.html>
- UN, Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene Update and SDG Baselines, 2017.

Velpuri, N. M., & Senay, G. B. (2017). Partitioning evapotranspiration into green and blue water sources in the conterminous United States. Scientific reports, 7(1), 1-12.

Wagner, W., Blöschl, G., Pampaloni, P., Calvet, J. C., Bizzarri, B., Wigneron, J. P., & Kerr, Y. (2007). Operational readiness of microwave remote sensing of soil moisture for hydrologic applications. Hydrology Research, 38(1), 1-20.

internet kaynakları

http 1: <https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye>

(Erişim tarihi 20-10-2020)

http2: https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/LPRM_AMSR2_DS_A_SOILM3_001/summary?keywords=SOIL%20MOISTURE

(Erişim tarihi: 07-02-2020)

http 3: <https://CORINE.tarimorman.gov.tr/CORINEportal/files/metaveri.pdf>

(Erişim Tarihi: 02-02-2020)

http 4: https://tr.wikipedia.org/wiki/I%C4%9Fd%C4%B1r_Ovas%C4%B1

(Erişim Tarihi: 10-11-2020)

http 5: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=86>

(Erişim Tarihi: 11-11-2020)

http 6: <http://pubs.usgs.gov/ds/832/>

(Erişim Tarihi 03-02-2020)

ÖZGEÇMİŞ

Adı- Soyadı: Engin, KORKMAZ

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim Özgeçmişi:

- 2007, Gazi üniversitesi, Kırşehir Eğitim Fakültesi, İlköğretim Bölümü Sosyal Bilgiler Öğretmenliği programı/ Lisans
- 2011, İstanbul Üniversitesi, Açık Ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, Coğrafya/ Lisans
- 2019, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı/ Tezsiz Yüksek Lisans

Yayınlar ve Bilimsel Çalışmalar:

- Korkmaz, Engin, A., Yiğit Avdan, Zehra, Uydu Görüntüleri Kullanılarak Kuraklığın İzlenmesi (Sultan Sazlığı Milli Parkı Örneği, Konferans: V11. Uzaktan Algılama Ve Cbs Sempozyumu,(2018),
- Bektöre, E., Korkmaz, E., Erşen, G., & Atak, A. Frig Vadisi Potansiyel Kamp Alanları Ve Rotalarının Cbs Aracılığıyla Belirlenmesi. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies, 1(1), 35-50.
- Birdal, A. C., Korkmaz, E., & Erşen, G. İzmir İli Üzerindeki Olası Etkilerden Dolayı Oluşan İklim Değişikliğinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Modellenmesi. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies, 1(1), 51-65.
- Birdal, A. C., Korkmaz, E., Erşen, G., Türk, T., & Atun, R. Monitoring Climate Changes by Geographical Information Systems: A Case Study of Izmir Province.

- Ortakavak, Z., Korkmaz E., Uslu, A., U, Sosyal Kırılgnlık İndeksinin CBS ile Haritalanması: İzmir İli Örneklemleri. Resilience, 3(1), 37-53.
- Ortakavak, Z., Korkmaz, E., & Uslu, A. Covid-19 Salgınına Karşı Sosyal Kırılgnlık Endeksi: Türkiye Örneği, (2020) Conference: Online International Conference of COVID-19 (CONCOVID)At: TURKEY
- Ortakavak, Z., Korkmaz, E., & Uslu, A. COVID-19 Salgınına Karşı Sosyal Kırılgnlık Endeksi: Türkiye Örneği.

