

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANILDIĞI
UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE ERGANİ BARAJI SULAMA
SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Kıvanç Hayri DOĞANAY

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**TEMMUZ 2025
ANTALYA**

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANILDIĞI
UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE ERGANİ BARAJI SULAMA
SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Kıvanç Hayri DOĞANAY

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**TEMMUZ 2025
ANTALYA**

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANILDIĞI
UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE ERGANİ BARAJI SULAMA
SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kıvanç Hayri DOĞANAY

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2025

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANILDIĞI
UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE ERGANİ BARAJI SULAMA
SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kıvanç Hayri DOĞANAY

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 31/07/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Bekir Sıtkı KARATAŞ (Danışman)

Prof. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL

Prof. Dr. Harun KAMAN

Doç. Dr. Neşe YAMAN

Dr. Öğr. Üyesi Gülçin Ece ASLAN

ÖZET

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANILDIĞI UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE ERGANİ BARAJI SULAMA SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kıvanç Hayri DOĞANAY

Doktora Tezi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bekir Sıtkı KARATAŞ

Temmuz 2025; 116 Sayfa

Sürdürülebilir bir tarım için su kaynaklarının yönetimi ana faktördür. Su kaynaklarının etkin kullanılması için bilinmesi gereken ana parametre de evapotranspirasyon (ET)'dir. ET, noktasal olarak oldukça basit ya da karmaşık yöntemler ile belirlenebilmektedir. ET, bölgesel olarak dikkate alındığında; teknolojik araçlar ve yeni tekniklerle hızlı, ekonomik ve doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir. Bu kapsamda ET haritalaması için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden uzaktan algılama (UA) tekniklerine dayananlar; bölgesel ve proje bazlı mevcut sulama performansının belirlenmesinde etkin rol oynayabilmektedir.

Bu çalışmada, Diyarbakır-Ergani Barajı Sulama Sistemi için 2023 ve 2024 yılları sulama sezonlarına (Nisan-Ekim) ait yüksek çözünürlüklü Landsat uydu sistemlerine ait görüntüler kullanılarak, enerji dengesine dayalı ve içsel kalibrasyona sahip yüksek çözünürlüklü ET haritalama modeli olan METRIC aracılığıyla gerçek evapotranspirasyon (ET_a) haritaları oluşturulmuştur.

Ayrıca çalışma alanına ilişkin iklim verilerinden elde edilen referans evapotranspirasyon (ET_o) ve mevcut bitki katsayısı (K_c) değerleri kullanılarak, bitki evapotranspirasyonu (ET_c) hesaplanmıştır. ET_a ve ET_c kullanılarak, Ergani Barajı Sulama Sisteminin performansı belirlenmiştir. Bununla birlikte, ana bitki desenine ait K_c değerleri de UA teknikleriyle yeniden tahmin edilmiştir.

Çalışmada sulama sisteminin performansı; ET'ye ilişkin, rölatif su temini (RWS), rölatif sulama suyu temini (RIS), proje tüketim randımanı (e_p), su tüketim oranı (DF), bitki su açığı (CWD), rölatif ET (RET) ve rölatif yağış temini (RRS) göstergelerine göre değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda, 2023 ve 2024 yılları için aylık ve sezonluk değerler sırasıyla, RWS için 0.62-2.27 arasında ve 1.02, 0.99-1.44 arasında ve 1.10; RIS için 0.61-3.31 arasında ve 1.01, 0.99-2.30 arasında ve 1.10; e_p için 0.30-1.65 arasında ve 0.99, 0.44-1.01 arasında ve 0.91; DF için 0.81-2.29 arasında ve 1.09, 0.68-1.16 arasında ve 0.93; CWD için 0.00-22.17 mm arasında ve 22.17 mm, 0.00-39.66 mm arasında ve 52.66 mm; RET

için 0.93-2.15 arasında ve 1.10, 0.87-1.30 arasında ve 1.02; RRS için 0.00-0.59 arasında ve 0.05, 0.53-0.73 arasında ve 0.08 olarak hesaplanmıştır.

Çalışma sonuçları sezonluk olarak değerlendirildiğinde, performans göstergeleri yeterli su teminini işaret etse de, aylık olarak önemli farklılıklar belirlenmiştir. Bu nedenle, sulama yönetiminde sezonluk analizlerden ziyade, aylık değerlendirmelerin daha doğru olduğu söylenebilir. K_c değerlerinin UA tabanlı tahmin edilmesi kapsamında, su stresinin dikkate alındığı K_c değerleri ile normalleştirilmiş bitki örtüsü fark indeksi (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) görüntülerinin yüksek uyum içinde olduğu belirlenmiştir.

Genel olarak, çiftçi kontrolünde gerçekleşen sulama uygulamalarının, özellikle kurak geçen haziran, temmuz ve ağustos aylarında miktar ve zamanlama açısından etkin olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, diğer aylarda ise sulama suyu kullanımı etkinliğinin artırılması amacıyla su tasarrufunun yapılması önerilmektedir.

Araştırmada, sulama performansının artırılması amacıyla, çiftçilerin sulama suyu miktarı ve sulama zamanlaması konusunda bilinçlendirmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Bitki katsayısı, Ergani Sulama Sistemi, METRIC, Sulama performansı, Uzaktan algılama.

JÜRİ: Doç. Dr. Bekir Sıtkı KARATAŞ

Prof. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL

Prof. Dr. Harun KAMAN

Doç. Dr. Neşe YAMAN

Dr. Öğr. Üyesi Gülçin Ece ASLAN

ABSTRACT

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF ERGANI DAM IRRIGATION SYSTEM BY REMOTE SENSING TECHNIQUES USING HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES

Kıvanç Hayri DOĞANAY

PhD Thesis in Agricultural Structures and Irrigation

Supervisors: Assoc. Prof. Dr. Bekir Sıtkı KARATAŞ

July 2025; 116 pages

Management of water resources is a major factor for a sustainable agriculture. In addition, the main parameter that should be known for the effective use of water resources is evapotranspiration (ET). ET can be determined simple or complex methods for just a location. However, it is possible to estimate quickly, economically and objectively with technological tools and new techniques in case that the large areas are considered. In this context, there are many methods for ET mapping. The use of these methods, which are based on remote sensing (RS) techniques, can play an active role in determining the available regional and project-based irrigation performance.

In this study, actual ET (ET_a) maps were created by METRIC model, based on energy balance and considered at high resolution internalized calibration, with using high-resolution Landsat images of the irrigation seasons (April-October) of 2023-2024 for the Ergani Dam Irrigation System, Diyarbakır.

In addition, crop ET (ET_c) was calculated using the reference ET (ET_o) and current vegetation coefficient (K_c) values obtained from the climate data of the study area. The performance of the Ergani Dam Irrigation System was determined using ET_a and ET_c . Also, K_c values of major crop pattern were also re-estimated by RS techniques.

In the study, the performance of the irrigation system was evaluated according to the indicators of relative water supply (RWS), relative irrigation water supply (RIS), overall consumed ratio (e_p), depleted fraction (DF), crop water deficit (CWD), relative ET (RET) and relative rainfall supply (RRS) related to ET.

As a result of the study, monthly and seasonal values for the years 2023 and 2024, respectively, it was calculated as for RWS are between 0.62-2.27 and 1.02, between 0.99-1.44 and 1.10; for RIS are between 0.61-3.31 and 1.01, between 0.99-2.30 and 1.10; for e_p are between 0.30-1.65 and 0.99, between 0.44-1.01 and 0.91; for DF are between 0.81-2.29 and 1.09, between 0.68-1.16 and 0.93; for CWD are between 0.00-22.17 mm and 22.17 mm, between 0.00-39.66 mm and 52.66 mm; for RET are between 0.93-2.15 and 1.10, between 0.87-1.30 and 1.02; for RRS are between 0.00-0.59 and 0.05, between 0.53-0.73 and 0.08.

When the study results were evaluated seasonally, although the performance indicators indicated sufficient water supply, it was determined that there were significant differences on a monthly basis. Therefore, it can be said that monthly evaluations are more accurate than seasonal analyses in irrigation management. Within the scope of RS-based estimation of K_c values, it was determined that Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) images were in high accordance with K_c values considering water stress.

In general, it has been determined that irrigation practices carried out under farmer control are not effective in terms of quantity and timing, especially in dry months such as June, July and August. However, in other months, water conservation is recommended in order to increase the efficiency of irrigation water use.

As a result, it was concluded that farmers should be made aware of the amount of irrigation water and the timing of irrigation in order to increase irrigation performance.

KEYWORDS: Crop coefficient, Ergani Irrigation System, Irrigation performance, METRIC, Remote sensing.

COMMITTEE : Assoc. Prof. Dr. Bekir Sıtkı KARATAŞ

Prof. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL

Prof. Dr. Harun KAMAN

Assoc. Prof. Neşe YAMAN

Asst. Prof. Dr. Gülçin Ece ASLAN

ÖNSÖZ

Sürdürülebilir bir tarım için su kaynaklarının etkin kullanılması amacıyla bilinmesi gereken ana parametre evapotranspirasyon (ET)'dur. ET, bölgesel olarak uzaktan algılama (UA) teknikleriyle hızlı, ekonomik ve objektif bir şekilde hesaplanabilmekte ve haritalanabilmektedir. UA ile elde edilen bu verilerle, bölgesel ve proje bazlı sulama performansı belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, Diyarbakır-Ergani Barajı Sulama Sistemi için 2023-2024 yılları sulama sezonları için yüksek çözünürlüklü Landsat uydusuna ait görüntü setleri kullanılarak, enerji dengesine dayalı ve içsel kalibrasyona sahip yüksek çözünürlüklü ET haritalama modeli olan METRIC aracılığıyla gerçek ET (ET_a) haritaları oluşturulmuştur. Bitki su tüketimi (ET_c) ve gerçek bitki su tüketimi (ET_a) parametreleri kullanılarak sulama performansı belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma, özellikle çalışmanın yürütüldüğü bölge için özgün olup, bu alandaki literatür eksikliğini giderme potansiyeli taşımaktadır.

Doktora tezimin araştırma, planlanma ve yürütülmesinde bilgi, birikim ve tecrübeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Bekir Sıtkı KARATAŞ'a, değerli görüşlerinden yararlandığım tez izleme komitesi üyelerim Prof. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL ve Dr. Öğr. Üyesi Gülçin Ece ASLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimim süresince her zaman bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü hocalarım Prof. Dr. Öner ÇETİN ve Doç. Dr. Neşe YAMAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Araştırmanın her aşamasında yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Doç. Dr. Emre TUNCA'ya, büro çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Dr. Öğr. Üyesi Nesrin SAVAŞ'a, veri toplama ve arazi çalışmalarında yardım ve desteklerinden dolayı Ergani İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü ve DSİ 10. Bölge Müdürlüğü yetkililerine ve personeline teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca karşılaştığım her zorlukta yanımda olan ve lisansüstü eğitimimde manevi desteklerini esirgemeyen annem Seyyide ERTÜRK, teyzelerim Nesibe ERTÜRK ve Ayşe ERTÜRK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANILDIĞI UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE ERGANİ BARAJI SULAMA SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ’ adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

31/07/2025

Kıvanç Hayri DOĞANAY

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	6
2.1. METRIC Model ile ET Haritalaması Üzerine Yapılmış Çalışmalar.....	6
2.2. UA Teknikleri ile Sulama Performansının Belirlenmesi Üzerine Yapılmış Çalışmalar.....	8
2.3. Vejetasyon İndeksleriyle Bitki Katsayısının Belirlenmesi Üzerine Yapılmış Çalışmalar.....	11
3. MATERYAL VE METOT	14
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Çalışma alanı.....	14
3.1.2. İklim özellikleri.....	15
3.1.3. Sulama sahası bilgileri	15
3.1.4. Ürün deseni	18
3.1.5. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri	21
3.1.6. Çalışmada kullanılan bilgisayar ve yazılım bilgileri.....	25
3.2. Metot	25
3.2.1. Referans bitki su tüketimi hesaplamaları	25
3.2.2. Uzaktan algılama ile evapotranspirasyonun belirlenmesi.....	25
3.2.3. Performans göstergelerinin hesaplanması.....	31
3.2.3.1. Rölatif su temini (RWS)	32
3.2.3.2. Rölatif sulama suyu temini (RIS):	32
3.2.3.3. Proje su tüketim randımanı (e_p)	33
3.2.3.4. Su tüketim oranı (DF).....	33
3.2.3.5. Bitki su açığı (CWD)	34
3.2.3.6. Rölatif evapotranspirasyon (RET)	34
3.2.3.7. Rölatif yağış temini (RRS)	34

3.2.4.	Bitki katsayısı (K_c)’nın uzaktan algılama teknikleriyle belirlenmesi	34
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1.	Proje Performans Göstergeleri	37
4.1.1.	Rölatif su temini (RWS)	37
4.1.2.	Rölatif sulama suyu temini (RIS).....	39
4.1.3.	Proje su tüketim randımanı (e_p).....	40
4.1.4.	Su tüketim oranı (DF)	41
4.1.5.	Bitki su açığı (CWD)	41
4.1.6.	Rölatif evapotranspirasyon (RET)	43
4.1.7.	Rölatif yağış temini (RRS).....	44
4.1.8.	Genel performans değerlendirmesi	44
4.2.	Ana Bitki Desenine Göre Performans Göstergeleri	46
4.3.	Bitki Katsayısının Uzaktan Algılama Teknikleriyle Belirlenmesi.....	58
5.	SONUÇLAR	77
6.	KAYNAKLAR	79
7.	EKLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ		

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

u_*	: Sürtünme hızı
C_d	: Referans tipi ve hesaplama periyodu ile değişen payda sabiti
C_p	: Sabit basınçta havanın özgül ısısı
d_T	: z_1 ve z_2 arasındaki yakın yüzey sıcaklık farkı
e_a	: 1.5-2.5 m yükseklikteki gerçek buhar basıncı
EC	: Eddy kovaryansı
e_p	: Proje su tüketim randımanı
e_s	: 1.5-2.5 m yükseklikteki doymuş buhar basıncı
ET	: Evapotranspirasyon
ET_o	: Kısa boylu referans bitki su tüketimi
ET_r	: Uzun boylu referans bitki su tüketimi
ET_a	: Gerçek bitki su tüketimi
ET_c	: Bitki su tüketimi
ET_{inst}	: Anlık gerçek bitki su tüketimi
ET_{rFi}	: Anlık referans bitki su tüketimi fraksiyonu
ET_{a2}	: Su stresi dikkate alındığı bitki katsayılarıyla yeniden tahmin edilen bitki su tüketimi
ET_{a3}	: K_{cNDVI} değerlerinin kullanılmasıyla tahmin edilen bitki su tüketimi
G	: Anlık toprak ısı akısı
H	: Anlık hissedilir ısı akısı
ha	: Hektar
I_i	: Toprağa infiltre olan su miktarı
K	: Von Karman sabiti
K_c	: Bitki katsayısı
$K_{c adj}$	: Su stresi dikkate alınarak düzeltilen bitki katsayısı
$K_{c ini}$	: Başlangıç dönemine ait K_c değeri

$K_{c\text{NDVI}}$: $K_{c\text{adj}}$ ve NDVI değerleriyle oluşan regresyon denkleminde türetilen K_c

K_s : Su stres katsayısı

MAE : Ortalama mutlak hata

P_e : Etkili yağış miktarı

R^2 : Determinasyon katsayısı

RMSE: Ortalama karekök hatası

$R_{L\uparrow}$: Giden uzun dalga radyasyon

$R_{L\downarrow}$: Gelen uzun dalga radyasyon

R_n : Anlık net radyasyon

T_a : Yakın yüzey hava sıcaklığı

T_s : Yüzey sıcaklığı

u_2 : 2 m yükseklikte ölçölmüş günlük veya saatlik rüzgâr hızı

u_{200} : 200 m olduğu varsayılan karışım yükseklikteki rüzgâr hızı

Z_{om} : Momentum pürüzlölük uzunluğu

α : Yüzey albedosu

γ : Psikrometrik sabit

ϵ_{NB} : Dar bant emisivite değeri

Λ : 1 kg su buharlaştığında absorbe edilen ısıyı temsil eden buharlaşma latent ısısı

ρ_{air} : Havanın yoğunluğu

σ : Stefan-Boltzmann sabiti

G_{sc} : Solar Sabitesi

d^2 : Rölatif dünya-güneş mesafesinin karesi

ϵ_a : Efektif atmosferik emisivite

ϵ_o : Geniş bant yüzey emisivitesi

θ_{rel} : Solar geliş açısı

τ_{sw} : Kısa dalga radyasyon için geniş bant atmosferik geçirgenlik

Tezde, ondalık ayırıcı olarak nokta (.) kullanılmıştır.

Kısaltmalar

BM : Birleşmiş Milletler

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi

CWD : Bitki Su Açığı

DF : Su Tüketim Oranı

DOY : Yılın günü

DSİ : Devlet Su İşleri

ESA : Avrupa Uzay Ajansı

HM : Harchandpur Minor

İHA : İnsansız Hava Aracı

LAI : Yaprak Alan İndeksi

LE : Anlık Latent Enerji

LORMOD: Su Dengesi Simülasyon Modeli

METRIC: Mapping Evapotranspiration at high Resolution with Internalized Calibration

MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

NIR : Yakın kızılötesi

NM : Naserpur Minor

RET : Rölatif Evapotranspirasyon

RIS : Rölatif Sulama Suyu Temini

RRS : Rölatif Yağış Temini

RWD : Rölatif Su Açığı

RWS : Rölatif Su Temini

SAVI : Soil Adjusted Vegetation Index

SEBAL: Surface Energy Balance Algorithm for Land

SWAP : Soil-Water-Atmosphere-Plant

TSEB : Two-Source Energy Balance

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

UA : Uzaktan Algılama

USDA: Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı

USGS : Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışma alanının coğrafi konumu a) Türkiye çerçevesinde Ergani-Diyarbakır; b) Diyarbakır çerçevesinde Ergani İlçesi	14
Şekil 3.2. Ergani Barajı a) Baraj gövdesi; b) Mansap; c) Memba	16
Şekil 3.3. Saha ziyaretleri a) Hidrant kontrol birimi; b) Ön ödemeli sayaç; c) Tarla başında bulunan hidrantlar; d) Yağmurlama sulama sistemi	17
Şekil 3.4. Ergani Barajı Sulama Sistemi hizmet alanı ve iletim hatları	17
Şekil 3.5. Sulama sahasından bazı görseller a) Mısır arazisi; b) Tütün arazisi; c) Saha ziyareti; d) Şeker pancarı arazisi; e) İHA'dan elde edilen şeker pancarı arazisi fotoğrafı; f) İHA'dan elde edilen mısır arazileri; g) Hasat zamanına yakın arazi kontrolleri; h) Karpuz arazisi; i) Ergani İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü ve DSİ personeli ile saha ziyareti ve beyan kontrolleri.....	21
Şekil 3.6. Uydunun veri toplama prensibine ait yapay zekâ tabanlı görsel	23

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çalışma alanına ait 2023-2024 yılları ve uzun yıllar iklim verileri	15
Çizelge 3.2. Proje sahası 2023-2024 ürün deseni	18
Çizelge 3.3. Ortayazı Mahallesi 2023-2024 ürün deseni	19
Çizelge 3.4. Yolköprü Mahallesi 2023-2024 ürün deseni.....	19
Çizelge 3.5. Yeşilköy Mahallesi 2023-2024 ürün deseni	20
Çizelge 3.6. Hılar Mahallesi 2023-2024 ürün deseni.....	20
Çizelge 3.7. Pınarkaya Mahallesi 2023-2024 ürün deseni	20
Çizelge 3.8. Landsat-8 uydusuna ait bantlarının genel özellikleri (Anonymous 1).....	22
Çizelge 3.9. Landsat-9 uydusuna ait bantlarının genel özellikleri (Anonymous 2).....	22
Çizelge 3.10. Sentinel-2 uydusuna ait bantlarının genel özellikleri (Anonymous 3)	23
Çizelge 3.11. Çalışma kapsamında kullanılan Landsat-8 ve Landsat-9 uydu görüntülerinin çekim tarihleri	24
Çizelge 3.12. Çalışma kapsamında kullanılan Sentinel-2 uydu görüntülerinin çekim tarihleri	24
Çizelge 3.13. Bazı performans göstergelerine ilişkin kriterler	32
Çizelge 4.1. 2023 ve 2024 sulama sezonları için Ergani Barajı Sulama Sahasında gerçekleşen yağış (P_g) ve etkili yağış (P_e) ile şebekeye verilen sulama suyu miktarları (I)	36
Çizelge 4.2. 2023 ve 2024 Sulama Sezonlarında Ergani Barajı Sulama Sistemi için hesaplanan ET değerleri (mm)	36
Çizelge 4.3. 2023 ve 2024 sulama sezonlarında Ergani Barajı Sulama Sisteminde hesaplanan performans göstergeleri	37
Çizelge 4.4. 2023 yılı bitki bazlı CWD değerleri (mm).....	42
Çizelge 4.5. 2024 yılı bitki bazlı CWD değerleri (mm).....	43
Çizelge 4.6. 2023 ve 2024 yılı ana bitki desenlerine ait ekiliş alan (da) ve tüm alana oranları (%)	46
Çizelge 4.7. 2023 yılı mısır bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm).....	46
Çizelge 4.8. 2023 yılı mısır bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri.....	47
Çizelge 4.9. 2023 yılı mısır bitkisine ilişkin RET değerleri	47
Çizelge 4.10. 2023 yılı şeker pancarına ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm)	48
Çizelge 4.11. 2023 yılı şeker pancarı bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri.....	48
Çizelge 4.12. 2023 yılı şeker pancarı bitkisine ilişkin RET değerleri	48
Çizelge 4.13. 2023 yılı patates bitkisine ilişkin ET_c (mm), ET_a (mm), CWD (mm) ve RET değerleri.....	49
Çizelge 4.14. 2023 yılı soğan bitkisine ilişkin ET_c (mm), ET_a (mm), CWD (mm) ve RET değerleri.....	50
Çizelge 4.15. 2023 yılı tütün bitkisine ilişkin ET_c (mm), ET_a (mm), CWD (mm) ve RET değerleri.....	50
Çizelge 4.16. 2024 yılı mısır bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm)	51
Çizelge 4.17. 2024 yılı mısır bitkisine ilişkin CWD değerleri (mm).....	51
Çizelge 4.18. 2024 yılı mısır bitkisine ilişkin RET değerleri	52
Çizelge 4.19. 2024 yılı karpuz bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm).....	52
Çizelge 4.20. 2024 yılı karpuz bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri	53

Çizelge 4.21. 2024 yılı karpuz bitkisine ilişkin RET değerleri.....	53
Çizelge 4.22. 2024 yılı patates bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm).....	53
Çizelge 4.23. 2024 yılı patates bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri.....	54
Çizelge 4.24. 2024 yılı patates bitkisine ilişkin RET değerleri	54
Çizelge 4.25. 2024 yılı soğan bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm)	55
Çizelge 4.26. 2024 yılı soğan bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri.....	55
Çizelge 4.27. 2024 yılı soğan bitkisine ilişkin RET değerleri	55
Çizelge 4.28. 2024 yılı tütün bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm)	56
Çizelge 4.29. 2024 yılı tütün bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri.....	56
Çizelge 4.30. 2024 yılı tütün bitkisine ilişkin RET değerleri	56
Çizelge 4.31. 2023 yılı mısır bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları	59
Çizelge 4.32. 2023 yılı mısır bitkisi parsel bazlı $K_{c\ adj}$ ortalamaları	59
Çizelge 4.33. 2023 yılı mısır bitkisi parsel bazlı $K_{c\ NDVI}$ ortalamaları	59
Çizelge 4.34. 2023 yılı mısır bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} ilişkileri.....	59
Çizelge 4.35. 2023 yılı mısır bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri.....	60
Çizelge 4.36. 2023 yılı mısır bitkisi ortalama ET değerleri (mm).....	60
Çizelge 4.37. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları	60
Çizelge 4.38. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi parsel bazlı $K_{c\ adj}$ ortalamaları	61
Çizelge 4.39. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi parsel bazlı $K_{c\ NDVI}$ ortalamaları	61
Çizelge 4.40. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} ilişkileri...61	
Çizelge 4.41. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi saha bazlı $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri.....	61
Çizelge 4.42. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi ortalama ET değerleri (mm).....	62
Çizelge 4.43. 2023 yılı patates bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları	62
Çizelge 4.44. 2023 yılı patates bitkisi parsel bazlı $K_{c\ adj}$ ortalamaları	62
Çizelge 4.45. 2023 yılı patates bitkisi parsel bazlı $K_{c\ NDVI}$ ortalamaları	62
Çizelge 4.46. 2023 yılı patates bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} ilişkileri.....	63
Çizelge 4.48. 2023 yılı patates bitkisi ortalama ET değerleri (mm)	63
Çizelge 4.49. 2023 yılı tütün bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları	64
Çizelge 4.50. 2023 yılı tütün bitkisi parsel bazlı $K_{c\ adj}$ ortalamaları	64
Çizelge 4.51. 2023 yılı tütün bitkisi parsel bazlı $K_{c\ NDVI}$ ortalamaları	64
Çizelge 4.52. 2023 yılı tütün bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} ilişkileri.....	64
Çizelge 4.53. 2023 yılı tütün bitkisi saha bazlı $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri	65
Çizelge 4.54. 2023 yılı tütün bitkisi ortalama ET değerleri (mm)	65
Çizelge 4.55. 2023 yılı soğan bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları	65
Çizelge 4.56. 2023 yılı soğan bitkisi parsel bazlı $K_{c\ adj}$ ortalamaları	65
Çizelge 4.57. 2023 yılı soğan bitkisi parsel bazlı $K_{c\ NDVI}$ ortalamaları	66
Çizelge 4.59. 2023 yılı soğan bitkisi saha bazlı $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri.....	66
Çizelge 4.60. 2023 yılı soğan bitkisi ortalama ET değerleri (mm).....	66
Çizelge 4.61. 2024 yılı mısır bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları	67
Çizelge 4.62. 2024 yılı mısır bitkisi parsel bazlı $K_{c\ adj}$ ortalamaları	67
Çizelge 4.63. 2024 yılı mısır bitkisi parsel bazlı $K_{c\ NDVI}$ ortalamaları	67
Çizelge 4.64. 2024 yılı mısır bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} ilişkileri.....	68
Çizelge 4.65. 2024 yılı mısır bitkisi saha bazlı $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri	68
Çizelge 4.66. 2024 yılı mısır bitkisi ortalama ET değerleri (mm)	68
Çizelge 4.67. 2024 yılı tütün bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları	68

Çizelge 4.68. 2024 yılı tütün bitkisi parsel bazlı $K_{c\ adj}$ ortalamaları	69
Çizelge 4.69. 2024 yılı tütün bitkisi parsel bazlı $K_{c\ NDVI}$ ortalamaları	69
Çizelge 4.70. 2024 yılı tütün bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} ilişkileri.....	69
Çizelge 4.71. 2024 yılı tütün bitkisi saha bazlı $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri	69
Çizelge 4.72. 2024 yılı tütün bitkisi ortalama ET değerleri (mm)	70
Çizelge 4.73. 2024 yılı karpuz bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları.....	70
Çizelge 4.74. 2024 yılı karpuz bitkisi parsel bazlı $K_{c\ adj}$ ortalamaları.....	70
Çizelge 4.75. 2024 yılı karpuz bitkisi parsel bazlı $K_{c\ NDVI}$ ortalamaları.....	70
Çizelge 4.76. 2024 yılı karpuz bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} ilişkileri	71
Çizelge 4.77. 2024 yılı karpuz bitkisi saha bazlı $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri	71
Çizelge 4.78. 2024 yılı karpuz bitkisi ortalama ET değerleri (mm)	71
Çizelge 4.79. 2024 yılı patates bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları	72
Çizelge 4.80. 2024 yılı patates bitkisi parsel bazlı $K_{c\ adj}$ ortalamaları	72
Çizelge 4.81. 2024 yılı patates bitkisi parsel bazlı $K_{c\ NDVI}$ ortalamaları	72
Çizelge 4.82. 2024 yılı patates bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} ilişkileri.....	72
Çizelge 4.83. 2024 yılı patates bitkisi saha bazlı $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri	73
Çizelge 4.84. 2024 yılı patates bitkisi ortalama ET değerleri (mm)	73
Çizelge 4.85. 2024 yılı soğan bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları	73
Çizelge 4.86. 2024 yılı soğan bitkisi parsel bazlı $K_{c\ adj}$ ortalamaları	73
Çizelge 4.87. 2024 yılı soğan bitkisi parsel bazlı $K_{c\ NDVI}$ ortalamaları	74
Çizelge 4.88. 2024 yılı soğan bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} ilişkileri	74
Çizelge 4.89. 2024 yılı soğan bitkisi saha bazlı $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri.....	74
Çizelge 4.90. 2024 yılı soğan bitkisi ortalama ET değerleri (mm).....	74

1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu ile birlikte, yaşamın sürdürülebilmesi için gereken gıda gereksinimi de hızla artış göstermektedir. Birleşmiş Milletler (BM) 2024 Dünya Nüfus Beklentileri Revizyon Raporuna göre; dünya nüfusu 2024 yılında, 8.2 milyar kişiye ulaşmıştır. Bununla beraber, mevcut nüfusun 2080 yılında 10.3 milyara ulaşması beklenmekte, ayrıca önümüzdeki 100 yıl içinde dünya nüfusunun ciddi artış göstereceği beklenmektedir (United Nations 2024). Türkiye dikkate alındığında ise Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre; 2023 yılına ait 85.37 milyonluk nüfusun 2080 yılında 107.1 milyona ulaşması beklenmektedir (TÜİK 2024a). Bu süreçte, nüfus artış hızıyla orantılı olarak, gıda, içme suyu ve kullanma suyu talepleri de hızlı bir artış göstermektedir. Artan gıda talebinin güncel durumu ise Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA)'nın 2024 Uluslararası Gıda Güvenliği Değerlendirmesine göre; 2024 yılı için dünya genelinde, tahminen 824 milyon insanın güvenilir gıdaya ulaşmadığı raporlanmıştır (USDA 2024). Bu kapsamda, artan gıda talebinin karşılanması ve mevcut açığın giderilebilmesi için tarımsal üretimin artırılması önem arz etmektedir. Bu amaç doğrultusunda, mevcut üretim sahalarının genişletilmesi ve/veya mevcut tarım arazilerinden azami verimin alınması kritik önemdedir. Bitkisel üretimde gıda talebinin karşılanması kapsamında, tarıma yönelimin artırılması ve tarım alanlarının genişletilmesi her ne kadar kritik odak noktaları olsa da, tarımsal arazi kullanımında azalma eğilimi gözlenmektedir (FAOSTAT 2024). Türkiye tarım arazisi varlığının eğilimi dikkate alındığında ise; 2000'li yılların başında 26 milyon ha tarım alanı potansiyeli, 2023 yılı itibarıyla 23.6 milyon ha civarına düşmüştür (TÜİK 2024b). Son yıllarda küresel eğilime benzer bir şekilde, Türkiye'de de tarım arazisi varlığının düşüşünün ana nedenleri, kentleşme ve sanayileşmedir. Bununla beraber, tarım arazilerinin kullanımı tarımsal amaçlardan çok, kısa vadeli sektörel ihtiyaçlara göre şekillenmiştir (Yücer 2020). Mevcut arazi varlıklarının azalmasıyla birlikte, bu arazilerden azami verim beklentisi kaçınılmazdır.

İklim değişikliği, hem sürdürülebilir yaşam kaynakları hem de ekonomik kalkınma için küresel bir sorundur (Kangalawe ve Lyimo 2013). Ayrıca küresel ısınma eğilimi, iklim değişikliğinin gıda güvenliği üzerindeki etkisine dair artan bir endişeye yol açmıştır (Lee vd. 2024). Tarımsal üretim açısından küresel ısınma ve iklim değişikliği, en uygun bitki büyüme ve gelişme süreçleri ile bitki verim ve kalite parametrelerini de doğrudan olumsuz yönde etkilemektedir. Bununla birlikte, aşırı hava olaylarının frekans ve şiddetinin artması, toprak verimliliğinde dalgalanmalara, yağış rejimlerinde değişimlere ve hastalık ile zararlıların ortaya çıkış modellerinde değişimlere neden olarak, dolaylı yoldan da derin ve geniş kapsamlı olumsuz etkilere yol açmaktadır (Yuan vd. 2024). Türkiye, yarı kurak bölgelerin genişlemesi, kurak iklim koşullarına geçiş ve homojen dağılım göstermeyen yağışlar gibi belirgin iklim değişikliği etkilerinden önemli derece etkilenen ülkeler arasındadır (Alyagut 2024). Küresel ısınmanın etkisiyle kuraklığın artması ve hidrolojik döngüdeki farklılıklardan kaynaklanan sorunlar, tarımsal üretimde ciddi olumsuzluklar oluşturmaktadır (Karaman ve Gökalp 2010). Tarımsal

üretimi artırmak için daha fazla alanın sulamaya açılması ve sulanan arazilerden en yüksek verimin elde edilmesi hedeflenmektedir. Ancak bu hedefin önündeki en önemli kısıtlayıcı unsur, su kaynaklarının mevcut potansiyelidir. Su kaynakları, hem doğrudan hem de dolaylı olarak küresel ısınma ve iklim değişikliğinden etkilenmektedir. Bu durum, yalnızca tarımsal üretimi değil, aynı zamanda gıda güvenliği açısından da kritik bir öneme sahiptir (Uslu 2024). Ancak bu süreçle beraber, dünyadaki tatlı su rezervlerinin azalması, özellikle tarımsal açıdan ciddi sorunlar oluşturmaktadır (Kırmızıbayrak vd. 2024).

Su, tarımsal üretim ve endüstriyel faaliyetler için başlıca unsur olup (Çetin 2023), küresel düzeyde tatlı su kullanımının %70'ini tarımsal sulama oluşturmaktadır (DSİ 2024). Türkiye dikkate alındığında ise; teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir 110.5 milyar m³'lük tatlı suyun %77'si tarımda kullanılmaktadır (DSİ 2024). Ayrıca bu oran, 8.5 milyon ha'lık ekonomik olarak sulanabilecek tarım alanı potansiyelinin 7.1 milyon ha'ı için kullanılmaktadır. Falkenmark Su Stres İndisi'ne (Falkenmark vd. 1989) göre; Türkiye, kişi başına düşen su miktarı açısından 1294 m³ yıl⁻¹ ile su sıkıntısı çeken ülkeler arasındadır (DSİ 2024). Kullanılabilir su potansiyeli düşüş eğilimi gösterirken, iklim değişikliği senaryoları da daha sık ve şiddetli kuraklıkların meydana geleceğini öngörmektedir (Zhao ve Boll 2022).

Küresel çapta abiyotik stres kaynaklı verim kaybının ana nedeni kuraklıktır (Begna 2020). Bununla beraber, yağışa dayalı ve sulu tarımdaki bu sorunun şiddeti, süresi ve alansal dağılımı artış göstermekte olup (Cook vd. 2015; Prudhomme vd. 2014), şiddetli kuraklıklar bitki büyümesi, fizyolojisi ve üremesi üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, ürün veriminde önemli düşüslere neden olmaktadır (Yordanov vd. 2000; Barnabas vd. 2008, Fahad vd. 2017). Bu nedenle kuraklık, gıda talebinin karşılanmasında günümüzün en büyük tehdit unsurudur (Begna 2020). Kritik ve daha kötüye giden bu süreçte, suyun bu denli büyük bir payının kullanıldığı tarım sektöründe ise bilinçsiz su kullanımı, mevcut durumu daha da kötüleştirmektedir. Bu kapsamda, kuraklığın oluşturduğu risklerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, verim kayıplarının azaltılmasını amaçlayan karar alma sürecinde oldukça önemli hale gelmiştir (Chen vd. 2020). İklim değişikliği ve küresel ısınma ile birlikte kullanılabilir su kaynaklarının azaldığı ve dolayısıyla tarımsal üretimin kısıtlandığı bu süreçte, uyum stratejilerinin %80'den fazlası suyla ilgilidir (Sidhu 2022). Tarımsal üretim için sulamanın doğru zamanda, gereken miktarda ve doğru şekilde uygulanması, bitki verim parametrelerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, tarımsal sulama yönetiminin iyileştirilmesi, alınması gereken aksiyonların başında gelmektedir.

Birçok ülke tarafından, 1980'li yıllarda sulama altyapılarına önem verilmiş olsa da, yüzey sulama yöntemleri ve suyun bilinçsiz kullanımı, aşırı su kayıpları, tuzluluk ve drenaj gibi sorunları da beraberinde getirmiştir (Çetin vd. 2023a). Tarımsal sulama kapsamındaki altyapısal sorun ve yetersizlikler, sulama randımanını düşürmektedir. Bu nedenle, suyun etkin kullanımı ve sulama suyu üretkenliğini arttırmak amacıyla, mevcut sulama projelerinin iyileştirilmesi ve geliştirmesi gerekmektedir (Çetin vd. 2023b). Bu amaç doğrultusunda, modern sulama sistemlerinin kullanımının artmasıyla sulama suyunun etkin kullanımı olumlu olarak değişmektedir. Bu da, su tasarrufunun yanı sıra hem doğal dengeyi korumakta hem de bitki verimini arttırmaktadır (Ekici 2024; Zhang

vd. 2020). Bu süreçte, tarım üreticileri için su temininin iyileştirilmesi son derece önemlidir. Çünkü özellikle gelecekteki iklim senaryolarına göre; kuraklık gibi aşırı hava olaylarının artan sıklıkları, tarımsal üretimi ve üreticileri sürekli olarak zorlamaktadır (Hatfield vd. 2011; National Research Council 2011; Wang vd. 2011; Church vd. 2018; Zhao ve Boll 2022). Sulama yönetiminin iyileştirilmesi sürecinde sadece su temini amaçlı altyapısal modernizasyon söz konusu olmayıp, bilinçli su kullanımına dair politikalar da önem arz etmektedir. Son yıllarda Türkiye’de yaygınlaşan ön ödemeli sulama suyu sayaçlarının kullanımı ve hacim bazında sulama suyunun ücretlendirilmesiyle birlikte, sulama verimliliğinde artış sağlandığı bilinmektedir (Aydın vd. 2021).

Havza ya da tarla bazında sulama yönetiminin iyileştirilmesinde öncelikli olarak mevcut performansın belirlenmesi gerekir. Performansın belirlenmesiyle birlikte sulama yönetiminde mevcut durum iyileştirilebilir ya da etkin bir şekilde sürdürülebilir. Ayrıca, bu kapsamda alınması gereken öncelikli kararlara da doğrudan yön verilebilir. Bu kapsamda, özellikle geniş çaplı sulama sahalarında sulama performansının belirlenmesi ve mevcut durumun bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Küresel çapta, sulama performansının objektif bir şekilde değerlendirilebilmesi için birçok ölçüt geliştirilmiştir (Bos ve Nugteren 1974; Weller 1991; Perry 1996; Molden 1997; Bastiaanssen vd. 2001).

Sulu tarım alanlarında performans belirlenmesi ve artırılması kapsamında en önemli hedef, etkin bir sulamadan elde edilen ürün miktarının ve dolayısıyla gelirin artırılmasıdır. Elde edilecek olan verim ise bitki su tüketimi (evapotranspirasyon) ile doğrudan ilgilidir. Fizyolojik bir sınıra kadar daha fazla su sağlanarak daha fazla verim mümkün olabilir (Bastiaanssen vd. 1999). Evapotranspirasyon (ET), su kaynakları planlaması ve sulama yönetiminde önemli bir hidrolojik parametre olup, hesaplanabilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. ET, doğrudan ölçülebilenken, bitki ve iklim verisi tabanlı da belirlenebilmektedir (Kanber 1997). Ancak harcanılan çaba ve zaman göz önünde bulundurulduğunda; ET, yaygın olarak iklim verilerine dayalı bazı eşitliklerle hesaplanmaktadır (Güngör vd. 1996).

Su dengesi yaklaşımına dayalı lizimetreler, ET’nin belirlenmesinde en sağlıklı ve en güvenilir sonuçları veren yöntemdir. Ancak, kurulum ve bakım maliyeti, bu yöntem için ciddi bir dezavantajdır. Bu yüzden lizimetreler, daha çok diğer ET belirleme yöntemlerinin kalibrasyonu için kullanılmaktadır (Rosell ve Sanz 2012).

Enerji dengesine dayalı olarak noktasal ET hesaplamaları için, iklim verilerine dayalı FAO-Penman Monteith (FAO-56), Blaney-Criddle gibi tekniklerle veya lizimetrelerle noktasal olarak ET oldukça hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. ET’nin belirlenmesi kapsamında, bu süreci biyofiziksel bir mekanizma olarak modelleyen veya ampirik yöntemler aracılığıyla hesaplayan çeşitli ölçüm ve modelleme yaklaşımları bulunmaktadır (Rana ve Katerji 2000). Suyun buharlaşabilmesi için önemli miktarda hissedilir ısı veya latent enerji gereklidir. Bu nedenle, buharlaşma süreci, bitki yüzeyindeki enerji değişimlerine bağlı olup, mevcut enerji miktarıyla sınırlanır. Bu sınırlama sayesinde, enerjinin korunumu ilkesi kullanılarak, buharlaşma oranını

hesaplamak mümkün hale gelir (Karaca 2020; Allen vd. 1998). Ancak, geniş alanlar dikkate alındığında, etkin bir su yönetimi için bölgesel ET haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Atasever 2016). ET, geleneksel yöntemlerle ve iklim parametrelerinden yararlanılarak noktasal olarak yüksek doğrulukla belirlenebilirken, homojen olmayan geniş alanlarda bilgi eksiklikleri nedeniyle bazı zorluklar doğmaktadır.

Tarımda ve sulamada uzaktan algılama (UA) teknikleri, geniş alanlarda da yüksek mekânsal çözünürlükte, objektif ve hızlı bir şekilde kullanılabilmektedir (Bastiaanssen vd. 1999). UA, arazi yüzeylerinde uzamsal olarak dağıtılmış bölgesel ET'nin elde edilmesi için en uygun araç olarak kabul edilmektedir (Park vd. 1968; Jackson 1984). ET'yi belirlemek amacıyla UA tekniklerinin kullanımı ile birlikte enerji dengesi esasına dayanan çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiş olup, sulama suyu yönetiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gowda vd. 2008). Enerji dengesine dayalı ET'nin UA teknikleriyle haritalanması kapsamında; Menenti ve Choudhury (1993) tarafından geliştirilen Yüzey Enerji Dengesi İndeksi (Surface Energy Balance Index, SEBI), Norman vd. (1995) tarafından geliştirilen toprak ve kanopi bileşenleri için yüzey sıcaklıklarının ve hissedilir-latent ısı akılarının geri yansıyan kısımlarını ayırt eden İki Kaynaklı Model (Two-Source Model, TSM), Roerink vd. (2000) tarafından geliştirilen Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi İndeksi (Simplified Surface Energy Balance Index, S-SEBI), Su (2002) tarafından geliştirilen Yüzey Enerji Denge Sistemi (Surface Energy Balance System, SEBS) algoritması, Bastiaanssen vd. (1998) tarafından geliştirilen Arazi için Yüzey Enerji Dengesi Algoritması (Surface Energy Balance Algorithm for Land, SEBAL) gibi birçok algoritma ve bu algoritmaların versiyonları bulunmaktadır. Günümüzde gelişmiş bir versiyon olan Evapotranspirasyon Haritalamasında Yüksek Çözünürlük ve İçsel Kalibrasyon Modeli (Mapping EvapoTranspiration at high Resolution with Internalized Calibration model, METRIC) (Allen vd. 2007) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla beraber, geniş araziler için kullanılan bu yöntemde, arazi çalışması gerekmeksizin, hızlı, ekonomik ve yüksek doğrulukla ET haritalanabilmektedir. ET'nin tahmini ve haritalanması için yüzey enerji dengesi yöntemlerinin kullanılması, belirli bir bitki örtüsünün tanımlanmasına gerek duyulmaması ve enerji dengesi sayesinde su açığı, tuzluluk ya da don gibi faktörlerden kaynaklanan stres nedeniyle indirgenmiş olan gerçek evapotranspirasyon (ET_a) değerlerinin de tespit edilebilmesi gibi önemli avantajlar sağlamaktadır (Allen vd. 2013). Elde edilen ET_a haritaları, sulama havzalarının hidrolojik süreçlerini, modelleme çalışmalarını ve tarımsal su yönetimini anlamada önemli bir girdi sağlaması ve bunun sonucunda, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde sulama planlaması ve su yönetimi kararlarında karar vericilere, su kullanıcılarına ve çiftçilere rehberlik edebileceği bilinmektedir (Alsenjar vd. 2023).

UA teknikleri, ET_a 'nın yanı sıra bitkilerin stres faktörlerine ilişkin indeksler ve su kullanım miktarı kapsamında sahaya ilişkin nitelikli bilgiler vermektedir. Ekolojik çalışmalarda oldukça önemli olan Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), en yaygın kullanılan bitki örtüsü

indekslerinden biridir (Borowik vd. 2013). Bu indeks, klorofilin yüksek yakın kızılötesi (NIR) yansıması nedeniyle, bitki örtüsündeki fiziksel ve fizyolojik farklılıkları belirlemek amacıyla kullanılır (Penuelas vd. 1997). Bununla beraber, iklim parametrelerinden hesaplanan bitki su tüketimi (ET_c)'nin hesaplanmasında kullanılan bitki katsayıları (K_c), bitki gelişim düzeyleriyle ilişkilendirilen spektral indekslerden belirlenebilmektedir (Köksal 2007).

Bu çalışmada, 2023 ve 2024 sulama sezonları için ET_c ve UA teknikleriyle tahmin edilen ET_a parametrelerinin kullanıldığı göstergelerle Diyarbakır ili Ergani ilçesi sınırları içerisinde bulunan Ergani Barajı Sulama Sisteminin performansının belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca sulama sisteminde yer alan yerleşim birimleri bazında, ana bitki desenine göre sulama performansı belirlenmiştir. Bunların yanında, ana bitki desenine ait K_c değerlerinin UA tabanlı ($K_{c\text{NDVI}}$) olarak yeniden tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. METRIC Model ile ET Haritalaması Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Bilgen (2013), Amasya ili Suluova ilçesi tarım alanları için Landsat 5TM uydusuna ait görüntülerin kullanıldığı ve METRIC model ile enerji dengesine dayalı bitki su tüketimine ait parametrelerin belirlenme olanaklarını araştırdığı çalışmada; açık su yüzeylerinde buharlaşma ortalama 7 mm iken, kıyı kesimlerde su yüksekliğinin sığlaşması sebebiyle buharlaşmanın yükseldiğini, tarım arazilerinde ise ortalama ET değerinin en yüksek 4 mm olduğunu hesaplamıştır. Çalışma sonucunda, sulama yönetimi açısından homojenliğin bozulabildiği, geniş sulu tarım arazilerinde mekansal ve zamansal çözünürlüğe sahip ET bilgisinin önemi vurgulanmıştır.

Çetin (2013), Samsun ilinde yer alan Minöz Deresi Havzası'nda Landsat 5TM uydu görüntülerinden yararlanarak yaptığı çalışmada; 2007 su yılı mayıs-eylül ayları için METRIC model ile enerji dengesine dayalı aylık ET haritaları hazırlamıştır. Bu haritalarda havzadaki toplam ortalama ET değeri 610 mm olarak bulunmuştur. Bu değer, iklim parametrelerine dayalı olarak hesaplanan toplam ortalama ET_c değeri olan 517 mm'nin üzerinde tahmin edilmiştir.

Gordillo vd. (2014), Meksika'da yaptıkları çalışmada, METRIC modelden elde edilen ve Eddy kovaryans (Eddy Covariance, EC) aracılığıyla hesaplanan günlük ET_a değerlerini karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, ET_a 'daki sapma tüm vejetasyon periyodu için %3.53 olarak belirlenmiş ve UA tabanlı ET_a tahmininin güvenilir bir şekilde yapılabileceği rapor edilmiştir.

French vd. (2015), tarafından Arizona Üniversitesi, Maricopa Tarım Merkezi'ne (ABD) ait 4.9 ha'lık bir pamuk tarlasında gerçekleştirilen çalışmada; toprak nemindeki haftalık tüketim 4.25-10.8 mm gün⁻¹ arasında değişirken, öğle vakti yapılan anlık gözlemlere dayalı UA ile ET tahminleri, 5.77-10.75 mm gün⁻¹ gibi benzer bir aralığa sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber, UA teknikleriyle belirlenen ET tahminleri ile toprak nemi arasındaki farkın 2.07 mm gün⁻¹'den az olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, aynı çalışmanın sonuçlarına göre, ET haritaları için kullanılan İki Kaynaklı Enerji Dengesi modeli (Two Source Energy Balance, TSEB) ve METRIC arasındaki ilişki ise R^2 0.6-0.9 aralığında orta ve güçlü bir ilişki göstermiş ve vejetasyon başlangıç dönemi için METRIC'ten elde edilen ET_a (ET_a METRIC) değişkenliği, TSEB'den elde edilen ET_a (ET_a TSEB)'dan daha büyük, orta-geç sezon için ise ET_a METRIC, ET_a TSEB'e yaklaşık olarak eşit veya biraz daha az olduğunu raporlamıştır.

Zhang vd. (2015) tarafından, uydu tabanlı yöntemler kullanılarak, bölgesel su kullanımını araştırmak amacıyla 2011-2013 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmada; Maui'deki (Hawaii) iki şeker kamışı tarlası için Landsat 7 uydu görüntüleri kullanılarak ET_a haritaları oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda, ET_a METRIC ve iklim verilerinden hesaplanan ET_c arasında önemli bir ilişki ($R^2 = 0.81$) bulunduğu raporlanmıştır.

Singh ve Senay (2016), METRIC ve Operational Simplified Surface Energy Balance (SSEBop) dahil olmak üzere dört yüzey enerji dengesi modelinden elde edilen ET_a 'yı, ABD, Nebraska'daki üç tarım arazisi (mısır ve soya fasulyesi) üzerindeki EC tahmini ET_a 'sıyla karşılaştırmıştır. Araştırma sonucunda, METRIC modelin, 0.88-0.95 arasında değişen bir determinasyon katsayısı (R^2), 0.71-0.98 mm gün⁻¹ arasında bir ortalama mutlak hata (MAE) ve 0.84-1.06 mm gün⁻¹ arasında bir ortalama karekök hatası (RMSE) ile sürekli olarak dört model arasında en iyi performansı gösterdiği belirtilmiştir.

Reyes-Gonzalez vd. (2017), Güney Dakota'daki (ABD) üç mısır tarlası sahasında METRIC ile tahmin edilen ET_a 'yı, atmometre ile tahmin edilen ET_a ölçümleriyle karşılaştırmıştır. Araştırmacılar, METRIC modelin atmometreye kıyasla, sırasıyla R^2 0.87, uyum indeksi (d) 0.84 ve RMSE 0.65 mm gün⁻¹ ile daha iyi performans gösterdiğini vurgulamıştır.

Madugundu vd. (2017), Suudi Arabistan'da yaptıkları çalışmada yonca, rodos otu ve mısır arazileri üzerinde METRIC model ile tahmin edilen ET_a 'yı EC kulelerinden tahmin edilen ET_a ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, araştırmacılar; METRIC modelin, saatlik ET_a 'da %6.6'lık sapma ve günlük ET_a 'da %4.2'lik sapma ile tahmin etmede başarılı olduğunu ve METRIC modelin tam örtü koşullarında kısmi örtü koşullarına kıyasla nispeten daha iyi performans gösterdiğini raporlamıştır.

Balde (2019), kurak ve yarı kurak iklim özellikleri bulunan Senegal'in Richard Toll bölgesinde kuru ve sulu tarım arazilerinde METRIC modelle ET_a haritalanması ve UA olanaklarını araştırdığı çalışmada, 29 adet Landsat 8 uydu görüntüsünü işlemiştir. Ana bitkilerden çeltik için 2016 yılı ET değerleri 3.40-12.0 mm gün⁻¹ ve şeker kamışı için 3.20-8.50 mm gün⁻¹ iken, 2017 yılı için sırasıyla 2.0-8.0 mm gün⁻¹ ve 3.0-7.40 mm gün⁻¹, ortalama NDVI değerleri ise 2016 yılı çeltik için 0.10-0.60 ve şeker kamışı için 0.36-0.58 arasında iken, 2017 yılı için ise sırasıyla 0.18-0.61 ve 0.36-0.62 arasında değişkenlik göstermiştir.

Reyes-Gonzalez vd. (2019), Güney Dakota'da (ABD) yaptıkları çalışmada; mısır bitkisi için yaprak alan indeksi (Leaf Area Index, LAI), yüzey sıcaklığı (T_s) ve ET_a parametrelerini, yer kontrol noktaları ve UA kapsamında karşılaştırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre; LAI için $R^2 = 0.76$ ve RMSE = 0.59 m² m⁻², T_s için $R^2 = 0.87$ ve RMSE 1.24 °C ve ET_a için $R^2 = 0.89$ ve RMSE = 0.71 mm gün⁻¹ olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, günlük ET_a kapsamında METRIC model tahmini ve yersel ölçümler arasındaki sapmanın %4-17 arasında olduğunu raporlamıştır.

Xue vd. (2020), Kaliforniya'da (ABD) yaptıkları çalışmada; badem, domates ve mısır bitkileri için Python-based SEBAL (PySEBAL), METRIC ve SEBS algoritmalarıyla ET_a tahmini yapmıştır. Çalışma sonucunda, pySEBAL ve METRIC modelin domates bitkisi başlangıç döneminde, ET_a 'yı daha düşük tahmin ettiği ancak bu dönem dışında yer kontrol noktalarından gözlemlenen ölçümlerle uyum içerisinde olduğu bildirilmiştir. Sezon bazında SEBS algoritması daha iyi performans gösterirken, tam örtü koşullarında ise METRIC ve pySEBAL'in daha iyi performans gösterdiği raporlanmış ve

operasyonel sulama yönetiminde UA algoritmalarının mekânsal farklılıkların belirlenmesi ve izlenmesinde yardımcı olabileceği vurgulanmıştır.

Tunca vd. (2023), Landsat 8 uydu görüntüleri kullanarak, Malatya Sultansuyu Tarım İşletmesinde METRIC modelle ET haritalama ve verim tahmini yaptıkları çalışmada, uygulanan çeşitli vejetasyon indeksleri ile UA'da verim ve ET tahmininin doğrulukla yapılabildiğini vurgulamıştır.

Alsenjar vd. (2023), METRIC model ile elde edilen ET_a (ET_a METRIC) tahminleri ile FAO-56 ile (Allen vd. 1998) belirlenen ET_c (ET_c FAO-56) verilerini karşılaştırmak için Aşağı Seyhan Ovası'nda yürüttükleri çalışmada, ET_o değerlerinin, DOY 28, DOY 228 ve DOY 244 hariç, METRIC ile elde edilen ET_a 'dan biraz daha yüksek bir değere sahip olmasının yanı sıra, ET_rF_i (anlık referans ET fraksiyonu) değerlerinin 1'den büyük olduğunu ve bu durumun, ET_a METRIC'in tüm iklim değişkenlerini, toprak ve bitki tiplerini birlikte hesaba kattığı şeklinde yorumlanabileceğini belirtmiştir. Çalışma sonucunda, yıllık ET_c 'nin yaklaşık 823 mm olduğu ve bu değer ET_a 'nın %69'una denk geldiği vurgulanmıştır. Ayrıca UA ile elde edilen ET_a haritalarının, sulama havzalarının bölgesel hidrolojisinin, hidrolojik modellemenin ve havza düzeyinde tarımsal su yönetiminin daha iyi anlaşılması için girdi verisi olarak kullanılabileceği, kurak ve yarı kurak bölgelerde sulama suyu yönetimini ve sulama planlama uygulamalarını iyileştirmeye katkısının olabileceği bildirilmiştir.

Salinas vd. (2024), Meksika'da mısır bitkisi üzerinde yaptıkları çalışmada; METRIC Google Earth Engine (METRIC GEE) modeli ile ET_a 'yı belirlemiş ve ET_c kıyaslaması yapmıştır. Çalışmada, vejetasyon yoğunluğunun en yüksek ve en yüksek değere yakın olduğu, orta vejetasyon döneminde FAO-56 ile belirlenen ET_c değerlerinin daha yüksek olduğu, ancak başlangıç ve geç dönemde ise daha düşük ET_c değerlerinin bulunduğu belirtilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; sezonluk ET, FAO-56 ile 466 mm, CropX sensörleriyle toprak nemi izlemeye dayalı olarak 529 mm ve METRIC GEE için 545 mm olarak hesaplanmıştır. Araştırmacılar, ET karşılaştırmalarına dayalı olarak, METRIC modelin tarımsal sulama yönetimini iyileştirebileceğini vurgulamıştır.

2.2. UA Teknikleri ile Sulama Performansının Belirlenmesi Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Droogers ve Bastiaanssen (2002), Gediz Havzası'nda yaptıkları çalışmada, sulama performansını UA tabanlı SEBAL ve toprak-su-atmosfer-bitki hidrolojik modeli (Soil-Water-Atmosphere-Plant, SWAP) yöntemlerini kullanarak değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda; pamuk ve üzüm için sırasıyla yıllık rölatif su temini (RWS) değeri 1.06 ve 0.86; rölatif sulama suyu temini (RIS) değeri 0.79 ve 0.55; su tüketim oranı (DF) değeri ise 0.60 ve 0.72 olarak hesaplanmıştır.

Karataş vd. (2006), Menemen Ovası'nda yer alan Menemen Sol Sahil ve Menemen Sağ Sahil Sulama Birliklerinin performanslarını belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, belirledikleri UA tabanlı ET_a SEBAL ve ET_c sonuçlarına göre, çalışma alanındaki her iki sulama birliği için de, yalnızca ağustos ve eylül aylarında rölatif ET

(RET) > 0.75 olduğundan, performans ‘çok iyi’ çıkmıştır. Ortalama RET değerleri açısından Menemen Sol Sahil Sulama Birliğinin, Menemen Sağ Sahil Sulama Birliğinden daha kararlı ve başarılı bir performans gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca sulama performansı belirlemede, UA tabanlı ET_a tahmininin zamansal ve alansal değişim açısından objektif, hızlı ve ekonomik olarak kullanılabilirliğine vurgu yapılmıştır.

Zwart ve Leclert (2010), 2006-2007 yılları arasında Mali’nin Segou bölgesindeki Office du Niger sulama alanında, UA yöntemlerini (SEBAL) kullanarak sulama performansını değerlendirmiştir. Sonuçlar, sulama yönetiminde eş su dağılım sorunları olduğunu, sahanın son kısmındaki çiftçilerin daha düşük verim elde ettiğini göstermiştir. Verimlilik ve sulama sistemlerinin sürdürülebilirliği konusunda iyileştirme fırsatları tespit edilmiştir. Çalışmada, UA verilerinin düşük maliyetli ve kapsamlı bir değerlendirme aracı olarak önemi vurgulanmıştır.

Karataş vd. (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Aşağı Gediz Havzası’nda yer alan sulama sahalarının sulama performansı, UA teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, 2004 sulama sezonunda sulama sisteminin performansı, toplam tüketim oranı (e_p), RWS, DF, bitki su açığı (CWD) ve RET olmak üzere beş göstergeye göre incelenmiştir. Araştırma sonucunda, mevsimsel ortalama değerlerin, e_p için 0.59-2.26, RWS için 0.47-1.66, DF için 0.43-1.31, CWD için 180.5-269.5 mm ay⁻¹ ve RET için 0.61-0.74 arasında değiştiği ve bu sonuçlarla, sulama birliklerinin genel olarak düşük bir performans sergilediği belirlenmiştir.

Santos vd. (2010), İspanya’nın güneyindeki Endülüs’te bulunan Genil-Cabra sulama projesini değerlendirdikleri bir çalışmada, yıllık rölatif sulama suyu temini (ARIS) performans göstergesi üzerine yaptıkları hesaplamalarda, ET_{cFAO} ve $ET_{aMETRIC}$ ilişkilerini incelemiştir. FAO-56 ile hesaplanan ARIS’in neredeyse optimum sulamaya (0.98 ARIS) tekabül ettiği durumlarda, METRIC ile hesaplanan yeni ARIS prosedürünün aşırı sulamaya (1.27 ARIS) karşılık geldiği tespit edilmiştir. Araştırmada, METRIC ve Su Dengesi Simülasyon Modeli (LORMOD)’nin entegrasyonu, sarımsak ve şeker pancarı hariç, standart ET hesaplama prosedürüyle elde edilenlerden daha düşük sulama gereksinimleri ürettiği ve bu iki ürün için, FAO-56’nın METRIC ile elde edilen gerçek koşullardan daha düşük değerlere sahip olduğu vurgulanmıştır.

Elnmer vd. (2018), sulama performansını belirlemek amacıyla Nil Deltası’nda yaptıkları çalışmada, SEBAL algoritmasıyla belirlenen ET_a ve buna bağlı olarak çalışma alanının aylık DF değerlerinin, kış mevsiminde (kasım 2015-mayıs 2016) 0.36-0.57 arasında değiştiğini ve RET değerinin nisan ve Mayıs aylarında sırasıyla 0.79 ve 0.72’ye ulaştığını ve bölgedeki hasat sezonuna tekabül eden mart ayında ise 0.70’e düştüğünü bildirmiştir. Çalışma sonucunda, UA tabanlı ET_a tahmininin, sulama performansının değerlendirilmesinde doğruluğu arttıracakı vurgulanmıştır.

Ayyad vd. (2019), Mısır’da yaptıkları çalışmada, sulama verimliliğini, yıllık RWS göstergesine göre hesaplamıştır. SSEBop, EEflux ve MODIS tabanlı MOD16A2 metotlarıyla yapılan ET_a hesaplamaları ve buna bağlı sonuçlara göre; aylık bazda SSEBop’un bölgede en iyi performansa sahip olduğu, ardından MOD16A2’nin geldiği

vurgulanmıştır. Bununla beraber, EEFlux metodunun, ET_a değerlerini %36 fazla tahmin ettiği belirtilmiştir. Çalışmada, 2004-2017 arasındaki dönem için çoğu yılda, sağlanan sulama suyu miktarının, ET_{aSEBop} metoduyla tahmin edilen ET_a 'dan %17-47 arasında daha yüksek olduğu ve buna bağlı olarak RWS'nin 0.96-1.47 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Nguyen vd. (2019) tarafından Vietnam'da yürütülen bir çalışmada, 13 farklı sulama sahası, RWS ve RIS göstergelerine göre değerlendirilmiştir. Çalışmada, Tu Phu, Tu Cau, Xuyen Dong, Bich Bac, An Trach ve Ai Nghia olmak üzere, 6 farklı sulama sahasının su temini yetersizliği çektiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, ilgili performans gösterge sonuçlarının sulama yönetiminin iyileştirilmesi ve sulama suyu planı ve programı oluşturulmasında güvenle kullanılabileceğini vurgulamıştır.

Awada vd. (2019) tarafından, SAT Llano Verde sulama sahasının (İspanya) sulama performansını belirlemek için yapılan bir çalışmada, her bir hidrant tarafından aylık dağıtılan sulama suyu miktarları, UA teknikleriyle belirlenen ortalama ET_a değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sulama şebekesi için genel sulama randımanının %85 olduğu varsayılmıştır. Bu analiz, hem her bir hidrantın hizmet verdiği alanlar hem de tüm sulama bölgesi için sulama sistemi performansını değerlendirmeye olanak sağlamıştır. İncelenen tüm yıllarda, çiftçiler tarafından uygulanan aylık sulama suyu miktarlarının, ET_{aSEBAL} değerlerinden genellikle daha yüksek olduğu gözlemlenirken, yalnızca Mayıs ayında, fazla yağış nedeniyle, bu durum farklılık göstermiştir. Çalışma sonucunda, tüm sulama sezonları (2006, 2007 ve 2008) dikkate alındığında, sırasıyla bölgedeki toplam su tüketiminin %26.2, %28.0 ve %16.4'ü kadar su tasarrufu sağlanabileceği vurgulanmıştır.

Mekonnen vd. (2024) tarafından, Etiyopya'da, 2021-2022 ve 2022-2023 sulama sezonları için, UA ve yer ölçüm verileri kullanılarak, küçük ölçekli sulama alanlarının performansı değerlendirilmiştir. Çalışmada, iki sulama sezonu için RET değerlerinin sırasıyla 1.00 ve 1.04 olmasının yeterli su teminini gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, RWS değerlerinin sırasıyla 1.56 ve 1.73 olmasının arzın yüksek olduğunu ve e_p değerlerinin sırasıyla 0.54 ve 0.43 gibi düşük olmasının zayıf performansı gösterdiği ifade edilmiştir. Araştırmacılar, sulama yönetiminin iyileştirilmesi kapsamında, UA teknikleri ve performans göstergelerinin önemini vurgulamıştır.

Tiruye vd. (2024) tarafından yürütülen bir çalışma, 2018-2022 yıllarında Etiyopya'nın Amhara bölgesindeki Koga sulama alanında buğday bitkisi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, su tüketim desenleri ve sulama performansı göstergeleri, açık erişimli WaPOR veri portalı kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, rölatif su açığı (relative water deficit, RWD) ortalamasının 0.33 olduğu, RET değerlerinin 0.66-0.86 arasında değiştiği, sulama performansı göstergelerinin, özellikle yeterlilik ve RWD oranlarının 'zayıf'; eşitlik göstergesinin 'orta'; faydalı su kullanım oranının ise 'kabul edilebilir' seviyede olduğu belirlenmiştir.

2.3. Vejetasyon İndeksleriyle Bitki Katsayısının Belirlenmesi Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Kamble vd. (2013) yaptıkları çalışmada; MODIS uydusundan elde edilen NDVI değerleri ile tahmin edilen K_c ile ölçülen K_c arasındaki R^2 değerlerinin sırasıyla 0.91 ve 0.90 olduğu güçlü bir doğrusal ilişki bulurken, 2006 ve 2007 yıllarında K_c için RMSE değerlerinin sırasıyla 0.16 ve 0.19 olduğunu raporlamıştır. Çalışma sonuçlarına göre; NDVI- K_c regresyon denklemini kullanarak UA ile elde edilen K_c 'lerin sulama planlaması, sulama/proje performansının değerlendirilmesi, tarımsal su bütçeleri ve su kullanım verimliliğinin tahmini için yararlı olabileceği vurgulanmıştır.

Zhang vd. (2015) tarafından, Hawaii'nin Maui Adası'nda şeker kamışı bitkisi üzerinde gerçekleştirilmiş olan çalışmada, Landsat 7 uydu görüntülerinden oluşturulan NDVI haritaları ile bitki örtüsü indeksi fraksiyonu (f_c) arasında güçlü bir doğrusal ilişki ($R^2 = 0.97$) bulunmuştur. Bununla beraber, K_c - K_c NDVI arasında ise anlamlı bir ilişki olduğu ($R^2 = 0.84$) belirtilmiştir. Araştırmacılar, çalışma sonucunda, UA ile elde edilmiş K_c tahmininin etkili bir yaklaşım olduğunu vurgulamıştır.

El-Shirbeny vd. (2017) tarafından, 2013-2014 kış sezonunda Mısır'daki El-Salhia bölgesinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Landsat 7 ve Landsat 8 uydu verilerinin kullanıldığı çalışmada, buğday ve patates bitkileri için K_c ile NDVI arasında bir ilişki olarak, K_c NDVI = $1.259 \times NDVI + 0.034$ ($R^2 = 0.92$) modeli geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda, buğday ve patates için K_c NDVI ile K_c arasında her iki ürün için de $R^2 = 0.98$ olarak raporlanmıştır.

Toureiro vd. (2017) tarafından Portekiz'de gerçekleştirilen benzer bir çalışmada ise FAO-56'ya kıyasla, K_c NDVI değerlerinden hesaplanan ET_c değerinin de yüksek doğrulukla belirlenebileceği vurgulanmıştır.

Beeri vd. (2019) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan çalışmada, uydu görüntülerinden (Landsat, Sentinel-2, LISS-3) elde edilmiş vejetasyon indekslerinden K_c tahmini hedeflenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; narenciye, mısır, yonca ve soya fasulyesi bitkileri için NDVI, Toprakla Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI), Gelişmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI2), Görünür Atmosferik Dirençli İndeks (VARI) olmak üzere, farklı indekslerden farklı bitkiler için elde edilmiş UA tabanlı değerler için en iyi korelasyonun K_c - K_c NDVI arasında olduğu belirtilmiştir.

French vd. (2020) tarafından, Yuma Arizona'da (ABD) makarnalık buğday üzerinde yapılan bir çalışmada, UA teknikleriyle elde edilen NDVI haritalarıyla, K_c NDVI verileri tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda, UA tabanlı modellenmiş değerlerin tüm sezon ve büyüme sezonunun çoğu için çok iyi uyum sağladığı, en iyi uyumun orta sezonda olduğu belirtilmiştir. Ancak UA teknikleriyle belirlenen, buğdaya ait başlangıç K_c NDVI değerinin düşük kanopi ve yağışlar altında daha az performans gösterdiği vurgulanmıştır.

Ihuoma vd. (2021) tarafından, Kanada’da yapılan çalışmada, insansız hava aracı (İHA), PlanetScope ve Sentinel-2A&2B uydu platformlarından elde edilen NDVI değerleri, farklı sulama rejimlerinde (%100, %80 ve %60) yetiştirilen domates bitkisinin K_c ve ET_c değerlerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, İHA’dan elde edilen ortalama NDVI değerlerinin (0.87 ± 0.03), PlanetScope (0.71 ± 0.03) ve Sentinel-2 (0.82 ± 0.05) gibi uydu platformlarından elde edilen değerlerden belirgin şekilde yüksek olduğu ve İHA’nın saha NDVI değerlerini aşırı tahmin ettiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, K_c ve NDVI değerleri arasındaki ilişki için PlanetScope için $R^2 = 0.78$ ve Sentinel-2 için $R^2 = 0.98$ olarak bulunmuştur. Ayrıca, Sentinel-2 uydu platformu ile FAO-56’dan tahmin edilen ET_c değerleri karşılaştırıldığında, yakın bir uyum ($R^2 = 0.94$; $p < 0.01$) gösterdiği rapor edilmiştir.

Duarte (2022) tarafından, Portekiz’de 2020-2022 yılları arasında yürütülen çalışmada, Sentinel-2 uydusu aracılığıyla oluşturulan K_{cNDVI} ile FAO K_c doğrusal ilişkisi incelenmiştir. Çalışmada, ürün deseni olarak kullanılan ayçiçeği, patates, domates ve mısır için K_{cNDVI} ile FAO K_c doğrusal ilişkisinin R^2 değerleri sırasıyla 0.97, 0.99, 0.97 ve 0.98 olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, UA kapsamında sunulan tahmin metodlarının, K_c ’leri daha iyi belirlemek için potansiyel yöntemler olarak görülebileceğini vurgulamıştır.

Malachy vd. (2022) tarafından, İsrail’de gerçekleştirilen bir çalışmada; İHA ile elde edilen UA bazlı veriler ve yersel yükseklik ölçüm ilişkisine dayalı olarak beş büyüme mevsimi boyunca pamuk, patates ve domates bitkileri için K_c tahmini yapılmıştır. Çalışma sonucunda, bu bitkilerin UA tabanlı K_c değerleri için R^2 değerleri sırasıyla 0.98, 0.84 ve 0.80 olarak belirlenmiştir.

Al-Bakri vd. (2023) tarafından, Ürdün’de sulama yönetimini iyileştirmek amacıyla 2017-2019 yılları arasında yapılan çalışmada; Sentinel-2 uydularından elde edilmiş NDVI haritaları ile K_c ilişkileri için R^2 değerleri 0.89-0.93 arasında değişirken, K_{cNDVI} ’dan elde edilmiş ET_c ile UA esaslı ET arasındaki ilişkinin anlamlı ($NSE = 0.89$) olduğu belirtilmiştir.

Shao vd. (2023) tarafından, 2018 ve 2019 yıllarında Çin’in İç Moğolistan bölgesinde, yarı kurak bir alanda sulanan mısır bitkisi üzerinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir. FAO-56 yöntemine dayalı olarak, UA ve makine öğrenimi teknikleri kullanılarak mısır için K_c tahmini yapılmıştır. Mısırın K_c değerleri, İHA tabanlı multispektral, RGB ve termal kızılötesi görüntülerden elde edilen ve bitki örtüsü indeksi (VI_s), bitki örtüsü fraksiyonu (VF), termal ve kanopi bilgileriyle geliştirilen modellerle hesaplanmıştır. Rastgele orman regresyonu (RFR) yöntemi, yüksek doğruluk oranı ($R^2 = 0.69$; $RMSE = 0.1019$) ile K_c tahmini için en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

Mebrie vd. (2023), Etiyopya’daki Koga sulama projesindeki 10 buğday parselinde, mekansal ve zamansal olarak değişen K_c ’leri, UA teknikleri (Sentinel-2) kullanarak K_{cNDVI} ve ET_c ’yi tahmin etmiştir. Çalışma sonucunda, K_c değeri başlangıç aşamasında 0.16-0.42 arasında ve orta aşamada 1.20-1.32 arasında değişmekte olup, K_c ’nin ortalama değeri başlangıç aşamasında 0.29 ile orta aşamada 1.26 arasında

değiştiğini ve Sentinel-2B'den elde edilen NDVI ile FAO K_c değerleri arasında güçlü bir korelasyon bulunduğunu ($R^2 = 0.95$) raporlanmıştır. Araştırmacılar, UA tabanlı K_c 'nin ET_c 'yi tahmin etmede başarılı bir şekilde kullanılabileceğini vurgulamıştır.

Zhang vd. (2023), Çin'in Nash bölgesinde UA teknikleri ile karpuz bitkisinin K_c tahmini için yaptıkları çalışmada, LAI ve K_c arasındaki ilişkide $R^2 = 0.76$ ($p < 0.01$) olarak bulunduğunu ve UA tabanlı $K_{c\ LAI}$ ile K_c arasındaki ilişkide ise $R^2 = 0.58$ ($p < 0.01$) olarak belirlendiğini raporlamıştır. Araştırma sonucunda, tahmin edilen $K_{c\ LAI}$ ve K_c ile hesaplanan ET_c 'ler karşılaştırıldığında ise 2020 ve 2021 yıllarındaki tahmini modelleme değerleri için R^2 'nin sırasıyla 0.96 ve 0.97 ($p < 0.01$) olduğu raporlanmıştır.

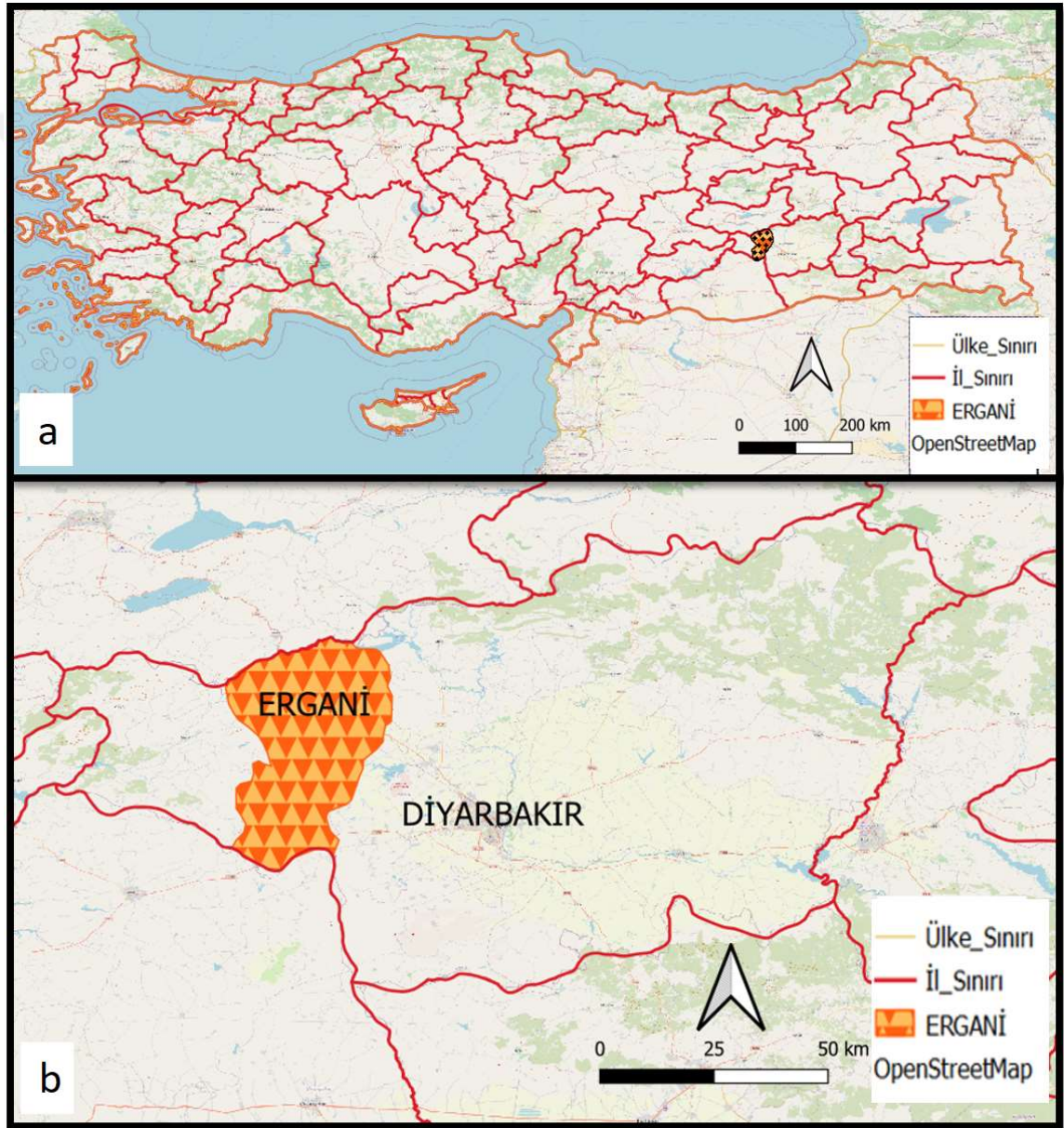
Ferreira vd. (2023) tarafından, 2019-2021 çeltik yetiştirme sezonlarında Lis Vadisi sulama sahasında (Portekiz) yapılan çalışmada; gelişim ve orta dönemi için FAO K_c ile NDVI arasında anlamlı bir ilişki (sırasıyla $R^2 = 0.71$ ve 0.82) bulunmuştur. Çalışma sonucunda, $K_{c\ NDVI}$ ile hesaplanan ET ile $ET_{a\ METRIC}$ arasında ihmal edilebilir bir sapma (ortalama $0.8\ mm\ gün^{-1}$) olduğu belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanı

Çalışma Ergani Barajı Sulama Sisteminin, $38^{\circ} 15' 36''$ - $38^{\circ} 14' 24''$ kuzey enlemleri ile $39^{\circ} 39' 36''$ - $39^{\circ} 43' 48''$ doğu boylamları arasında kalan sulama sahası için yürütülmüştür. Bu alan, Diyarbakır iline bağlı Ergani ilçe sınırları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 3.1). Çalışma alanı içerisinde, Yolköprü, Ortayazı, Yeşilköy, Hılar ve Pınarkaya Mahalleleri yer almaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma alanının coğrafi konumu **a)** Türkiye çerçevesinde Ergani-Diyarbakır; **b)** Diyarbakır çerçevesinde Ergani İlçesi

3.1.2. İklim özellikleri

Çalışma alanı, Thornthwaite indeksine göre yarı kurak ve az nemlidir (Akyıldız ve Yar 2024). Uzun yıllık verilere göre, aylık ortalama değerler açısından, 31°C ile temmuz ve ağustos en sıcak aylar, 2.9 °C ile ocak en soğuk aydır. En yüksek bağıl nem, %68.7 ile aralık ayında olup, en düşük bağıl nem ise %28 ile temmuz ayındadır. Çalışmanın yürütüldüğü 2023 ve 2024 yılları ile uzun yıllar için yıllık toplam yağış miktarları sırasıyla 806.60 mm, 674.00 mm ve 620.35 mm'dir. Araştırma kapsamında ET hesaplarında kullanılan 2023-2024 yıllarına ait saatlik ve günlük iklim verileri, çalışma alanına en yakın Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (MGM) bağlı Ergani istasyonundan temin edilmiş olup, 2023-2024 yılları ve uzun yıllara ait bazı iklim verileri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışma alanına ait 2023-2024 yılları ve uzun yıllar iklim verileri

	Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ortalama Sıcaklık (°C)	2023	4.6	1.7	10.7	12.7	18.1	25.4	30.7	32.4	27.4	18.9	11.9	7.8
	2024	4.8	6.4	8.6	18.3	18.5	29.5	30.9	31.8	25.7	18.4	10.1	5.2
	Uzun yıllar	2.9	4.0	8.7	13.9	19.5	26.2	31.0	31.0	25.6	18.6	10.4	4.9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2023	13.6	18.6	19.2	23.0	28.5	36.4	40.0	41.8	37.8	27.6	24.8	16.3
	2024	12.3	14.9	23.5	30.7	32.2	39.9	39.5	40.9	36.4	31.4	21.6	14.6
	Uzun yıllar	17.2	21.0	27.4	34.7	35.2	41.2	44.2	44.9	41.7	35.3	26.0	24.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	2023	-2.5	-6.4	-0.7	0.8	5.6	14.2	19.0	20.1	18.2	10.7	0.5	1.9
	2024	-1.5	-2.4	-0.1	9.2	6.7	17.5	17.3	18.4	13.5	7.4	-0.6	-3.5
	Uzun yıllar	-12.0	-12.6	-5.6	-2.5	4.5	10.8	14.6	16.4	8.9	0.7	-6.2	-14.8
Ortalama Bağıl Nem (%)	2023	61.1	62.6	65.9	64.6	47.5	34.6	21.1	18.3	21.5	46.8	65.7	70.7
	2024	74.7	70.9	64.0	48.2	51.3	21.6	25.0	21.3	33.8	30.1	56.3	69.3
	Uzun yıllar	68.2	65.6	60.5	58.3	52.0	35.2	28.0	28.5	34.8	49.8	59.2	68.7
Toplam Yağış (mm)	2023	30.6	86.8	179.8	107.4	42.8	6.0	0.6	0.0	0.0	31.2	192.6	128.8
	2024	144.2	158.4	147.6	38.6	59.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	73.6	48.6
	Uzun yıllar	135.2	67.04	84.8	75.3	59.6	7.7	1.7	2.1	11.3	45.9	45.0	113.0

3.1.3. Sulama sahası bilgileri

DSİ 10. Bölge Müdürlüğü tarafından işletilen Ergani Barajı, toplam 1866 ha tarım arazisine hizmet etmektedir (Şekil 3.2). 2021 yılından itibaren hizmete alınan sulama sistemi, tamamen kapalı (borulu) olup, sulanan arazilerde damla ve yağmurlama sulama yöntemleri uygulanmaktadır (Şekil 3.3). Çalışma alanının su kaynağı Ergani Barajı olup, sulama alanına iletilen su, baraj dip savağından alınmaktadır. Barajın en yüksek su

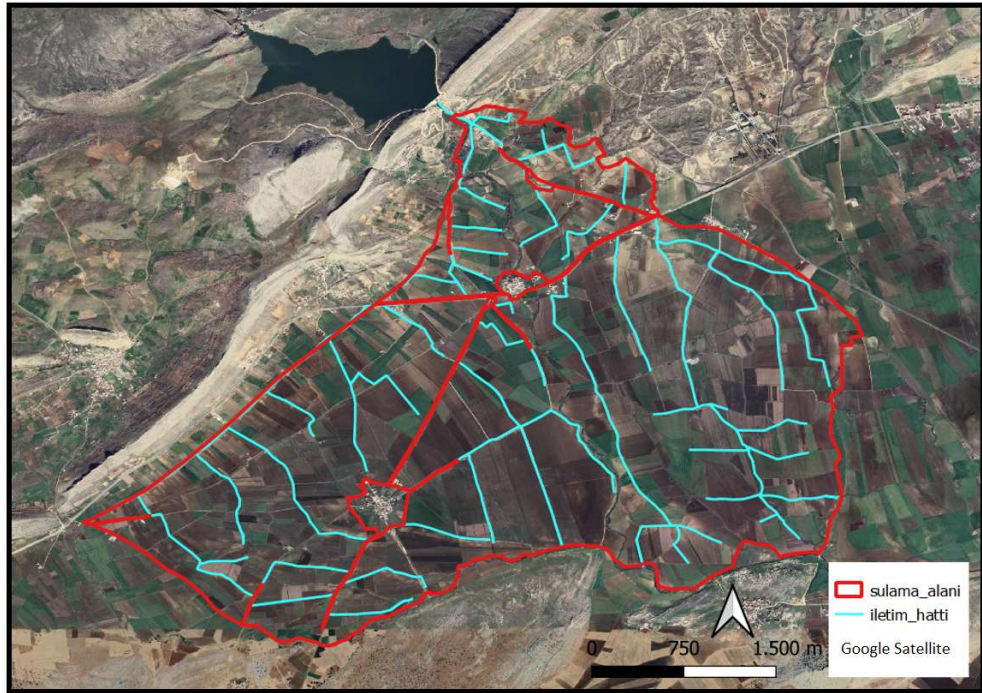
seviyesi 916.87 m ve en düşük su seviyesi 889.50 m kotundadır. Sulama modülü $0.99 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ olarak hesaplanan sulama sisteminde, 5.83 km ana boru hattı bulunmaktadır. Ana boruların başlangıç kapasitesi $2.11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 'dir. Toplam sulama şebekesi uzunluğu 54.22 km olup, drenaj şebekesi uzunluğu ise 1.55 km'dir (Şekil 3.4). Çalışma alanındaki sulama uygulamaları (miktar ve zaman), tamamen çiftçi kontrolünde yapılmaktadır. Su dağıtımından sorumlu DSİ, suyu hacim bazlı ücretlendirmiş olup, çalışmanın gerçekleştirildiği 2023-2024 sulama sezonlarında sulamaya suyu miktarı ve zamanı konusunda herhangi bir kısıt uygulamamıştır. Çünkü baraj rezarvuarında, çalışmanın yürütüldüğü her iki sezon bitiminde de su seviyesi en düşük kota düşmemiştir.



Şekil 3.2. Ergani Barajı a) Baraj gövdesi; b) Mansap; c) Memba



Şekil 3.3. Saha ziyaretleri **a)** Hidrant kontrol birimi; **b)** Ön ödemeli sayaç; **c)** Tarla başında bulunan hidrantlar; **d)** Yağmurlama sulama sistemi



Şekil 3.4. Ergani Barajı Sulama Sistemi hizmet alanı ve iletim hatları

3.1.4. Ürün deseni

Çalışma alanına ait ürün deseni, DSİ'den temin edilmiş ve Ergani İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden temin edilen parsel bazlı üretim belgeleriyle eşleştirilmiştir. Araştırma alanına ait üretim deseni, 2023 ve 2024 yılları 1. ve 2. ürün (geç ekim) olmak üzere; tüm proje sahası, Yolköprü, Ortayazı, Yeşilköy, Hilar ve Pınarkaya Mahalleleri için sırasıyla Çizelge 3.2, Çizelge 3.3, Çizelge 3.4, Çizelge 3.5, Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7'de verilmiştir. Bu kapsamda; bitki deseni, ilgili kurum çalışanlarıyla beraber sahadan ve uydu görüntülerinden de denetlenmiştir (Şekil 3.5).

Çizelge 3.2. Proje sahası 2023-2024 ürün deseni

Ürün Deseni	1. Ürün Alanı (da)		2. Ürün Alanı (da)	
	2023	2024	2023	2024
Hububat	290.44	486.12	-	11.50
Meyve	253.56	244.48	-	-
Bostan	1437.83	2946.60	509.27	565.66
Soğan	333.54	582.55	-	3.50
Mısır	3807.56	4251.88	1050.01	589.37
Patates	603.00	1077.72	152.00	249.00
Şeker Pancarı	3014.22	-	-	-
Tütün	286.88	571.92	38.43	-
Yem Bitkileri	1.00	-	-	-
Yonca	15.20	10.00	1.00	2.00
Gül	-	52.00	-	-
Susam	-	10.50	-	4.83
Pamuk	-	126.32	-	-
Toplam Alan	10043.24	10360.09	1750.71	1425.87

Çizelge 3.3. Ortayazı Mahalesi 2023-2024 ürün deseni

Ürün Deseni	1. Ürün Alanı (da)		2. Ürün Alanı (da)	
	2023	2024	2023	2024
Hububat	52.75	121.34	-	-
Meyve	60.73	80.37	-	5.00
Bostan	314.96	682.42	51.87	37.07
Soğan	59.50	156.32	-	-
Mısır	490.25	855.87	293.83	243.74
Patates	-	66.91	-	-
Şeker Pancarı	1326.22	-	-	-
Tütün	280.08	524.84	38.43	-
Gül	-	16.00	-	-
Susam	-	10.50	-	-
Pamuk	-	102.72	-	-
Toplam Alan	2584.49	2617.28	384.13	285.81

Çizelge 3.4. Yolköprü Mahallesi 2023-2024 ürün deseni

Ürün Deseni	1. Ürün Alanı (da)		2. Ürün Alanı (da)	
	2023	2024	2023	2024
Hububat	201.00	296.10	-	-
Meyve	65.03	55.27	-	-
Bostan	475.15	1234.34	90.40	120.64
Soğan	242.84	339.50	-	-
Mısır	1023.14	1364.51	235.65	110.07
Patates	595.00	894.07	152.00	241.00
Şeker Pancarı	1023.65	-	-	-
Tütün	6.80	47.08	-	-
Yonca	7.20	-	-	-
Gül	-	36.00	-	-
Susam	-	-	-	4.83
Pamuk	-	23.60	-	-
Toplam Alan	3639.81	4290.47	478.05	476.54

Çizelge 3.5. Yeşilköy Mahallesi 2023-2024 ürün deseni

Ürün Deseni	1. Ürün Alanı (da)		2. Ürün Alanı (da)	
	2023	2024	2023	2024
Hububat	12.70	16.50	-	6500
Meyve	60.77	65.62	-	-
Bostan	457.72	905.17	344.00	292.63
Soğan	2.00	58.77	-	3.50
Mısır	1179.97	997.51	470.53	100.70
Patates	8.00	95.84	-	8.00
Şeker Pancarı	435.08	-	-	-
Yonca	7.00	8.00	-	2.00
Toplam Alan	2163.23	2147.40	814.53	413.33

Çizelge 3.6. Hılar Mahallesi 2023-2024 ürün deseni

Ürün Deseni	1. Ürün Alanı (da)		2. Ürün Alanı (da)	
	2023	2024	2023	2024
Hububat	24.00	52.18	-	-
Meyve	31.63	26.65	-	-
Bostan	184.00	117.16	23.00	112.29
Soğan	29.20	27.96	-	-
Mısır	1111.20	1013.31	50.00	134.87
Patates	-	20.90	-	-
Şeker Pancarı	229.27	-	-	-
Toplam Alan	1609.31	1258.16	73.00	247.16

Çizelge 3.7. Pınarkaya Mahallesi 2023-2024 ürün deseni

Ürün Deseni	1. Ürün Alanı (da)		2. Ürün Alanı (da)	
	2023	2024	2023	2024
Hububat	35.40	-	-	-
Meyve	6.00	16.58	-	-
Bostan	-	7.52	-	3.02
Soğan	3.00	-	-	-
Mısır	-	20.68	-	-
Yem Bitkileri	1.00	-	-	-
Yonca	-	2.00	1.00	-
Toplam Alan	45.40	46.78	1.00	3.02



Şekil 3.5. Sulama sahasından bazı görseller **a)** Mısır arazisi; **b)** Tütün arazisi; **c)** Saha ziyareti; **d)** Şeker pancarı arazisi; **e)** İHA'dan elde edilen şeker pancarı arazisi fotoğrafı; **f)** İHA'dan elde edilen mısır arazileri; **g)** Hasat zamanına yakın arazi kontrolleri; **h)** Karpuz arazisi; **i)** Ergani İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü ve DSİ personeli ile saha ziyareti ve beyan kontrolleri

3.1.5. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri

Çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından sunulan Landsat-8, Landsat-9 ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından sunulan Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Landsat-8, Landsat-9 ve Sentinel-2 uydu görüntü setlerinin genel özellikleri sırasıyla Çizelge 3.8, Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10'da verilmiştir. Ayrıca uydunun veri toplama prensibine ait yapay zekâ tabanlı bir görsel Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Landsat-8 uydusuna ait bantlarının genel özellikleri (Anonymous 1)

Spektral Aralık	Dalga boyu (μm)	Çözünürlük (m)
Bant 1 - Kıyı/ Aerosol	0.433 - 0.453	30
Bant 2 - Mavi	0.450 - 0.515	30
Bant 3 - Yeşil	0.525 - 0.600	30
Bant 4 - Kırmızı	0.630 - 0.680	30
Bant 5 -Yakın kızılötesi	0.845 - 0.885	30
Bant 6 - Kısa dalga kızılötesi	1.560 - 1.660	30
Bant 7 - Kısa dalga kızılötesi	2.100 - 2.300	30
Bant 8 - Pankromatik	0.500 - 0.680	15
Bant 9 - Sirkus	1.360 - 1.390	30
Bant 10 - Termal kızılötesi	10.60 - 11.19	100
Bant 11 - Termal kızılötesi	11.50 - 12.51	100

Çizelge 3.9. Landsat-9 uydusuna ait bantlarının genel özellikleri (Anonymous 2)

Spektral Aralık	Dalga boyu (μm)	Çözünürlük (m)
Bant 1 - Kıyı/ Aerosol	0.433 - 0.453	30
Bant 2 - Mavi	0.450 - 0.515	30
Bant 3 - Yeşil	0.525 - 0.600	30
Bant 4 - Kırmızı	0.630 - 0.680	30
Bant 5 -Yakın kızılötesi	0.845 - 0.885	30
Bant 6 - Kısa dalga kızılötesi	1.560 - 1.660	30
Bant 7 - Kısa dalga kızılötesi	2.100 - 2.300	30
Bant 8 - Pankromatik	0.500 - 0.680	15
Bant 9 - Sirkus	1.360 - 1.390	30
Bant 10 - Termal kızılötesi	10.30 - 11.30	100
Bant 11 - Termal kızılötesi	11.50 - 12.50	100

Çizelge 3.10. Sentinel-2 uydusuna ait bantlarının genel özellikleri (Anonymous 3)

Spektral Aralık	Merkezi dalga boyu (µm)	Çözünürlük
Bant 1 - Kıyı/ Aerosol	0.443	60
Bant 2 - Mavi	0.490	10
Bant 3 - Yeşil	0.560	10
Bant 4 - Kırmızı	0.665	10
Bant 5 - Kırmızı kenar	0.705	20
Bant 6 - Kırmızı kenar	0.740	20
Bant 7 - Kırmızı kenar	0.783	20
Bant 8 - Yakın kızılötesi	0.842	10
Bant 8A - Yakın kızılötesi	0.865	20
Bant 9 - Su buharı	0.945	60
Bant 10 - Sirus	1.375	60
Bant 11 - Kısa dalga kızılötesi	1.610	20
Bant 12- Kısa dalga kızılötesi	2.190	20

**Şekil 3.6.** Uydunun veri toplama prensibine ait yapay zekâ tabanlı görsel

Çalışma kapsamında, 19 adet Landsat-8, 20 adet Landsat-9 ve 52 adet Sentinel-2 olmak üzere; toplamda 91 adet görüntü işlenmiştir. İlgili görüntülerin tarihleri Çizelge 3.11 (Landsat-8 ve Landsat-9) ve Çizelge 3.12’de (Sentinel-2) verilmiştir.

Çizelge 3.11. Çalışma kapsamında kullanılan Landsat-8 ve Landsat-9 uydu görüntülerinin çekim tarihleri

Sayı	Uydu	DOY	Çekim tarihi	Sayı	Uydu	DOY	Çekim tarihi
1	Landsat-9	111	21/04/2023	21	Landsat-9	130	09/05/2024
2	Landsat-9	127	07/05/2023	22	Landsat-8	138	17/05/2024
3	Landsat-8	135	15/05/2023	23	Landsat-9	146	25/05/2024
4	Landsat-9	143	23/05/2023	24	Landsat-8	154	02/06/2024
5	Landsat-8	151	31/05/2023	25	Landsat-8	170	18/06/2024
6	Landsat-9	159	08/06/2023	26	Landsat-9	178	26/06/2024
7	Landsat-8	167	16/06/2023	27	Landsat-8	186	04/07/2024
8	Landsat-9	175	24/06/2023	28	Landsat-9	194	12/07/2024
9	Landsat-8	183	02/07/2023	29	Landsat-8	202	20/07/2024
10	Landsat-9	191	10/07/2023	30	Landsat-9	210	28/07/2024
11	Landsat-8	199	18/07/2023	31	Landsat-8	218	05/08/2024
12	Landsat-9	207	26/07/2023	32	Landsat-9	226	13/08/2024
13	Landsat-8	215	03/08/2023	33	Landsat-8	234	21/08/2024
14	Landsat-9	223	11/08/2023	34	Landsat-9	242	29/08/2024
15	Landsat-8	231	19/08/2023	35	Landsat-8	250	06/09/2024
16	Landsat-9	239	27/08/2023	36	Landsat-9	258	14/09/2024
17	Landsat-8	247	04/09/2023	37	Landsat-9	274	30/09/2024
18	Landsat-8	263	20/09/2023	38	Landsat-8	282	08/10/2024
19	Landsat-9	271	28/09/2023	39	Landsat-9	290	16/10/2024
20	Landsat-8	279	06/10/2023				

Çizelge 3.12. Çalışma kapsamında kullanılan Sentinel-2 uydu görüntülerinin çekim tarihleri

Sayı	DOY	Çekim tarihi	Sayı	DOY	Çekim tarihi	Sayı	DOY	Çekim tarihi
1	107	17/04/2023	19	232	20/08/2023	37	182	30/06/2024
2	122	02/05/2023	20	237	25/08/2023	38	187	05/07/2024
3	127	07/05/2023	21	242	30/08/2023	39	192	10/07/2024
4	137	17/05/2023	22	247	04/09/2023	40	202	20/07/2024
5	152	01/06/2023	23	252	09/09/2023	41	207	25/07/2024
6	162	11/06/2023	24	257	14/09/2023	42	212	30/07/2024
7	167	16/06/2023	25	262	19/09/2023	43	217	04/08/2024
8	172	21/06/2023	26	267	24/09/2023	44	222	09/08/2024
9	177	26/06/2023	27	272	29/09/2023	45	227	14/08/2024
10	182	01/07/2023	28	287	14/10/2023	46	237	24/08/2024
11	187	06/07/2023	29	302	29/10/2023	47	242	29/08/2024
12	192	11/07/2023	30	117	26/04/2024	48	247	03/09/2024
13	197	16/07/2023	31	142	21/05/2024	49	257	13/09/2024
14	202	21/07/2023	32	152	31/05/2024	50	272	28/09/2024
15	207	26/07/2023	33	157	05/06/2024	51	277	03/10/2024
16	212	31/07/2023	34	167	15/06/2024	52	287	13/10/2024
17	217	05/08/2023	35	172	20/06/2024			
18	227	15/08/2023	36	177	25/06/2024			

3.1.6. Çalışmada kullanılan bilgisayar ve yazılım bilgileri

Görüntülerin işlenmesi bağlamında; Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümünde bulunan iş istasyonu ana cihaz olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, veri görüntüleme, düzenleme ve çözümleme imkânı sağlayan çoklu platform destekli bir görüntü işleme ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı olan QGIS kullanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Referans bitki su tüketimi hesaplamaları

ET_c değerleri, bitki bazında Eşitlik 3.1’de verilen FAO-56 yöntemine göre hesaplanmıştır (Allen vd. 1998). İlgili alandaki bitki desenine ait K_c değerleri için TAGEM-SUET (Anonim 1) programından yararlanılmıştır. Sulama sezonunda ET_a ve ET_c ilişkileri incelenirken, başlangıç dönemi K_c değerleri ($K_{c\ ini}$), yerel iklim verileri dikkate alınarak revize edilmiştir (Eşitlik 3.2) (Allen vd. 1998).

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

ET_c : Bitki su tüketimi (mm)

K_c : Bitki katsayısı

ET_o : Referans bitki su tüketimi (mm)

$$K_{c\ ini} = K_{c\ ini} (\text{Şekil 29}) + \frac{I_i - 10}{40 - 10} \times K_{c\ ini} (\text{Şekil 30}) - K_{c\ ini} (\text{Şekil 29}) \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

$K_{c\ ini}$: Başlangıç dönemine ait K_c değeri

$K_{c\ ini}$ (Şekil 29): FAO-56 Şekil 29’den alınan bitki başlangıç dönemine ait K_c değeri

$K_{c\ ini}$ (Şekil 30): FAO-56 Şekil 30’den alınan bitki başlangıç dönemine ait K_c değeri

I_i : Ortalama infiltrasyon derinliği (mm).

3.2.2. Uzaktan algılama ile evapotranspirasyonun belirlenmesi

Çalışmada, ET_a ’nın belirlenmesi için kullanılan farklı dalga boylarındaki uydu görüntüleri bilgisayar ortamında UA yazılımları ile işlenmiştir. Dikkate alınan çalışma sahası, 180×180 km olan bir görüntü çerçevesinden kesilerek ayırt edilmiştir. Bölgeye

ait olan iklim verileri ve uydu görüntülerinden yararlanılarak, ET haritalarının elde edilmesinde enerji dengesine dayalı METRIC model kullanılmıştır (Allen vd. 2007).

Çalışma alanı için uydu görüntüsünden yararlanılarak yüzey albedosu (α), LAI, NDVI, SAVI, anlık latent enerji (LE), anlık net radyasyon (R_n), anlık toprak ısı akısı (G) ve anlık hissedilir ısı akısı (H) parametreleri Eşitlik 3.3'te açıklandığı gibi hesaplanmıştır (Allen vd. 2007). Modelin daha ayrıntılı açıklaması Allen vd. (2007) tarafından verildiğinden, burada yönteme ilişkin önemli noktalarının vurgulandığı bir özet sunulmuştur.

$$LE = R_n - G - H \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

LE: ET ile tüketilen latent enerji ($W m^{-2}$)

G: Toprak ısı akısı ($W m^{-2}$)

H: Havaya taşınan hissedilir ısı akısı ($W m^{-2}$)

R_n : Net radyasyon (yüzeydeki tüm gelen ve giden kısa dalga ve uzun dalga radyasyonunun toplamı) ($W m^{-2}$). R_n , Eşitlik 3.4 ile hesaplanmıştır:

$$R_n = R_{S\downarrow} - \alpha \times R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0) \times R_{L\downarrow} \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

$R_{L\downarrow}$: Gelen uzun dalga radyasyon ($W m^{-2}$)

$R_{L\uparrow}$: Giden uzun dalga radyasyon ($W m^{-2}$)

α : Yüzey albedosu (birimsiz). Yüzey albedosu, yansıyan radyasyonun gelen kısa dalga radyasyona oranı olarak tanımlanır. Bu parametre, her bir uydu bandı için spektral yansıma hakkında uydu görüntü bilgisi kullanılarak hesaplanır.

ϵ_0 : Geniş bant yüzey termal emisivitesi (birimsiz). ϵ_0 , bir yüzey tarafından yayılan gerçek radyasyonun aynı yüzey sıcaklığında bir siyah cisim tarafından yayılana oranıdır. ϵ_0 , yüzeyden meydana gelen toplam uzun dalga radyasyon yayılımını hesaplamak için kullanılır. Landsat uydusu için 6-14 μm termal spectrum aralığındaki emisivitedir.

$R_{S\downarrow}$: Gelen kısa dalga radyasyon ($W m^{-2}$). Solar sabiteler, solar geliş açısı, rölatif bir Dünya-Güneş uzaklığı ve hesaplanan atmosferik geçirgenlik kullanılarak hesaplanır. $R_{S\downarrow}$ 'nin miktarı, α 'nın bir fonksiyonudur. $R_{S\downarrow}$ 'nin hesaplanmasında Eşitlik 3.5 kullanılmıştır:

$$R_{S\downarrow} = \frac{G_{SC} \times \cos\theta_{rel} \times \tau_{sw}}{d^2} \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

G_{sc} : Solar sabitesi (1367 W m^{-2})

θ_{rel} : Solar geliş açısı

τ_{sw} : Kısa dalga radyasyon için geniş bant atmosferik geçirgenlik

d^2 : Rölatif Dünya-Güneş mesafesinin karesi (rad)

Stefan-Boltzmann eşitliği kullanılarak, gelen uzun dalga radyasyonun ($R_{L\downarrow}$) ve giden uzun dalga radyasyonunun ($R_{L\uparrow}$) hesaplanması, sırasıyla Eşitlik 3.6 ve Eşitlik 3.7’de verilmiştir.

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \times \sigma \times T_a^4 \quad (3.6)$$

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_o \times \sigma \times T_s^4 \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

σ : Stefan-Boltzmann sabiti ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

T_a : Yakın yüzey hava sıcaklığı (K)

ε_a : Efektif atmosferik emisivite (boyutsuz). ε_a ’nın hesaplanması Eşitlik 3.8’de verilmiştir:

$$\varepsilon_a = 0.85 \times (-\ln \tau_{sw})^{0.09} \quad (3.8)$$

T_s : Yüzey sıcaklığını (K) ifade etmektedir. T_s haritalarının oluşturulmasında aşağıdaki Modifiye Plank Eşitliği (Eşitlik 3.9) kullanılmıştır (Allen vd. 2007):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} \times K_1}{R_c} + 1\right)} \quad (3.9)$$

Eşitlikte;

K_1 ve K_2 : Uydulara göre değişen sabit değerlerdir ($\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$).

R_c : Termal banttan meydana gelen spektral ışıma kullanılarak yüzeyden gerçekleşen düzeltilmiş termal ışımadır ($\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$).

ε_{NB} : Uydu termal sensör dalga boyu bandına karşılık gelen dar bant emisivitesi.

Yüzey emisiviteleri, aşağıdaki ampirik eşitlikler kullanılarak hesaplanır:

$$\text{NDVI} > 0 \text{ ve } \text{LAI} \leq 3 \text{ ise } \quad \varepsilon_{\text{NB}} = 0.97 + 0.0033 \times \text{LAI} \quad (3.10)$$

$$\text{NDVI} > 0 \text{ ve } \text{LAI} > 3 \text{ ise } \quad \varepsilon_{\text{NB}} = 0.98 \quad (3.11)$$

Vejetasyon indekslerinden NDVI, NIR bant (ρ_4) ve kırmızı bant (ρ_3) yansımalarının farkının, bu iki bant yansımalarının toplamına oranıdır. Eşitlik 3.12 ile hesaplanmıştır:

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (3.12)$$

Eşitlikte; ρ_4 ve ρ_3 , Landsat uydusu için sırasıyla bant 4 ve bant 3'ün yansımalarıdır. NDVI yeşil vejetasyonun miktar ve koşullarının hassas bir göstergesidir. NDVI değeri -1 ila +1 arasında olur. NDVI, yeşil yüzeyler için 0-1 arasında bir değere sahiptir. Su ve bulut için genellikle 0'dan küçüktür.

Bir diğer vejetasyon indeksi olan SAVI, toprak ıslaklık etkilerinin indekste azaltılması için NDVI'dan arka plan toprak etkilerini çıkartmak için geliştirilmiş bir indekstir ve Eşitlik 3.13'te verildiği gibi hesaplanmıştır (Huete 1988):

$$\text{SAVI} = \frac{(1 + L) \times (\rho_4 - \rho_3)}{L + (\rho_4 + \rho_3)} \quad (3.13)$$

Eşitlikte;

L, SAVI için bir sabittir. L'nin değeri eğer '0' ise SAVI, NDVI'a eşit olur. Genellikle literatürde L için 0.5 değeri kullanılmaktadır (Bastiaanssen 1998).

Başka bir vejetasyon indeksi olan LAI, bir bitki üzerindeki tüm yaprakların toplam alanının bitki tarafından kaplanan yüzey alanına oranıdır. Eşitlik 3.14'te verildiği gibi hesaplanmıştır:

$$\text{LAI} = - \frac{\ln\left(\frac{0.69 - \text{SAVI}}{0.59}\right)}{0.91} \quad (3.14)$$

LAI için en yüksek değer genellikle 6'dır. Bu da, en yüksek SAVI'nin 0.687 değerine karşılık gelmektedir. SAVI = 0.687'den başka SAVI'nin değeri artan LAI ile saturer olur ve önemli oranda değişmez. SAVI ve LAI arasındaki ilişki, bölge ve bitki çeşidi ile değişebilir.

Eşitlik 3.3'teki, G ve H değerleri, uydu görüntülerinden elde edilen yüzey sıcaklığı (T_s) ve vejetasyon indeksi değerlerinden yararlanılarak, aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Toprak ısı akısı (G) Eşitlik 3.15'te verildiği gibi hesaplanmıştır (Bastiaanssen 2000):

$$\frac{G}{R_n} = (T_s - 273.15) \times (0.0038 + 0.0074 \times \alpha) \times (1 - 0.98 \times \text{NDVI}^4) \quad (3.15)$$

Hissedilir ısı akısı (H) Eşitlik 3.16'da verildiği gibi hesaplanmıştır:

$$H = \rho_{air} \times C_p \times \frac{dT}{r_{ah}} \quad (3.16)$$

Eşitlikte;

ρ_{air} : Havanın yoğunluğu (kg m^{-3})

C_p : Sabit basınçta havanın özgül ısısı ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

dT : z_1 ve z_2 arasındaki yakın yüzey sıcaklık farkı (K)

r_{ah} : Belirli bir pikselin tahmin edilen aerodinamik pürüzlülüğünün bir fonksiyonu olarak hesaplanan z_1 ve z_2 gibi iki yakın yüzey yüksekliği (genellikle 0.1 ve 2 m) arasındaki aerodinamik direnç (s m^{-1}). Aerodinamik direnç Eşitlik 3.17’de verildiği gibi hesaplanmıştır:

$$r_{ah} = \frac{\ln(\frac{z_2}{z_1})}{u_* \times k} \quad (3.17)$$

Eşitlikte;

z_1 ve z_2 : dT ’nin uç noktalarının belirlendiği yerde bitki örtüsünün yer değiştirme üzerindeki yükseklikleri (m)

k : Von Karman sabiti (0.41)

u_* : sürtünme hızı (m s^{-1}). u_* , nötr atmosferik koşullar için logaritmik rüzgar yasası kullanılarak ilk iterasyon sırasında Eşitlik 3.18’de verildiği gibi hesaplanmıştır:

$$u_* = \frac{k \times u_{200}}{\ln(\frac{200}{z_{om}})} \quad (3.18)$$

Eşitlikte;

u_{200} : 200 m olduğu varsayılan karışım yükseklikteki rüzgâr hızı (m s^{-1}),

z_{om} : Momentum pürüzlülük uzunluğu (m). z_{om} , yüzeye etkileşime giren hava tabakası için sürüklenme ve dış yüzey sürtünmesinin bir ölçüsüdür.

METRIC modelinin son aşamasında enerji dengesine göre hesaplanan (Eşitlik 1) LE değerinin, buharlaşma gizli ısısına bölünmesiyle uydu görüntülerinin her bir pikseli için anlık ET (ET_{inst}) Eşitlik 3.19’da verildiği gibi hesaplanmıştır (Allen vd. 2007):

$$ET_{inst} = 3600 \times \frac{LE}{\lambda \times \rho_w} \quad (3.19)$$

Eşitlikte;

ET_{inst} : Anlık ET (mm h^{-1}),

3600: Saniyeden saate dönüştürme değeri,

ρ_w : Suyun yoğunluğu ($\sim 1000 \text{ kg m}^{-3}$)

λ : 1 kg su buharlaştığında absorbe edilen ısıyı temsil eden buharlaşma latent ısısı (J kg^{-1}) olup, Eşitlik 3.20'de verildiği gibi hesaplanmıştır:

$$\lambda = [2.501 - 0.00236 \times (T_s - 273.15)] \times 10^6 \quad (3.20)$$

Modeldeki referans ET fraksiyonu (ET_rF) değerleri, her bir pikselden gerçekleşen ET_{inst} değerlerinin, iklim verilerinden hesaplanan ET_r 'ye bölünmesi ile Eşitlik 3.21'de verildiği gibi hesaplanmıştır:

$$ET_rF = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (3.21)$$

Eşitlikte;

ET_r : Uydu geçiş anındaki standardize edilmiş 0.5 m boyundaki yoncadan gerçekleşen referans ET (mm h^{-1}),

ET_rF , referans bitki olarak yonca kullanıldığında, K_c ile benzerdir ve görüntü anından 24 saatlik veya daha uzun dönemlik ET'yi ekstrapole etmek için kullanılır.

METRIC, enerji dengesi fonksiyonlarını kalibre etmek amacıyla ET_r 'nin hesaplanması için standardize edilmiş ASCE Penman-Monteith denklemini kullanır (ASCE-EWRI 2005). Uydu geçişi sırasında ET_r Eşitlik 3.22'den elde edilmiştir (Allen vd. 2005):

$$ET_r = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \frac{C_n}{T + 273} \times u_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + C_d \times u_2)} \quad (3.22)$$

Eşitlikte;

ET_r : Uzun boylu bitki (yonca) için referans ET (günlük periyot için mm d^{-1} veya saatlik periyot için mm h^{-1})

0.408: Sabit değer ($\text{m}^2 \text{ mm MJ}^{-1}$).

Δ : Doygun buhar basıncı-sıcaklık eğrisinin eğimi ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)

R_n : Net radyasyon (günlük periyot için $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ veya saatlik periyot için $\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)

G : Toprak ısı akısı (günlük periyot için $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ veya saatlik periyot için $\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)

γ : Psikrometrik sabit ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)

T: 1.5-2.5 m yükseklikteki ortalama günlük veya saatlik hava sıcaklığı (°C)

C_n : Referans tipi ve hesaplama periyodu ile değişen pay sabiti (saatlik uzun boylu referans bitki (yonca) su tüketimi için gündüz ve gece zaman dilimlerine ait değer, 66) ($K \text{ mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ veya $K \text{ mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

u_2 : 2 m yükseklikte ölçülmüş günlük veya saatlik rüzgâr hızı (m s^{-1})

e_s : 1.5-2.5 m yükseklikteki doymuş buhar basıncı (kPa)

e_a : 1.5-2.5 m yükseklikteki gerçek buhar basıncı (kPa)

C_d : Referans tipi ve hesaplama periyodu ile değişen payda sabiti sabiti (saatlik uzun boylu referans bitki (yonca) su tüketimi için gündüz ve gece zaman dilimlerine ait değerler sırasıyla 0.25 ve 1.7) (s m^{-1})

METRIC modeli kullanılarak elde edilen ET değerleri, gerçek bitki su tüketimi (ET_a) olarak dikkate alınmıştır. ET_a ise günlük, aylık ve sezonluk ET_r değerlerinin $ET_r F$ ile çarpımı sonucu her bir piksel için elde edilmiştir.

Bir uydu görüntüsünden, bir sonraki görüntünün alınacağı tarihe kadar olan periyot için ET_a miktarını hesaplamak amacıyla, önce günlük ET_r hesaplanmıştır. Sonra, araştırma alanına ait piksellerin ET_a değeri, ET_r 'ye bölünerek elde edilen oran ($ET_r F = ET_a / ET_r$) birbirini takip eden görüntü tarihlerindeki aralık için enterpole edilmiştir. Daha sonra bu oran, görüntünün ait olduğu güne ait ET_r değeriyle çarpılarak, günlük ET_a değerleri elde edilir. Günlük ET_a değerleri toplanarak, aylık ve sezonluk ET_a değerleri elde edilmiştir.

3.2.3. Performans göstergelerinin hesaplanması

METRIC modeliyle her periyot için elde edilen ET_a değerleri ve meteorolojik veriye dayalı hesaplanan ET_c sonrasında sulama sisteminin performansı; ET_a ve ET_c parametrelerinin kullanıldığı, rölatif su temini (relative water supply, RWS) (Levine 1982), rölatif sulama suyu temini (relative irrigation water supply, RIS) (Perry 1996), proje tüketim randımanı (overall consumed ratio, e_p) (Bos ve Nugteren 1974), su tüketim oranı (depleted fraction, DF) (Molden 1997), bitki su açığı (crop water deficit, CWD) (Bastiaanssen vd. 2001), rölatif ET (relative evapotranspiration, RET) (Roerink vd. 1997) ve rölatif yağış temini (relative rainfall supply, RRS) (Pérez Urrestarazu vd. 2005) göstergelerine göre değerlendirilmiştir. Bu göstergelere ilişkin kriterler Çizelge 3.13'te, ayrıca eşitlikler ve açıklamalar aşağıda verilmiştir:

Çizelge 3.13. Bazı performans göstergelerine ilişkin kriterler

Performans Göstergesi	Hedef Değer	İzin Verilebilir Değer	Yetersiz Sulama	Fazla Sulama	Literatür
RWS	1.0	0.8-1.3	< 1	>1	Bos ve Nugteren 1990 Bastiaanssen vd. 2001
RIS	1.0	-	< 1	-	Moreno-Pérez ve Roldán-Canas 2013
e_p	0.9 1.0	0.6-1.0	-	-	Bos ve Nugteren 1990 Bastiaanssen vd. 2001
DF	-	0.6-1.1	-	-	Bastiaanssen vd. 2001
CWD	-	≤ 30 mm ay ⁻¹	-	-	Bastiaanssen vd. 2001
RET	≥ 0.75	-	-	-	Roerink vd. 1997

3.2.3.1. Rölatif su temini (RWS)

Toplam temin edilen suyun toplam bitki su ihtiyacına oranı olarak ifade edilen ve sulama suyu dağıtımının yeterliliğinin bir göstergesi olarak kullanılan RWS göstergesi (Weller 1991), Eşitlik 3.23 ile hesaplanmıştır (Levine 1982):

$$RWS = \frac{I + P_g}{ET_c} \quad (3.23)$$

Eşitlikte;

I: Kaynaktan saptırılan sulama suyu miktarı (mm). Sulama sistemini işleten DSI'nin kayıtlarından elde edilmiştir. Sistemde parsel ya da hidrant bazlı temin edilen su miktarı ölçülemediğinden, barajdan saptırılan suyun sulanan alana eşit dağıtıldığı varsayılmıştır.

P_g: Toplam yağış miktarı (mm). MGM'ye bağlı Ergani istasyonu kayıtlarından elde edilmiştir.

ET_c: Bitki su tüketimi (mm). FAO-56'ya göre hesaplanmıştır (Allen vd. 1998).

RWS göstergesi için ideal değer 1.0; izin verilebilir aralık ise 0.8-1.3 kriter olarak dikkate alınmıştır (Bos ve Nugteren 1990). Bastiaanssen vd. (2001)'ne göre, uygun sulama yönetimi koşullarında RWS göstergesinin 1'e yaklaşması gerektiği vurgulanmıştır. Toplam sulama suyu ihtiyacına göre hesaplanan RWS değerinin 1'e eşit olması, ihtiyacı karşılayacak düzeyde su saptırıldığını; 1'den küçük olması, ihtiyaçtan daha az su saptırıldığını ve 1'den büyük olması da ihtiyaçtan fazla su verildiğini ifade etmektedir.

3.2.3.2. Rölatif sulama suyu temini (RIS):

RIS göstergesi, su talebinin ne derece karşılandığını gösterir. Su bolluğu veya kıtlığı durumu ile talep ve teminin ne derece karşılandığı hakkında fikir veren RIS, Eşitlik

3.24 ile hesaplanmıştır (Perry 1996):

$$RIS = \frac{I}{ET_c - P_e} \quad (3.24)$$

Eşitlikte;

P_e : Etkili yağış miktarı (mm). P_e , U.S. Bureau of Reclamation yöntemi kullanılarak (Eşiklik 3.25 ve Eşitlik 3.26) hesaplanmıştır (Smith 1992):

$$P_g \leq 250 \text{ mm ise } P_e = (P_g \times (125 - 0.2 \times P_g)) / 125 \quad (3.25)$$

$$P_g > 250 \text{ mm ise } P_e = 125 + 0.1 \times P_g \quad (3.26)$$

RIS göstergesinin optimal değeri '1' civarındadır. Yani, yağışla karşılanmayan su ihtiyacının karşılandığını gösterir. 1'in altındaki bir değer ise sulama açığı olduğunu gösterir (Moreno-Pérez ve Roldán-Canas 2013).

RWS ve RIS göstergeleri, suyun kıtlığı veya fazlalığı ile su temininin talebe göre nasıl ayarlandığı hakkında bilgi verir (Molden vd. 1998).

3.2.3.3. Proje su tüketim randımanı (e_p)

Su stresinin olmadığı koşullarda bitkiler tarafından tüketilmesi gereken su miktarının, temin edilen sulama suyuna oranını ifade eden e_p göstergesi, Eşitlik 3.27 ile hesaplanmıştır (Bos ve Nugteren 1974):

$$e_p = \frac{ET_c - P_e}{I} \quad (3.27)$$

Eşitlikte; e_p göstergesinin hedef değeri için 0.9; izin verilebilir aralık ise 0.6-1.0 olarak dikkate alınmıştır (Bos ve Nugteren 1990). Uygun sulama yönetimi koşullarında e_p , 1'e yakın olmalıdır (Bastiaanssen vd. 2001).

3.2.3.4. Su tüketim oranı (DF)

DF, tüketilen suyun mevcut suya oranı olarak ifade edilen bir gösterge olup, Eşitlik 3.28 ile hesaplanmıştır (Molden 1997):

$$DF = \frac{ET_a}{I + P_g} \quad (3.28)$$

Eşitlikte;

ET_a : Gerçek bitki su tüketimi (mm). UA teknikleriyle belirlenmiştir (Allen vd. 2007).

DF göstergesi için izin verilebilir aralık 0.6-1.1 olarak dikkate alınmıştır (Bastiaanssen vd. 2001).

3.2.3.5. Bitki su açığı (CWD)

CWD, en yüksek düzeyde verim elde edebilmek için bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarı (ET_c) değerinden, bu ihtiyacın ne kadarının karşılandığının bir göstergesi olan ET_a değerinin çıkarılması ile bulunmuş olup, Eşitlik 3.29 ile hesaplanmıştır. İzin verilebilir CWD değeri 30 mm ay^{-1} olarak dikkate alınmıştır (Bastiaanssen vd. 2001).

$$CWD = ET_c - ET_a \quad (3.29)$$

Çalışmada, ET_a 'nın ET_c 'den yüksek (CWD'nin negatif değer) çıkması durumunda; herhangi bir stres koşulu olmadığı varsayımıyla, değer '0.00' olarak dikkate alınmıştır.

3.2.3.6. Rölatif evapotranspirasyon (RET)

RET göstergesi, su temininin yeterliliğini değerlendirmeye olanak sağlamakta olup, Eşitlik 3.30 ile hesaplanmıştır (Perry 1996).

$$RET = \frac{ET_a}{ET_c} \quad (3.30)$$

Hesaplanan $RET \geq 0.75$ ise, gelişme aşaması için sulu tarım alanlarında 'çok iyi' performans olarak değerlendirilmiştir (Roerink vd. 1997).

3.2.3.7. Rölatif yağış temini (RRS)

Sadece yağış miktarını dikkate alan RRS göstergesi, bitki su ihtiyacının ne ölçüde doğal bir şekilde karşılandığının tespit edilmesini sağlar. Aynı dönemde RRS değeri, RWS değerine eşit olduğunda; verilen suyun kaynağının yalnızca yağış olduğu ve sulama yapılmadığı anlamına gelir. RRS göstergesi, Eşitlik 3.31'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır (Moreno-Pérez ve Roldán-Canas 2013).

$$RRS = \frac{P_e}{ET_c} \quad (3.31)$$

3.2.4. Bitki katsayısı (K_c)'nın uzaktan algılama teknikleriyle belirlenmesi

Vejetasyon indekslerinden yararlanarak K_c belirleme sürecinde, ürün desenine ait K_c değerleri TAGEM-SUET sulama rehberinden alınmıştır (Anonim 1). İlgili süreçte, bitki su açığı durumunda ise su stres katsayısı (K_s) Eşitlik 3.32'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır (Zhang vd. 2023).

$$K_s = \frac{ET_a}{ET_o \times K_c} \quad (3.32)$$

Eşitlikte;

K_s : Su stres katsayısı

ET_a : Su kısıtlığı koşulları altındaki ET (mm). Bu değer aynı zamanda UA ile elde edilen ET_a değerine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla, ET_a 'ya bağlı olarak hesaplanan K_s parametresi de UA ile elde edilmiş olmaktadır.

Su stresi dikkate alınarak düzeltilmiş K_c ($K_{c\ adj}$) ise Eşitlik 3.33'te verildiği gibi hesaplanmıştır (Allen vd. 1998):

$$K_{c\ adj} = K_c \times K_s \quad (3.33)$$

Eşitlikte;

$K_{c\ adj}$: Su stresi dikkate alınarak düzeltilen bitki katsayısıdır. K_s 'ye bağlı olarak hesaplanan $K_{c\ adj}$ parametresi de dolaylı olarak UA ile elde edilmiş olmaktadır. Buna bağlı olarak, su stresi altında yetişen bitkilerin su tüketimleri (ET_{a2}) Eşitlik 3.34'te verildiği gibi hesaplanmıştır (Allen vd. 1998):

$$ET_{a2} = ET_o \times K_{c\ adj} \quad (3.34)$$

ET_{a2} : Su stresinin dikkate alındığı bitki katsayılarıyla yeniden tahmin edilen ET

Çalışmada, ana ürün deseni kapsamında, $K_{c\ adj}$ yanında ayrıca, Sentinel-2 uydusundan elde edilen NDVI değerleriyle ilişkilendirilmesi sonucu oluşan regresyon denklemi (Eşitlik 3.35) kullanılarak yeni K_c değerleri ($K_{c\ NDVI}$) de elde edilmiştir.

$$K_{c\ NDVI} = a \times NDVI + b \quad (3.35)$$

Eşitlikte;

a: Regresyon doğrusunun eğimi

b: Regresyon doğrusunun y eksenini kestiği değer

Bu kapsamda oluşturulan $K_{c\ NDVI}$ değerleri kullanılarak, yeniden ET_{a3} değerleri Eşitlik 3.36'da verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$ET_{a3} = ET_o \times K_{c\ NDVI} \quad (3.36)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında, Ergani Barajı Sulama Sistemi 2023 ve 2024 sulama sezonları için yağış ve sulama suyu bilgileri Çizelge 4.1’de ve ET’ye ilişkin bilgiler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 2023 ve 2024 sulama sezonları için Ergani Barajı Sulama Sahasında gerçekleşen yağış (P_g) ve etkili yağış (P_e) ile şebekeye verilen sulama suyu miktarları (I)

Parametre		Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
P_g (mm)	2023	110.40	47.80	6.00	0.60	0.00	0.00	10.00	174.80
	2024	38.60	59.60	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	151.43
P_e (mm)	2023	90.90	44.14	5.94	0.60	0.00	0.00	9.84	150.88
	2024	36.22	53.92	0.00	0.00	0.00	0.00	3.38	93.51
I (mm)	2023	0.00	22.20	97.92	282.76	352.13	200.55	39.25	994.81
	2024	59.12	45.37	219.00	318.31	325.52	116.01	0.00	1083.34

Ergani Barajı Sulama Sisteminde sulama sezonu, 2023 yılı için Mayıs-Ekim, 2024 yılı için Nisan-Eylül aylarını kapsamaktadır. Bu aralıklar dışında, sahaya barajdan su saptırılmamıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.2. 2023 ve 2024 Sulama Sezonlarında Ergani Barajı Sulama Sistemi için hesaplanan ET değerleri (mm)

ET (mm)		Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
ET_c	2023	-	74.72	167.49	310.94	280.16	162.07	21.71	1017.10
	2024	67.98	73.66	221.57	307.63	290.89	111.60	-	1073.34
ET_a	2023	-	160.29	171.90	288.76	284.51	194.63	40.02	1140.11
	2024	66.40	95.99	253.59	267.97	279.47	130.79	-	1094.22

Çizelge 4.2’de her bir ürün deseni için parsel boyutları dikkate alınarak, ağırlıklı ortalamalardan toplam ET değerleri hesaplanmıştır. Sulama sahası için her iki sulama sezonunda da, en yüksek ET_c temmuz ayında, ET_a ise 2023’te temmuz ayında ve 2024’te ağustos ayında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.2).

Çalışmanın yürütüldüğü 2023 ve 2024 yılı sulama sezonları için, METRIC modelle elde edilen bir adet anlık ET_a haritası ve bu amaçla oluşturulan bazı parametrelerin haritaları örnek olması amacıyla EK-1’de, çalışmanın yürütüldüğü yıllar için yaprak alan indeksi (LAI) haritaları zaman serisi şeklinde EK-2’de ve aylık ET_a haritaları EK-3’te verilmiştir.

4.1. Proje Performans Göstergeleri

Çalışma kapsamında Ergani Barajı Sulama Sistemi performans göstergeleri, 2023 ve 2024 yılları sulama sezonunu içeren aylar için Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu kapsamda her ne kadar ET_c ve ET_a günlük olarak hesaplanmış olsa da, performans göstergeleri aylık toplamlar üzerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. 2023 ve 2024 sulama sezonlarında Ergani Barajı Sulama Sisteminde hesaplanan performans göstergeleri

Performans Göstergesi	Yıl	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
RWS	2023	-	0.94	0.62	0.91	1.26	1.24	2.27	1.02
	2024	1.44	1.43	0.99	1.03	1.12	1.04	-	1.10
RIS	2023	-	0.73	0.61	0.91	1.26	1.24	3.31	1.01
	2024	1.86	2.30	0.99	1.03	1.12	1.04	-	1.10
e_p	2023	-	1.38	1.65	1.10	0.80	0.81	0.30	0.99
	2024	0.54	0.44	1.01	0.97	0.89	0.96	-	0.91
DF	2023	-	2.29	1.65	1.02	0.81	0.97	0.81	1.09
	2024	0.68	0.91	1.16	0.84	0.86	1.13	-	0.93
CWD (mm)	2023	-	0.00	0.00	22.17	0.00	0.00	0.00	22.17
	2024	1.58	0.00	0.00	39.66	11.42	0.00	-	52.66
RET	2023	-	2.15	1.03	0.93	1.02	1.20	1.84	1.10
	2024	0.98	1.30	1.14	0.87	0.96	1.17	-	1.02
RRS	2023	-	0.59	0.04	0.00	-	-	0.45	0.05
	2024	0.53	0.73	-	-	-	-	-	0.08

4.1.1. Rölatif su temini (RWS)

Sulama ve yağış yoluyla temin edilen toplam su miktarının, bitki su ihtiyacına oranı olarak tanımlanan RWS (Levine, 1982; Seckler vd. 1998) kavramı, sulama projelerinin performansının değerlendirilmesinde başta gelen göstergelerden biridir. Çalışma kapsamında, aylık olarak değerlendirilen bu gösterge, her ne kadar arz talep dengesi için genel bir fikir verse de; çiftçi bünyesinde gerçekleşen sulama uygulamaları kapsamında, bitkinin gelişimi için ihtiyaç duyduğu suyun, uygun zaman ve miktarda temin edilip edilmediği bilinmediği için, sulama yönetiminin başarısını doğrudan yansıtan bir performans göstergesi değildir (Karataş vd. 2009).

Toplam sulama suyu gereksinimine göre hesaplanan RWS değerinin, 1'den küçük olması durumunda saptırılan suyun ihtiyacı karşılamayacak düzeyde olduğu ifade edilse de, 0.9-1.2 arasında 'izin verilebilir', 1.2-1.8 arasında 'aşırı' ve 1.8-2.5 arasında 'çok aşırı' olarak değerlendirilmektedir (Rahman vd. 2024). Ayrıca, Bos ve Nugteren (1990)'e göre RWS'nin ideal değeri 1.0; izin verilebilir aralık ise 0.8-1.3 olarak dikkate alınmaktadır.

Çalışma kapsamında, 2023 yılı için RWS değerleri; ağustosta 1.26, eylülde 1.24, ekimde 2.27 olmak üzere; kritik değer olan 1'in üzerinde gerçekleşirken, mayısta 0.94, haziranda 0.62, temmuzda 0.91 değerleriyle kritik değerın altında gerçekleşmiştir. İzin verilebilir RWS değeri 0.9-1.2 limitleri dikkate alındığında aylık bazda su ihtiyacının karşılandığı ifade edilebilir (Rahman vd. 2024). Ancak, RWS değeri 1.2'nin biraz üzerinde olduğu ağustos ve eylül (sırasıyla 1.26 ve 1.24) aylarında herhangi bir yağışın olmaması doğrudan 'aşırı' sulama suyu saptırıldığını göstermektedir. 2023 nisan ayında sahaya su saptırılmadığı için RWS değeri hesaplanmamıştır.

Ekim ayındaki yüksek RWS değeri (2.27), bu ayda çok aşırı su saptırıldığını göstermektedir. Yağış miktarının, sahaya giren toplam suya oranının yalnızca %20.3 olduğu düşünüldüğünde, bu yüksek değeri elde edilmesindeki aşırı suyun kaynağının sulama olduğu söylenebilir. Ancak, sahada ekili olan bitkilerin ekim ve hasat tarihleri her ne kadar bağımsız olup farklılık gösterse de, RWS göstergesinin temel bir bileşeni olan bitki su ihtiyacının hesaplanmasında, yoğunluklu tercih edilen ekim ve hasat haftaları dikkate alınmıştır. Sezonluk RWS değeri ise 1.02 olarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci yılına (2024) ait RWS değerleri dikkate alındığında, haziranda 0.99 hariç, tüm aylar kritik değeri olan 1'in üzerindedir. İzin verilebilir RWS değeri aralığında kalan aylarda, haziranda 0.99, temmuzda 1.03, ağustosta 1.12 ve eylülde 1.04 iken; izin verilebilir aralığın dışında kalan nisan ve mayıs aylarında sırasıyla 1.44 ve 1.43 olarak belirlenmiştir. Nisan ayı için temin edilen suyun %39.4'ünü yağışlar oluşturmuştur. Benzer bir şekilde, mayıs ayı için saptırılan toplam suyun %56.8'ini yağışların oluşturduğu ve ay içerisindeki toplam yağış miktarının %55.7'sinin birbirini takip eden 3 günde gerçekleştiği dikkate alınmalıdır. Sezonluk RWS değeri ise 1.10 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Arz ve talebin iyi bir şekilde dengelendiği durumda RWS değeri 1'e yaklaşması beklenir. Sezon bazında RWS değerleri dikkate alındığında; 2023 yılı performansının, 2024 yılına kıyasla daha iyi olduğu ve daha iyi bir su arz talep dengesi gösterdiği söylenebilir.

Vietnam'da gerçekleştirilen benzer bir çalışmada; araştırmacılar tarafından RWS değerleri incelenen 13 sulama sahasının 6'sında şubat ayından temmuz ayına kadar yetersiz sulama suyu saptırıldığı, ancak aralık ve ağustos aylarında RWS değeri yüksek olduğu raporlanırken, bu iki ayda su tasarrufunun yapılabileceği vurgulanmıştır (Nguyen vd. 2019). Türkiye'deki Gediz Havzası'nda yapılan bir çalışmada ise RWS bitki bazında yıllık değerlendirilmiş olup, çalışma sonucunda pamuk için 1.06, üzüm için 0.89 olarak hesaplanmıştır. Araştırmacılar çalışma sonucunda, pamuk bitkisi için erken ekim ve malçlama gibi alternatiflerin uygulanabileceğini vurgulamıştır (Droogers ve Bastiaanssen 2002). Aşağı Gediz Havzası'nda yapılan başka bir çalışmada ise, 10 sulama sahasının 5'inde, en fazla su tüketimi temmuz ayında olmasına rağmen, en yüksek RWS değerleri ağustos ayında ölçüldüğü belirtilmiştir (Karataş vd. 2009). Mısır'da gerçekleştirilen bir çalışmada ise, RWS göstergesinin zamansal değişimi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, RWS değerleri 0.96-1.47 arasında değişirken, 2004-2017 yılları

arasında ortalama değerin 1.23 olarak elde edildiği ve bu değerin oldukça iyi sulama verimliliği olarak kabul edildiği belirtilmiştir. Aynı çalışmada 2005, 2009, 2011, 2012 ve 2015 yılları için RWS değerleri ‘yeterli’ sulama verimliliğini ($0.9 > RWS > 1.2$) gösterirken; 2004, 2006, 2007, 2010, 2013, 2014 ve 2017 yıllarında RWS sonuçları ‘oldukça iyi’ sulama verimliliği ($1.2 > RWS > 1.4$) göstermiştir. 2008 ve 2016 yıllarında ise ‘aşırı sulama’ durumu ($RWS > 1.4$) meydana gelmiştir (Ayyad vd. 2019). Gaziantep ilinde bulunan ve %95’i kapalı sistem olan Kayacık Sulama Sahasında yapılan bir çalışmada ise yıllık RWS değerleri, 2012-2017 yılları için sırasıyla 1.25, 0.96, 1.13, 0.89, 0.91 ve 0.72 olarak belirlenmiştir (Aydın vd. 2021).

Shimburit sulama şebekesinde (Etiyopya) 2021-22 ve 2022-23 sulama sezonlarında RWS değerleri sırasıyla 1.56 ve 1.73 olarak bulunmuştur. Bu değerler, her iki sezonda da bitki su ihtiyacının üzerinde su sağlandığını gösterirken, araştırmacılar, 2022-23 sulama sezonundaki hafif artışın, yağışlar nedeniyle gerçekleştiğini vurgulamıştır (Mekonnen vd. 2024). Türkiye'nin Güneydoğu Bölgesi'nde bulunan 5 sulama projesinin uzun yıllık performansının belirlenmesi için yapılan bir çalışmada ise Akçakale, Şanlıurfa Harran, Yaylak Ovası, Yukarı Harran ve Bozova'nın ortalama RWS değerleri sırasıyla 1.68, 2.25, 1.70, 4.55 ve 1.67 olarak hesaplanmıştır (Kartal vd. 2020). Isparta ili Atabey Sulama Şebekesi'nin 2012 yılı sulama performansının değerlendirilmesi amacıyla yapılan başka bir çalışmada ise aylık RWS değerleri 2.39-28.16 arasında değişmiş ve ortalama olarak 3.25 bulunmuştur. Çalışma sonucunda en yüksek RWS değeri 28.16 ile mayıs ayına ait olup, ilgili ayda 107.4 mm yağış meydana geldiği ve bu değerin uzun yıllık ortalamaların iki katından fazla olduğu vurgulanmıştır (Parladır Karcı ve Uçar 2019). 2007-2021 yılları arasında yapılan bir çalışmada ise Menemen, Ahmetli ve Salihli sulama şebekelerinde ortalama RWS değerleri, sırasıyla 0.80, 0.56 ve 0.74 olarak hesaplanırken, izin verilebilir aralığın altında olduğu vurgulanmıştır (Arslan ve Zema 2024).

4.1.2. Rölatif sulama suyu temini (RIS)

Tarımsal üretimde yağışı dikkate alarak doğrudan sulama suyu gereksinimi ve temini hakkında fikir vermesi amacıyla yaygın kullanılan RIS göstergesi, RWS değerleri ile oldukça uyumlu sonuçlar vermektedir. RIS göstergesinin optimal değeri ‘1’ civarındadır. Bu değer, yağış haricindeki su ihtiyacının karşılandığını gösterir. 1'in altındaki bir değer ise sulama açığı olduğu anlamına gelmektedir (Moreno-Pérez ve Roldán-Canas 2013).

Çalışmada dikkate alınan 2023 yılında; mayıs-ekim ayları için RIS değerleri, sırasıyla 0.73, 0.61, 0.91, 1.26, 1.24 ve 3.31 olarak hesaplanmıştır. Mayıs, haziran ve temmuz aylarında RIS değerlerinin 1'den küçük olduğu ve yağışın gerçekleşmediği temmuz, ağustos ve eylül aylarında ise RIS değerlerinin RWS değerleri ile aynı olduğu görülmüştür. Nisan ayında, sahaya su saptırılmadığı için RIS değeri hesaplanamamıştır. Sezonluk RIS değeri 1.01 olarak hesaplanmıştır. Bir diğer deyişle, RIS göstergesi açısından sezon içinde birbirinden oldukça farklı değerler görülmekle birlikte, sezon ortalaması optimal değere yakın çıkmıştır.

2024 yılı nisan-eylül ayları için RIS değerleri, sırasıyla 1.86, 2.30, 0.99, 1.03, 1.12 ve 1.04 olarak hesaplanmıştır. Yağışın gerçekleşmediği haziran-eylül aylarında RIS değerleri, RWS değerleriyle aynıdır. En yüksek RIS değeri mayıs ayında 2.30 iken, en düşük RIS değeri haziran ayında 0.99 şeklindedir. Ekim ayında, 2023 yılından farklı olarak, sahaya su saptırılmadığı için RIS değeri hesaplanamamıştır. 2023 yılı ekim ayı RWS ve RIS değerlerine göre; sahaya aşırı derecede su saptırıldığı gözönüne alındığında, 2024 yılı ekim ayında sahaya su saptırılmamasının, su tasarrufu yönünden isabetli bir uygulama olduğu düşünülebilir. 2024 yılı sezonluk RIS değeri 1.10 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

RWS ve RIS değerleri beraber değerlendirildiğinde, RWS'nin RIS değerlerinden büyük olduğu 2023 mayıs ve haziran aylarında, yağışların tarımsal sulama ihtiyacının karşılanmasında etkili olarak kullanıldığı varsayımı yapılabilir. Ancak, 2023 ekim ve 2024 nisan ve mayıs aylarında, RIS değerinin RWS'den daha yüksek çıkması, yağışlardan etkili bir şekilde yararlanılamadığı şeklinde yorumlanabilir. Değerlendirmenin yapıldığı her iki yıl için de RIS değerleri, RWS değerleriyle oldukça uyumludur. RIS değerleri sezon bazında dikkate alındığında, 2023 ve 2024 yılları için sırasıyla 1.01 ve 1.10 olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Sulama performans değerlendirmesi için yapılan benzer bir çalışmada Gediz Havzası'nda, pamuk ve üzüm için RIS değerleri sırasıyla 0.79 ve 0.55 olarak bulunmuştur (Droogers ve Bastiaanssen 2002). İspanya'da 2004-2005 yılları arasında yürütülen bir çalışmada RIS değeri en yüksek 1.27, en düşük 0.98 olarak belirlenmiştir (Santos vd. 2010). 2022 yılında Etiyopya'da yürütülen bir çalışmada Degero ve Gura Daso SSI projesi sulama sahaları için RIS değerleri sırasıyla 2.28 ve 2.06 olarak hesaplanmıştır (Wakena vd. 2023). Tanzanya'nın Morogoro Bölgesi'ndeki Mvomero İlçesi'nde bulunan Kigugu Sulama Şebekelerinin performanslarının değerlendirildiği başka bir çalışmada ise yıllık RIS değerleri 0.9-1.0 arasında değişiklik göstermiştir. Araştırmacılar, çalışma sonucunda, yüksek RWS değerlerine rağmen 1'e yakın olan RIS değerlerini, sulama yönetiminin etkin yapıldığı yönünde yorumlamıştır (Chogohe vd. 2024).

4.1.3. Proje su tüketim randımanı (e_p)

Ergani Barajı Sulama Sistemi kapsamında, hedef değerin 0.9; izin verilebilir aralığın 0.6-1.0 olarak dikkate alındığı e_p değerleri (Bos ve Nugteren 1990); 2023 yılı mayıs-ekim ayları için sırasıyla 1.38, 1.65, 1.10, 0.80, 0.81 ve 0.30 olarak hesaplanmıştır. 2024 yılı nisan-eylül ayları için ise sırasıyla 0.54, 0.44, 1.01, 0.97, 0.89 ve 0.96 olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda e_p 'nin 1'den büyük olduğu 2023 yılı mayıs, haziran ve temmuz ile 2024 yılı haziran aylarında, ihtiyaç duyulan sulama suyundan daha az su saptırıldığı görülmektedir. e_p değerleri 2023 yılı ağustos ve eylül ayları ile 2024 yılı temmuz, ağustos ve eylül aylarında izin verilebilir aralıkta kalmıştır. İhtiyaç duyulan sudan çok daha fazla saptırıldığı anlamına gelen 0.6'dan daha küçük değerler ise 2023 yılı ekim ayı ile 2024 yılı nisan ve mayıs aylarında olduğu görülmektedir. Sezonluk e_p değerleri, 2023 ve 2024 yılları için sırasıyla 0.99 ve 0.91 olarak, izin verilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Her iki yıl için de, özellikle ana bitki deseni için, ekim yapılan mayıs

ve hasatın gerçekleştiği ekim ayındaki aşırı su kullanımları genel ortalamayı düşürmüştür. 2023 nisan ve 2024 ekim aylarında, sahaya sulama suyu saptırılmadığı için e_p değeri hesaplanamamıştır (Çizelge 4.3).

Gana’da performansların karşılaştırıldığı bir çalışmada; 2008-2009 sulama sezonunda; Bonia, Korania ve Chuchuliga sulama şebekelerinin e_p değerleri, sırasıyla 0.52, 0.47 ve 0.34 olarak hesaplanmıştır (Asana ve Sadick 2016). Etiyopya’da 2019 yılında yapılan bir çalışmada farklı şebekelerdeki yıllık e_p değerleri; Midagdu ve Wadeti sulama şebekeleri için sırasıyla 0.75 ve 2.83 olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, Midagdu şebekesi için gereğinden fazla su kullanımı olduğunu, Wadeti şebekesi için ise ciddi derecede su stresi olduğunu vurgulamıştır (Nuru vd. 2024). Etiyopya’da Shimburit sulama sisteminde yürütülen benzer bir çalışmada, e_p değerleri aylık olarak dikkate alındığında -0.20-0.92 arasında değişirken, 2022 ve 2023 sezonu için 0.54 ve 0.43 olarak hesaplanmıştır. Araştırmacılar, düşük e_p değerlerinin, arazilerin ekime hazırlandığı ve hasatın gerçekleştiği aylardan dolayı, gerçekleştiğini vurgulamıştır (Mekonnen vd. 2024).

4.1.4. Su tüketim oranı (DF)

Tüketilen suyun mevcut suya oranı olarak ifade edilen DF için izin verilebilir aralık 0.6-1.1 olarak dikkate alınmıştır (Bastiaanssen vd. 2001).

Çalışma sahası için 2023 yılı DF değerleri; mayıs-ekim ayları için sırasıyla 2.29, 1.65, 1.02, 0.81, 0.97 ve 0.81 olarak belirlenmiştir. 2023 yılı için mayıs ve haziran ayları izin verilebilir aralığın dışında kalmıştır. 2023 yılı sezonu için DF değeri 1.09 olarak hesaplanmıştır. 2024 yılı DF değerleri; nisan-eylül ayları için sırasıyla 0.68, 0.91, 1.16, 0.84, 0.86 ve 1.13 olarak hesaplanmıştır. 2024 yılı sezonu için DF değeri ise 0.93 olarak hesaplanmıştır. Her iki sezon için de DF değeri izin verilebilir aralık içerisinde gerçekleşmiştir (Çizelge 4.3).

Hindistan’da yapılan benzer bir çalışmada, dikkate alınan Harchandpur Minor (HM) ve Naserpur Minor (NM) sulama şebekeleri için, 2012-2018 yılları arasındaki sezonluk DF değerleri ortalaması sırasıyla çeltik için 0.29 ve 0.32; buğday için 0.80 ve 1.02; şeker kamışı için ise 0.54 ve 0.56 olarak belirlenirken; düşük DF değerlerinin, özellikle yağışlı aylarda meydana geldiği belirtilmiştir (Bhat vd. 2024). Mısır’ın Nil Deltası’nda yürütülen bir çalışmada, aylık DF değerlerinin, kış mevsimi boyunca (kasım 2015-mayıs 2016) 0.36-0.57 arasında değiştiği belirtilmiştir (Elnmer vd. 2018). Aşağı Gediz Havzası’nda farklı sulama birliklerinin değerlendirildiği bir çalışmada ise özellikle mayıs ayında yükselen DF değerlerinin fazla olduğu ve bu farkın kış yağışları sonrası kök bölgesinde depolanan suyun veya yer altı suyunun kullanılmasıyla oluşabileceği vurgulanmıştır (Karataş vd. 2009).

4.1.5. Bitki su açığı (CWD)

Sulama sezonunda CWD için kritik değer 30 mm ay⁻¹ olarak dikkate alınmıştır (Bastiaanssen vd. 2001). Bu kapsamda; 2023 yılında sadece temmuz ayı alansal ağırlıklı

toplam CWD değeri 22.17 mm olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). 2023 yılı bitki bazlı CWD değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Ürün bazında 2023 yılı CWD değerleri aylık olarak incelendiğinde, en yüksek değer temmuz ayında tütün arazilerinde 102.69 mm, kritik CWD değerini aşan en düşük değer ise meyve bahçelerinde temmuz ayında 34.11 mm olarak hesaplanmıştır. Sezon bazında değerlendirildiğinde ise; en yüksek CWD, 2. ürün tütün (geç ekim) bitkisindedir. Ancak geç ekim tütün alanının sadece 38.43 da'lık tek bir parsel olduğu dikkate alınmalıdır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. 2023 yılı bitki bazlı CWD değerleri (mm)

Bitki cinsi	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
Meyve	-	38.03	86.20	34.11	0.00	21.74	0.00	38.03
Hıyar	-	46.67	37.12	0.00	0.00	0.00	-	83.79
Karpuz	-	49.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.00
Mısır (2. ürün)	-	-	0.00	0.00	0.00	11.22	0.00	11.22
Hıyar (2. ürün)	-	-	-	0.00	0.00	14.94	0.00	14.94
Karpuz (2. Ürün)	-	-	-	0.00	0.00	16.74	0.00	16.74
Tütün (2. ürün)	-	-	-	-	71.05	59.49	-	130.54
Şeker pancarı	-	0.00	0.00	60.74	16.78	0.00	-	77.52
Mısır	-	0.00	18.01	59.11	0.00	0.00	-	77.12
Patates	-	27.29	27.96	37.61	-	-	-	92.86
Tütün	-	0.00	0.00	102.69	17.98	-	-	120.67
Soğan	-	1.99	41.64	28.93	16.28	-	-	88.84

2024 yılı alansal ağırlıklı toplam CWD değerleri aylık olarak incelendiğinde; nisan-eylül ayları için sırasıyla 1.58 mm, 0.00 mm, 0.00 mm, 39.66 mm, 11.42 mm ve 0.00 mm olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda, en yüksek CWD değeri 2023 yılındaki gibi temmuz ayına aittir. Sezonluk toplam CWD değeri 52.66 mm olarak hesaplanmıştır. 2024 yılı bitki bazlı CWD değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. 2024 yılı bitki bazlı CWD değerleri (mm)

Bitki cinsi	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
Meyve	34.96	22.45	0.00	38.46	1.97	0.00	-	97.84
Hububat	33.60	0.00	-	-	-	-	-	33.60
Hıyar	0.00	0.00	3.93	71.87	25.81	4.13	-	105.74
Karpuz	0.00	0.00	0.00	43.33	0.00	0.00	-	43.33
Patates (2. ürün)	-	-	-	-	0.00	17.42	-	17.42
Mısır (2. ürün)	-	-	-	1.30	49.72	5.09	-	56.10
Hıyar (2. ürün)	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Karpuz (2. ürün)	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Mısır	-	0.00	0.00	58.06	20.07	0.00	-	78.13
Patates	-	70.27	15.65	0.31	0.00	-	-	86.23
Tütün	0.00	0.00	25.58	85.49	19.26	0.00	-	130.33
Soğan	-	17.01	0.00	43.32	16.95	-	-	77.28
Pamuk	0.00	0.00	8.20	128.36	24.25	0.00	-	160.81
Susam	-	0.00	0.00	11.13	82.25	69.81	-	163.19

CWD değerleri, ürün bazında 2024 yılı için aylık olarak incelendiğinde, en yüksek değer 128.36 mm ile temmuz ayında pamuk arazilerinde olduğu görülmektedir. Sezonluk en yüksek CWD değerinin ise susam (163.19 mm) bitkisine ait olduğu görülmektedir. Ancak susam ekim alanının sadece 10.50 da olduğu dikkate alınmalıdır (Çizelge 4.5).

Hindistan'ın Harchandpur Minor sahasında yapılan bir çalışmada, sezonluk CWD değerleri çeltik, buğday ve şeker kamışı için sırasıyla 1.00 mm, 14.00 mm ve 120.00 mm iken; Naserpur Minor (NM) sahasında sırasıyla 0.00 mm, 43.00 mm ve 238.00 mm şeklinde hesaplanmıştır (Bhat vd. 2024). Aşağı Gediz Havzası'nda farklı sulama birliklerinin değerlendirildiği bir çalışmada ise aylık CWD değerlerinin 180.5-269.5 mm arasında olduğu belirlenmiştir (Karataş vd. 2009).

4.1.6. Rölatif evapotranspirasyon (RET)

Hesaplanan $RET \geq 0.75$ değeri gelişme aşaması için sulu tarım alanlarında 'çok iyi' performans olarak değerlendirilmiştir (Roerink vd. 1997). RET göstergesinin hesaplanmasında kullanılan ET_c değerlerinin elde edilmesinde dikkate alınan K_c değerleri, yerel iklim verileri kullanılarak uyarlanmıştır. Çalışma kapsamında aylık ve sezonluk RET değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çalışmada 2023 yılı mayıs-ekim ayları ve sezonluk RET değerleri sırasıyla 2.15, 1.03, 0.93, 1.02, 1.20, 1.84 ve 1.10 olarak hesaplanmıştır. 2023 yılı için en yüksek RET değeri mayıs ayında, en düşük RET değeri ise temmuz ayında görülmüştür. Mayıs ayındaki yüksek RET değerinin ana nedeni yağışlardır. Bölgesel olarak en kurak aylardan biri olan temmuz ayında ise düşük RET değeri su stresine atfedilebilir.

Çalışmanın ikinci yılında ise, aylık RET değerleri nisan-eylül ve sezonluk RET değerleri sırasıyla 0.98, 1.30, 1.14, 0.87, 0.96, 1.17 ve 1.02 olarak hesaplanmıştır. En yüksek RET değeri, 2023 yılındaki gibi, mayıs ayında, en düşük RET değeri ise temmuz ayında gerçekleşmiştir. Mayıs ayındaki yüksek RET değeri, yağışların meydana getirdiği yüksek ET_a 'dan kaynaklanmadır (Çizelge 4.3).

Yapılan benzer çalışmalarda; Hindistan'da sezonluk RET değeri 2021-22 için 1.00, 2022-23 için 1.04 (Bhat vd. 2024), en düşük ve en yüksek aylık RET değerleri Mısır'ın Nil Deltası'nda yürütülen bir çalışmada 0.36 ve 0.57 (Elnmer vd. 2024), Aşağı Gediz Havzası'nda 0.61 ve 0.74 (Karataş vd. 2009), Etiyopya'daki Koga sulama projesinde 0.66 ve 0.86 (Tiruye vd. 2024) şeklinde hesaplanmıştır. Malatya iline bağlı Akçadağ ilçesinde 2014 yılında yürütülen başka bir çalışmada ise mısır bitkisinin dönemsel RET değerleri; başlangıç, gelişme, orta ve son dönem için sırasıyla 0.81-3.09, 0.36-0.99, 0.56-0.83 ve 0.74-0.96 aralığında hesaplanmıştır (Tunca ve Köksal 2022).

Her iki yıl için de sahaya ait RET değerleri 1'e yakın olsa da, sahadaki ürün desenin farklı olmasından kaynaklı olarak, doğrudan sulama performansını yansıtmayabilir. Buna karşın ana ürün desenine ait RET ve CWD değerleri Bölüm 4.2'de ayrıca verilmiştir.

4.1.7. Rölatif yağış temini (RRS)

Sadece yağış miktarını dikkate alan bu gösterge, bitki su ihtiyacının doğal yolla ne ölçüde karşılandığının tespit edilmesini sağlar. Aynı dönemde RRS değeri, RWS değerine eşit olduğunda; verilen suyun kaynağının yalnızca yağış olduğu ve sulama yapılmadığı anlamına gelmektedir (Moreno-Pérez ve Roldán-Canas 2013).

Yağışın gerçekleştiği aylarda çalışma sahası için 2023 yılı sulama sezonu RRS değerleri; mayıs, haziran, temmuz, ekim ayları ve sezon için sırasıyla 0.59, 0.04, 0.00, 0.45 ve 0.05 olarak hesaplanmıştır. 2024 yılı RRS değerleri nisan, mayıs ve sezon için sırasıyla 0.53, 0.73 ve 0.08 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). Benzer bir çalışmada, zeytin ağaçları için aylık RRS değerleri 0.26-0.71 arasında değişim gösterirken, sezonluk RRS değeri 0.56 olarak hesaplanmıştır (Moreno-Pérez ve Roldán-Canas 2013).

4.1.8. Genel performans değerlendirmesi

Bireysel olarak proje performans göstergeleri her ne kadar bir anlam taşısa da, daha hasas sonuçlar için birlikte de değerlendirilmelidir. Bu kapsamda, 2023 ve 2024 yılı performans göstergeleri birlikte incelendiğinde; 2024 yılı nisan ve mayıs aylarındaki 1'den büyük RWS ve RIS değerleri, 0.6'dan küçük e_p değerleri dikkat alındığında; bu

aylarda, yağışla temin edilen suyun etkili kullanılmadığı ve gereğinden fazla sulama yapıldığı sonucuna varılmaktadır. Bununla birlikte, her iki yıl için 1'den küçük DF (2023 mayıs hariç) değerleri ve 1'den büyük RET (2024 nisan hariç) değerleri de bu durumu desteklemektedir.

Haziran ayında her iki yıl için RWS ve RIS değerleri 1'den küçüktür. Bu göstergeler ışığında, saptırılması gereken su miktarından daha az su verildiği söylenebilir. Bununla beraber, e_p değerlerinin 1'den büyük olması da bu yaklaşımı desteklemektedir. Haziran ayında gerçekteşen RWS, RIS ve RET değerleri beraber dikkate alındığında; sulama sahasında gerçekteşen çiftçi kontrolündeki sulama uygulamalarının etkin olmadığı söylenebilir.

Temmuz ayı için RWS ve RIS değerleri, yağış gerçekteşmemesinden dolayı eşit bulunmuştur. Bununla beraber, 2023 yılı için 1'den küçük RWS ve RIS değerleri, kritik sınıra yakın miktarda gerçekteşen CWD miktarı ve 1'den küçük RET değerleri dikkate alındığında; temmuz ayı için sulama yönetiminin etkin olmadığı ifade edilebilir. 2024 yılı için aynı göstergeler değerlendirildiğinde; farklı olarak 1'den büyük RWS ve RIS değerleri sahaya ihtiyaçtan fazla su saptırıldığı anlamına gelse de, CWD ve RET değerleri su stresi olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda 2023 yılından farklı olarak, sulama zamanlamasından kaynaklı etkin olmayan sulama yönetiminin gerçekteştiği yaklaşımı yapılabilir.

Ağustos ayında her iki yıl için RWS ve RIS değerlerinin 1'den yüksek ve e_p değerinin 1'den düşük olması, sahaya gereğinden fazla sulama suyu saptırıldığı anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, DF değerinin 1'den düşük olması saptırılan suyun tamamen kullanılmadığı anlamına gelmektedir. Bu kapsamda, ağustos ayında su kullanım etkinliğinin artırılmasıyla su tasarrufu yapılabileceği söylenebilir.

Eylül ayı için RWS, RIS ve e_p değerleri, ağustos ayı ile benzer biçimde sahaya gereğinden fazla su saptırıldığını göstermektedir. Ekim ayı için ise, 2023 yılında RWS, RIS ve e_p değerleri sahaya gereğinde fazla sulama suyunun saptırıldığını ve yağışlardan etkin bir şekilde yararlanılamadığını göstermektedir. Bununla beraber, DF değerinin 1'den küçük olması, temin edilen suyun tamamının kullanılamadığını göstermektedir. Çalışmanın ikinci yılında ise, farklı olarak, ekim ayında rezervuardan sahaya su saptırılmamıştır.

Sezonluk olarak değerlendirmek için tüm göstergeler birlikte incelendiğinde; çiftçi kontrolündeki sulama yönetiminin iyi olduğu yorumu yapılabilir. Ayrıca, 2023 yılı nisan ayında gerçekteşen yağışlar ekim tarihlerini etkilemiştir. Bununla birlikte, sezonluk göstergeler, her ne kadar yeterli su teminine işaret etse de, aylık bazda yağmur sularının etkin kullanılamaması ve çiftçi kontrolünde yapılan aşırı sulama uygulamalarının varlığı unutulmamalıdır. Sezonluk RET değerinin 1'den büyük olmasının ana nedeni ise özellikle erken vejetasyon dönemindeki aşırı sulamalar ve yağışlardır. Performans göstergeleri kapsamında, sezonluk değerlendirme yerine aylık değerlendirmenin daha sağlıklı olduğu söylenebilir. Bununla birlikte UA kapsamında METRIC modelin ET_a üzerindeki hassasiyetinin de dikkate alınması gerekmektedir.

4.2. Ana Bitki Desenine Göre Performans Göstergeleri

Çalışma alanındaki 2023 ve 2024 yılları ana bitki desenlerine ait ekiliş alanları (da) ve tüm alana oranları (%) Çizelge 4.6’da verilmiştir. Bu bitki desenlerine göre 2023 yılı için mısır, şeker pancarı, patates, soğan ve tütün; 2024 yılı için mısır (birinci ürün), patates, soğan, tütün ve karpuz ana bitkiler olarak dikkate alınmıştır.

Bu kapsamda, ağırlıklı ortalamaların kullanıldığı ET_a ve yerel iklim verilerinin dikkate alınmasıyla hesaplanan ET_c verilerinden elde edilen CWD ve RET değerleri, tüm saha ve mahalle bazında ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında hesaplanan diğer performans göstergeleri, çiftçi yönetiminde farklı miktarlarda sulama suyunun kullanılması ve ekim ile hasat tarihlerindeki uyumsuzluk nedeniyle, eşit kabul edilemeyeceği düşüncesiyle, ana ürün deseni için hesaplanmamıştır.

Çizelge 4.6. 2023 ve 2024 yılı ana bitki desenlerine ait ekiliş alan (da) ve tüm alana oranları (%)

Bitki cinsi	2023		2024	
	Alan (da)	Oran (%)	Alan (da)	Oran (%)
Mısır	3807.56	37.92	4251.88	41.06
Şeker pancarı	3014.22	30.02	-	-
Patates	603.00	6.0	1077.22	10.22
Soğan	333.54	3.32	582.55	5.62
Tütün	286.88	2.86	571.72	5.52
Karpuz	-	-	1473.30	14.22
Toplam	8045.20	80.12	7956.67	76.64

2023 yılı mısır bitkisine ilişkin ET_c , ET_a değerleri Çizelge 4.7’de, CWD değerleri Çizelge 4.8’de ve RET değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.7. 2023 yılı mısır bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm)

Hesaplama Alanı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Tüm Saha ET_c	6.23	51.93	198.55	390.38	323.50	111.63	1082.22
Tüm Saha ET_a	19.34	161.17	188.26	331.88	328.76	176.30	1205.71
Ortayazı ET_a	18.89	161.66	181.73	299.27	316.40	171.02	1148.97
Yolköprü ET_a	19.57	163.16	190.58	347.61	329.40	173.28	1223.59
Yeşilköy ET_a	19.41	159.25	176.53	322.81	332.33	181.25	1191.57
Hılar ET_a	19.22	161.33	206.74	345.65	330.00	175.72	1238.65

Mısır bitkisinin 2023 yılı vejetasyon süresince hem en yüksek ET_c değeri (390.38 mm), hem de tüm saha bazında en yüksek aylık ET_a değeri temmuz ayında (331.88 mm) gerçekleşmiştir. Mahalle bazında değerlendirildiğinde en yüksek ET_a değeri Yolköprü Mahallesi’nde temmuz ayında (347.61 mm) gerçekleşmiştir. Hem en düşük ET_c değeri

(6.23 mm), hem de tüm saha bazında en düşük aylık ET_a değeri (19.34 mm) nisan ayında görülmüştür. Mahalle bazında değerlendirildiğinde; en düşük ET_a değeri Ortayazı Mahallesi'nde nisan ayında (18.89 mm) tahmin edilmiştir. Yetiştirme sezonu değerleri dikkate alındığında; tüm alan için sezonluk ET_c 1082.22 mm olarak, en yüksek sezonluk ET_a Hilar Mahallesi'nde (1238.65 mm), en düşük ET_a ise Ortayazı Mahallesi'nde (1148.97 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.8. 2023 yılı mısır bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri

Hesaplama Alanı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Ortayazı	0.00	0.00	16.82	91.12	7.10	0.00	115.03
Yolköprü	0.00	0.00	7.97	42.77	0.00	0.00	50.75
Yeşilköy	0.00	0.00	22.02	67.58	0.00	0.00	89.60
Hilar	0.00	0.00	0.00	44.74	0.00	0.00	44.74

Mısır bitkisi CWD değeri dört mahalle için incelendiğinde, hem en yüksek değer temmuz ayında (91.12 mm), hem de en düşük (0.00 mm değerler hariç) değer ağustos ayında (7.10 mm) olmak üzere, Ortayazı Mahallesi'nde gözlemlenmiştir. Sezonluk toplam CWD bakımından değerlendirildiğinde, en yüksek 115.03 mm ile Ortayazı Mahallesi'nde, en düşük 44.74 mm ile Hilar Mahallesi'nde gerçekleşmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.9. 2023 yılı mısır bitkisine ilişkin RET değerleri

Hesaplama	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Tüm Saha	3.10	3.10	0.95	0.85	1.02	1.58	1.11
Ortayazı	3.03	3.11	0.92	0.77	0.98	1.53	1.06
Yolköprü	3.14	3.14	0.96	0.89	1.02	1.55	1.13
Yeşilköy	3.11	3.07	0.89	0.83	1.03	1.62	1.10
Hilar	3.08	3.11	1.04	0.89	1.02	1.57	1.14

Tüm saha bazında en yüksek RET değeri nisan ve mayıs aylarında (3.10), en düşük temmuz ayında (0.85) hesaplanmıştır. Diğer dört lokasyon dikkate alındığında, RET değeri en yüksek Yolköprü Mahallesi'nde nisan ve mayıs aylarında (3.14), en düşük Ortayazı Mahallesi'nde temmuz ayında (0.77) gözlemlenmiştir. Sezonluk ortalama değerlere bakıldığında, tüm saha bazında sezonluk RET değeri 1.11 olup, en yüksek sezonluk RET değeri Hilar Mahallesi'nde (1.14), en düşük ise Ortayazı Mahallesi'nde (1.06) hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında, haziran ve temmuz aylarında ciddi bir su stresi olduğu söylenebilir. Mahalle bazında ise su stresi en fazla Ortayazı Mahallesi'nde görülmektedir (Çizelge 4.9).

2023 yılı şeker pancarına ilişkin ET_c ve ET_a değerleri Çizelge 4.10'da, CWD değerleri Çizelge 4.11'de ve RET değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. 2023 yılı şeker pancarına ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm)

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
Tüm Saha ET_c	43.94	128.96	340.87	324.54	205.86	8.67	1052.84
Tüm Saha ET_a	161.36	176.67	280.13	307.75	216.12	24.66	1166.70
Ortayazı ET_a	157.50	169.08	264.44	297.16	213.49	24.01	1125.68
Yolköprü ET_a	163.46	176.43	288.39	310.85	217.18	24.96	1181.27
Yeşilköy ET_a	165.39	185.29	285.82	315.90	216.75	25.26	1194.41
Hilar ET_a	166.88	208.01	325.08	341.99	225.94	25.97	1293.86

Şeker pancarı bitkisinin 2023 vejetasyon periyodunda ET_c değeri; en yüksek temmuz ayında (340.87 mm), en düşük ekim ayında (8.67 mm) gerçekleşirken, sezonluk 1052.84 mm olarak tahmin edilmiştir. Bununla beraber; ET_a değeri tüm saha bazında en düşük ekim ayında (24.66 mm) ve en yüksek ağustos ayında (307.75 mm) olup, sezonluk 1166.70 mm olarak tahmin edilmiştir. Mahalle bazında yapılan ET_a hesaplamalarında en yüksek değer ağustos ayında Hilar Mahallesi'nde (341.99 mm), en düşük değeri ise ekim ayında Ortayazı Mahallesi'nde (24.01 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.11. 2023 yılı şeker pancarı bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
Ortayazı	0.00	0.00	76.43	27.38	0.00	0.00	103.80
Yolköprü	0.00	0.00	52.48	13.69	0.00	0.00	66.17
Yeşilköy	0.00	0.00	55.05	8.64	0.00	0.00	63.69
Hilar	0.00	0.00	15.79	0.00	0.00	0.00	15.79

Mahalle bazında şeker pancarı CWD verileri incelendiğinde, en yüksek değer temmuz ayında Ortayazı Mahallesi'nde (76.43 mm), en düşük değer (0.00 mm değerler hariç) ise ağustos ayında Yeşilköy Mahallesi'nde (8.64 mm) belirlenmiştir. Sezonluk veriler dikkate alındığında, en yüksek değer Ortayazı Mahallesi'nde (103.80 mm) ve en düşük değeri ise Hilar Mahallesi'nde (15.79 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.12. 2023 yılı şeker pancarı bitkisine ilişkin RET değerleri

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
Tüm Saha	3.67	1.37	0.82	0.95	1.05	2.84	1.11
Ortayazı	3.58	1.31	0.78	0.92	1.04	2.77	1.07
Yolköprü	3.72	1.37	0.85	0.96	1.05	2.88	1.12
Yeşilköy	3.76	1.44	0.84	0.97	1.05	2.91	1.13
Hilar	3.80	1.61	0.95	1.05	1.10	2.99	1.23

Şeker pancarı RET değerleri için yapılan hesaplamalarda, tüm saha bazında en yüksek değer mayıs ayında (3.67), en düşük değer ise temmuz ayında (0.82) gerçekleşmiştir. Diğer lokasyonlar dikkate alındığında, en yüksek RET değeri Hilar Mahallesi'nde mayıs ayında (3.80), en düşük değer ise Ortayazı Mahallesi'nde temmuz ayında (0.78) gözlemlenmiştir. Sezonluk RET değerleri incelendiğinde; tüm saha bazında

1.11 olup, en yüksek değer Hilar Mahallesi'nde (1.23), en düşük değer ise Ortayazı Mahallesi'nde (1.07) gözlemlenmiştir (Çizelge 4.12).

Bu veriler kapsamında, 2023 yılı şeker pancarı yetiştiriciliğinde temmuz ve ağustos aylarında su stresinin görüldüğü söylenebilir. Bununla birlikte, CWD ve RET değerlerinden anlaşıldığı üzere; en zayıf sulama yönetiminin Ortayazı Mahallesi'nde olduğu görülmektedir.

Patates ekili alanların sadece 8 da'ı Yeşilköy Mahallesi'nde bulunurken, 595 da'ı Yolköprü Mahallesi'nde bulunmaktadır. Bu yüzden, sadece Yolköprü Mahallesi'ndeki ekili alanlar dikkate alınmıştır. Ayrıca vejetasyon başlangıcı nisan ayı öncesinde olmasına rağmen, nisan ayı değerleri, işlenen ilk uydu görüntüsünden itibaren dikkate alınmıştır. Yalnızca bir lokasyon olması sebebiyle, patates için ET, CWD ve RET değerleri Çizelge 4.13'te birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.43. 2023 yılı patates bitkisine ilişkin ET_c (mm), ET_a (mm), CWD (mm) ve RET değerleri

Hesaplama Alanı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Sezon
Tüm Saha ET_c	77.84	174.68	248.28	210.96	711.76
Yolköprü ET_a	97.62	149.70	233.94	221.94	703.20
Yolköprü CWD	0.00	24.98	14.34	0.00	39.32
Yolköprü RET	1.25	0.86	0.94	1.05	0.99

Vejetasyon süresince en yüksek ET_c ve ET_a değerleri, haziran ayında (sırasıyla 248.28 mm ve 233.94 mm) hesaplanmıştır. En yüksek CWD ve en düşük RET değerleri mayıs ayında (sırasıyla 24.98 mm ve 0.86) hesaplanırken, CWD'nin görülmediği nisan ayında ise en yüksek RET (1.25) değeri hesaplanmıştır. Sezon değerleri incelendiğinde; ET_c 711.76 mm, ET_a 703.20 mm, CWD 39.32 mm ve RET 0.99 olarak belirlenmiştir. CWD ve RET göstergeleri incelendiğinde; 30 mm ay⁻¹ üzerinde bir CWD değerinin olmaması ve RET değerlerinin 1'e yakın olması nedeniyle, performansın iyi olduğu söylenebilir (Çizelge 4.13).

Soğan ekili alanların 242.84 da'lık kısmı Yolköprü Mahallesi'nde bulunması ve diğer lokasyonlardaki parsel boyutlarının oldukça küçük olmasından dolayı yalnızca Yolköprü Mahallesi dikkate alınmıştır. Ayrıca vejetasyon başlangıcı nisan ayı öncesinde olmasına rağmen, nisan ayı değerleri, işlenen ilk uydu görüntüsünden itibaren dikkate alınmıştır. Yalnızca bir lokasyon olması sebebiyle, soğan için ET, CWD ve RET değerleri Çizelge 4.14'te birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.54. 2023 yılı soğan bitkisine ilişkin ET_c (mm), ET_a (mm), CWD (mm) ve RET değerleri

Hesaplama Alanı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Sezon
Tüm Saha ET_c	78.40	153.55	235.39	304.40	79.15	850.89
Yolköprü ET_a	107.19	151.56	193.75	275.47	59.87	787.83
Yolköprü CWD	0.00	1.99	41.64	28.93	19.28	91.85
Yolköprü RET	1.37	0.99	0.82	0.90	0.76	0.93

Vejetasyon süresince en yüksek ET_c ve ET_a değerleri, temmuz ayında (sırasıyla 304.40 mm ve 275.47 mm) belirlenmiştir. En düşük ET_a değeri ise ağustos ayında (59.87 mm) tahmin edilmiştir. Dikkate alınan periyotta toplam ET_c ve ET_a değerleri sırasıyla 850.89 mm ve 787.83 mm olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.14).

CWD değerleri incelendiğinde; en yüksek ve en düşük (0.00 mm değerler hariç) değerleri sırasıyla, haziran (41.64 mm) ve mayıs (1.99 mm) aylarında hesaplanmıştır. RET değerleri incelendiğinde en yüksek nisan (1.37) ve en düşük değer ise ağustos (0.76) aylarında hesaplanmıştır (Çizelge 4.14).

Tütün ekili alanların 280.08 da'lık kısmı Ortayazı Mahallesi'nde bulunması ve diğer lokasyonlardaki parsel boyutlarının oldukça küçük olmasından dolayı Çizelge 4.15'te verilen ET_c , ET_a , CWD ve RET değerleri için yalnızca Ortayazı Mahallesi dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.65. 2023 yılı tütün bitkisine ilişkin ET_c (mm), ET_a (mm), CWD (mm) ve RET değerleri

Hesaplama Alanı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
Tüm Saha ET_c	7.55	60.61	166.96	368.79	316.87	199.58	6.52	1126.88
Ortayazı ET_a	19.28	164.79	177.13	266.21	298.89	225.47	9.19	1160.94
Ortayazı CWD	0.00	0.00	0.00	102.58	17.98	0.00	0.00	120.94
Ortayazı RET	2.55	2.72	1.06	0.72	0.94	1.13	1.41	1.03

Vejetasyon süresince; ET_c değeri en yüksek temmuz ayında (368.79 mm), en düşük ekim ayında (6.52 mm) ve sezonluk ise 1126.88 mm olarak hesaplanmıştır. Tütün ET_a değerleri incelendiğinde; en yüksek değeri ağustos ayında (298.89 mm), en düşük değeri ekim ayında (9.19 mm) ve sezonluk ise 1160.94 mm olarak belirlenmiştir. CWD değeri dikkate alındığında, temmuz ve haziran aylarında (sırasıyla 102.58 mm ve 17.98 mm) bitki su açığı görülmektedir. Yüksek miktarda su stresinin bulunduğu temmuz ayında ise en düşük RET değeri (0.72) görülmüştür. Bununla birlikte, bu ayda CWD ve RET değerleri tutarlı olup, zayıf sulama yönetiminin gerçekleştiği söylenebilir (Çizelge 4.15).

2024 yılı mısır bitkisine ilişkin ET_c , ET_a değerleri Çizelge 4.16’da, CWD değerleri Çizelge 4.17’de ve RET değerleri Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.76. 2024 yılı mısır bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm)

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Tüm Saha ET_c	62.41	232.15	368.86	327.65	99.57	1090.65
Tüm Saha ET_a	95.91	273.18	310.55	307.58	140.99	1128.22
Ortayazı ET_a	89.38	260.56	308.95	313.42	144.75	1117.07
Yolköprü ET_a	89.99	270.97	321.90	310.34	139.05	1132.24
Yeşilköy ET_a	109.03	256.73	279.26	287.37	137.55	1069.94
Hilar ET_a	98.57	305.31	325.81	317.22	143.43	1190.34

Mısır bitkisinin 2024 yılı vejetasyon süresince en yüksek ET_c değeri temmuz ayında (368.86 mm), en düşük ise mayıs ayında (62.41 mm) gerçekleşmiştir. ET_a verilerine bakıldığında, ET_c ’ye benzer şekilde, tüm saha bazında en yüksek temmuz ayında (310.55 mm), en düşük ise mayıs ayında (95.91 mm) gerçekleşmiştir. Tüm saha için sezonluk, ET_c değeri 1090.65 mm, ET_a değeri ise 1128.22 mm olarak gerçekleşmiştir. Mahalle bazında değerlendirildiğinde; en yüksek ve en düşük ET_a değerleri sırasıyla Hilar Mahallesi’nde temmuz ayında (325.81 mm) ve Ortayazı Mahallesi’nde mayıs ayında (89.38 mm) gerçekleşmiştir. Sezonluk ET_a değerleri dikkate alındığında; en yüksek Hilar Mahallesi’nde (1190.34 mm) ve en düşük Yeşilköy Mahallesi’nde (1069.94 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.87. 2024 yılı mısır bitkisine ilişkin CWD değerleri (mm)

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Ortayazı	0.00	0.00	59.91	14.23	0.00	74.14
Yolköprü	0.00	0.00	46.96	17.31	0.00	64.27
Yeşilköy	0.00	0.00	89.60	40.28	0.00	129.88
Hilar	0.00	0.00	43.05	10.43	0.00	53.48

Mahalle bazında incelendiğinde; en yüksek değer Yeşilköy Mahallesi’nde temmuz ayında (89.60 mm), en düşük değer (0.00 mm değerler hariç) Hilar Mahallesi’nde ağustos ayında (10.43 mm) gerçekleşmiştir. Sezonluk değerler dikkate alındığında, en yüksek 129.88 mm ile Yeşilköy Mahallesi’nde, en düşük 53.48 mm ile Hilar Mahallesi’nde gerçekleşmiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.18. 2024 yılı mısır bitkisine ilişkin RET değerleri

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Tüm Saha	1.54	1.18	0.84	0.94	1.42	1.03
Ortayazı	1.43	1.12	0.84	0.96	1.45	1.02
Yolköprü	1.44	1.17	0.87	0.95	1.40	1.04
Yeşilköy	1.75	1.11	0.76	0.88	1.38	0.98
Hılar	1.58	1.32	0.88	0.97	1.44	1.09

Tüm saha bazında en yüksek RET değeri mayıs ayında (1.54), en düşük ise temmuz ayında (0.84) hesaplanmıştır. RET değerleri mahalle bazında incelendiğinde, en yüksek ve en düşük değerler, Yeşilköy Mahallesi'nde olmak üzere; sırasıyla mayıs (1.75) ve temmuz ayında (0.76) gerçekleşmiştir. Sezonluk ortalama değerlere bakıldığında, tüm saha bazında sezonluk RET değeri 1.03 olup, en yüksek sezonluk RET değeri Hılar Mahallesi'nde (1.09), en düşük ise Yeşilköy Mahallesi'nde (0.98) hesaplanmıştır. Bu göstergeler ışığında; 2024 mısır yetiştirme periyodu için, temmuz ayında tüm lokasyonlarda ve ağustos ayında ise Yeşilköy Mahallesi'nde su stresinin olduğu söylenebilir (Çizelge 4.18).

2024 yılı karpuz bitkisine ilişkin ET_c , ET_a değerleri Çizelge 4.19'da, CWD değerleri Çizelge 4.20'de ve RET değerleri Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.19. 2024 yılı karpuz bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm)

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
Tüm Saha ET_c	40.64	76.53	247.65	304.49	268.25	77.45	1015.00
Tüm Saha ET_a	57.30	96.57	274.75	261.16	262.52	85.32	1037.62
Ortayazı ET_a	71.58	112.64	256.80	232.75	274.60	97.32	1045.69
Yolköprü ET_a	54.30	89.21	279.03	264.94	256.98	82.19	1026.65
Yeşilköy ET_a	61.19	112.90	270.76	266.59	281.72	92.38	1085.53
Hılar ET_a	60.66	111.79	258.98	232.93	244.94	81.60	990.90

Karpuz bitkisinin 2024 vejetasyon periyodunda ET_c değeri; en yüksek ağustos ayında (304.49 mm), en düşük mayıs ayında (40.64 mm) gerçekleşirken, sezonluk 1015.00 mm olarak hesaplanmıştır. Bununla beraber; ET_a değeri saha bazında en düşük mayıs ayında (57.30 mm) ve en yüksek temmuz ayında (274.75 mm) olup, sezonluk 1037.62 mm olarak tahmin edilmiştir. Yerleşim yeri bazında yapılan ET_a hesaplamalarında, en yüksek ve en düşük değerler, Yolköprü Mahallesi'nde olmak üzere; sırasıyla temmuz ayında (279.03 mm) ve mayıs ayında (54.30 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.20. 2024 yılı karpuz bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
Ortayazı	0.00	0.00	0.00	71.74	0.00	0.00	71.74
Yolköprü	0.00	0.00	0.00	39.54	11.27	0.00	50.81
Yeşilköy	0.00	0.00	0.00	37.90	0.00	0.00	37.90
Hilar	0.00	0.00	0.00	71.55	23.31	0.00	94.86

Karpuz bitkisi CWD verileri yerleşim yeri bazında incelendiğinde, en yüksek değer ağustos ayında Ortayazı Mahallesi'nde (71.74 mm), en düşük (0.00 mm değerler hariç) değer ise eylül ayında Yolköprü Mahallesi'nde (11.27 mm) belirlenmiştir. Sezonluk veriler dikkate alındığında, en yüksek değer Hilar Mahallesi'nde (94.86 mm) ve en düşük değer ise Yeşilköy Mahallesi'nde (37.90 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.20).

Karpuz bitkisi RET değerleri incelendiğinde, tüm saha bazında en yüksek değer mayıs ayında (1.41), en düşük değer ise ağustos ayında (0.86) gerçekleşmiştir. Yerleşim yeri bazında RET değeri, en yüksek ve en düşük değerler Ortayazı Mahallesi'nde olmak üzere; sırasıyla mayıs (1.76) ve ağustos ayında (0.76) gözlemlenmiştir. Sezonluk RET değerleri incelendiğinde; tüm saha bazında 1.02 olup, en yüksek değer Yeşilköy Mahallesi'nde (1.07), en düşük değer ise Hilar Mahallesi'nde (0.98) gözlemlenmiştir (Çizelge 4.21). Karpuz 2024 yetiştirme sezonuna ait CWD göstergeleri kapsamında, ağustos ayında tüm lokasyonlarda su stresi görülmektedir.

Çizelge 4.91. 2024 yılı karpuz bitkisine ilişkin RET değerleri

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Sezon
Tüm Saha	1.41	1.26	1.11	0.86	0.98	1.10	1.02
Ortayazı	1.76	1.47	1.04	0.76	1.02	1.26	1.03
Yolköprü	1.34	1.17	1.13	0.87	0.96	1.06	1.01
Yeşilköy	1.51	1.48	1.09	0.88	1.05	1.19	1.07
Hilar	1.49	1.46	1.05	0.77	0.91	1.05	0.98

2024 yılı patates bitkisine ilişkin ET_c , ET_a değerleri Çizelge 4.22'de, CWD değerleri Çizelge 4.23'te ve RET değerleri Çizelge 4.24'te verilmiştir. Ayrıca, ilgili performans gösterge değerleri ilk uydu görüntüsünden itibaren dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.102. 2024 yılı patates bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm)

Hesaplama Alanı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Sezon
Tüm Saha ET_c	151.09	172.41	316.24	233.92	873.66
Tüm Saha ET_a	110.35	101.40	300.04	230.46	742.25
Ortayazı ET_a	116.79	95.58	281.96	229.07	723.40
Yolköprü ET_a	110.32	102.69	302.82	230.23	746.07
Yeşilköy ET_a	102.58	80.83	263.21	237.14	683.75
Hilar ET_a	127.91	117.78	319.95	274.25	839.90

Patates bitkisinin 2024 vejetasyon periyodunda ET_c değeri; en yüksek haziran ayında (316.24 mm), en düşük nisan ayında (151.09 mm) gerçekleşirken, sezonluk 873.66 mm olarak tahmin edilmiştir. Bununla beraber; ET_a değeri saha bazında en düşük mayıs ayında (101.40 mm) ve en yüksek haziran ayında (300.04 mm) olup, sezonluk 742.25 mm olarak tahmin edilmiştir. Lokasyon bazında yapılan ET_a hesaplamalarında en yüksek değer Hilar Mahallesi'nde haziran ayında (319.95 mm), en düşük değeri ise Yeşilköy Mahallesi'nde mayıs ayında (80.83 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.113. 2024 yılı patates bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri

Hesaplama Alanı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Sezon
Ortayazı	34.30	76.83	34.28	4.86	150.26
Yolköprü	40.77	69.71	13.42	3.69	127.60
Yeşilköy	48.52	91.58	53.03	0.00	193.13
Hilar	23.18	54.63	0.00	0.00	77.80

Patates bitkisi CWD verileri mahalle bazında dikkate alındığında, en yüksek değer mayıs ayında Yeşilköy Mahallesi'nde (91.58 mm), en düşük değer (0.00 mm değerler hariç) ise temmuz ayında Yolköprü Mahallesi'nde (3.69 mm) belirlenmiştir. Sezonluk veriler dikkate alındığında, en yüksek değer Yeşilköy Mahallesi'nde (193.13 mm) ve en düşük değeri ise Hilar Mahallesi'nde (77.80 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.124. 2024 yılı patates bitkisine ilişkin RET değerleri

Hesaplama Alanı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Sezon
Tüm Saha	0.73	0.59	0.95	0.99	0.85
Ortayazı	0.77	0.55	0.89	0.98	0.83
Yolköprü	0.73	0.60	0.96	0.98	0.85
Yeşilköy	0.68	0.47	0.83	1.01	0.78
Hilar	0.85	0.68	1.01	1.17	0.96

Patates bitkisi için RET değerleri incelendiğinde, tüm saha bazında en yüksek değer temmuz ayında (0.99), en düşük değer ise mayıs ayında (0.59) gerçekleşmiştir. Diğer lokasyonlar dikkate alındığında, en yüksek RET değeri Hilar Mahallesi'nde temmuz ayında (1.17), en düşük değer ise Yeşilköy Mahallesi'nde mayıs ayında (0.47) gözlemlenmiştir. Sezonluk RET değerleri incelendiğinde; tüm saha bazında 0.85 olup, en yüksek değer Hilar Mahallesi'nde (0.96), en düşük değeri ise Yeşilköy Mahallesi'nde (0.78) gözlemlenmiştir (Çizelge 4.24).

2024 yılı soğan bitkisine ilişkin ET_c , ET_a değerleri Çizelge 4.25'te, CWD değerleri Çizelge 4.26'da ve RET değerleri Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.135. 2024 yılı soğan bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm)

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Tüm Saha ET_c	60.79	243.90	304.33	270.56	97.76	977.34
Tüm Saha ET_a	43.78	260.24	261.01	253.61	104.12	922.76
Ortayazı ET_a	52.45	301.49	339.20	332.29	137.35	1162.78
Yolköprü ET_a	46.24	272.30	257.25	247.47	101.87	925.14
Yeşilköy ET_a	52.26	260.16	236.84	257.43	110.90	917.58
Hilar ET_a	32.19	296.83	361.37	344.93	131.11	1166.43

Soğan bitkisinin 2024 vejetasyon periyodunda ET_c değeri; en yüksek temmuz ayında (304.33 mm), en düşük mayıs ayında (60.79 mm) gerçekleşirken, sezonluk 977.34 mm olarak tahmin edilmiştir. Bununla beraber; ET_a değeri tüm saha bazında en düşük mayıs ayında (43.78 mm) ve en yüksek temmuz ayında (261.01 mm) olup, sezonluk 922.76 mm olarak tahmin edilmiştir. Lokasyon bazında yapılan ET_a hesaplamalarında en yüksek ve en düşük değerler, Hilar Mahallesi'nde olmak üzere; sırasıyla temmuz (361.37 mm) ve mayıs ayında (32.19 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.146. 2024 yılı soğan bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Ortayazı	8.34	0.00	0.00	0.00	0.00	8.34
Yolköprü	14.55	0.00	47.08	23.09	0.00	84.71
Yeşilköy	8.53	0.00	67.49	13.13	0.00	89.15
Hilar	28.60	0.00	0.00	0.00	0.00	28.60

Soğan bitkisi CWD verileri mahalle bazında dikkate alındığında, en yüksek değer temmuz ayında Yeşilköy Mahallesi'nde (67.49 mm), en düşük (0.00 mm değerler hariç) değer ise mayıs ayında Ortayazı Mahallesi'nde (8.34 mm) belirlenmiştir. Sezonluk veriler dikkate alındığında, en yüksek değer Yeşilköy Mahallesi'nde (89.15 mm) ve en düşük değeri ise Ortayazı Mahallesi'nde (8.34 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.157. 2024 yılı soğan bitkisine ilişkin RET değerleri

Hesaplama Alanı	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Tüm Saha	0.72	1.07	0.86	0.94	1.07	0.94
Ortayazı	0.86	1.24	1.11	1.23	1.40	1.19
Yolköprü	0.76	1.12	0.85	0.91	1.04	0.95
Yeşilköy	0.86	1.07	0.78	0.95	1.13	0.94
Hilar	0.53	1.22	1.19	1.27	1.34	1.19

Soğan bitkisi RET değerleri incelendiğinde, tüm saha bazında en yüksek değerler haziran ve eylül aylarında (1.07), en düşük değer ise mayıs ayında (0.72) gerçekleşmiştir. Diğer lokasyonlar dikkate alındığında, en yüksek RET değeri Ortayazı

Mahallesi'nde eylül ayında (1.40), en düşük değer ise Hilar Mahallesi'nde mayıs ayında (0.53) gözlemlenmiştir. Sezonluk RET değerleri incelendiğinde; tüm saha bazında 0.94 olup, en yüksek değer Ortayazı ve Hilar Mahallelerinde (1.19), en düşük değer ise Yeşilköy Mahallesi'nde (0.94) gözlemlenmiştir (Çizelge 4.27).

2024 yılı tütün bitkisine ilişkin ET_c , ET_a değerleri Çizelge 4.28'de, CWD değerleri Çizelge 4.29'da ve RET değerleri Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.28. 2024 yılı tütün bitkisine ilişkin ET_c ve ET_a değerleri (mm)

Hesaplama Alanı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Tüm Saha ET_c	37.18	73.58	282.63	356.19	312.95	68.81	1131.34
Tüm Saha ET_a	61.04	102.27	255.18	270.70	293.69	82.94	1065.81
Ortayazı ET_a	60.63	102.47	253.35	272.68	295.33	83.89	1068.35
Yolköprü ET_a	65.29	100.18	274.21	250.07	276.65	72.99	1039.39

Tütün bitkisinin 2024 vejetasyon periyodunda ET_c değeri; en yüksek temmuz ayında (356.19 mm), en düşük nisan ayında (37.18 mm) gerçekleşirken, sezonluk 1131.34 mm olarak tahmin edilmiştir. Bununla beraber; ET_a değeri saha bazında en düşük nisan ayında (61.04 mm) ve en yüksek ağustos ayında (293.69 mm) olup, sezonluk 1065.81 mm olarak tahmin edilmiştir. Lokasyon bazında yapılan ET_a hesaplamalarında en yüksek ve en düşük değerler, Ortayazı Mahallesi'nde olmak üzere; sırasıyla ağustos (295.33 mm) ve mayıs ayında (60.63 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.29. 2024 yılı tütün bitkisine ilişkin CWD (mm) değerleri

Hesaplama Alanı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Ortayazı	0.00	0.00	29.28	83.51	17.62	0.00	130.42
Yolköprü	0.00	0.00	8.42	106.12	36.30	0.00	150.84

Tütün bitkisi CWD verileri mahalle bazında incelendiğinde, en yüksek ve en düşük (0.00 mm değerler hariç) değerler, Yolköprü Mahallesi'nde olmak üzere; sırasıyla temmuz (106.12 mm) ve haziran ayında (8.42 mm) belirlenmiştir. Sezonluk veriler dikkate alındığında, en yüksek değer Yolköprü Mahallesi'nde (150.84 mm) ve en düşük değeri ise Ortayazı Mahallesi'nde (130.42 mm) gerçekleşmiştir (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.16. 2024 yılı tütün bitkisine ilişkin RET değerleri

Hesaplama Alanı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Sezon
Tüm Saha	1.64	1.39	0.90	0.76	0.94	1.21	0.94
Ortayazı	1.63	1.39	0.90	0.77	0.94	1.22	0.94
Yolköprü	1.76	1.36	0.97	0.70	0.88	1.06	0.92

Tütün bitkisi RET değerleri incelendiğinde, tüm saha bazında en yüksek değer nisan ayında (1.64), en düşük değer ise temmuz ayında (0.76) gerçekleşmiştir. Diğer

lokasyonlar dikkate alındığında, en yüksek ve en düşük RET değeri, Yolköprü Mahallesi'nde olmak üzere; sırasıyla nisan (1.76) ve temmuz ayında (0.70) gözlemlenmiştir. Sezonluk RET değerleri incelendiğinde; tüm saha bazında 0.94 olup, en yüksek değer Ortayazı Mahallesi'nde (0.94), en düşük değer ise Yolköprü Mahallesi'nde (0.92) gözlemlenmiştir (Çizelge 4.30).

Uzaktan algılama teknikleriyle METRIC modelle hesaplanan ET_a değerlerinin, özellikle ekim ve hasat dönemlerinde ET_c 'den yüksek olması, RET değerlerinin 1'den büyük olmasına yol açmıştır. Bunun nedenlerinin, yağışlar, aşırı sulama uygulamaları ve METRIC modelin ET_a tahminindeki performansı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, FAO-56'da belirtildiği gibi yerel iklim verilerinin dikkate alınmasıyla yeniden hesaplanan K_c değerlerinde, sadece yağış miktarı dikkate alınmıştır. Bu kapsamda, sulama miktarlarının dikkate alınmamasının ana nedeni ise parsel bazında kullanılan sulama suyu miktarlarının bilinmemesidir. Çalışmada, sulama sahasına saptırılan suyun her parselde eşit kullanıldığı varsayımı, 2023-2024 yılı başlangıç dönemlerindeki K_c ($K_{c_{ini}}$) değerinin artması nedeniyle, ET_c 'yi çok arttıracığından (Eşitlik 3.2), CWD kapsamında yanıltıcı sonuçların doğabileceği düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında dikkate alınan bölgede her ne kadar basınçlı sulama sistemleri kullanılsa da, kontrolsüz ve çiftçiler tarafından gerçekleştirilen sulama yönetiminde; sulama miktarı ve zamanı tamamen geleneksel yaklaşımlara ve tecrübeye dayanmaktadır. Bununla beraber, daha önceki yıllarda aynı bölgede yapılan bir çalışmada; yüksek sıcaklıklara sahip iklim koşullarında özellikle günün sıcak saatlerinde yağmurlama sulama sistemleriyle yapılan sulamaların buharlaşma kayıplarını arttırdığı vurgulanmıştır (Çetin vd. 2023b). Ayrıca, proje performans göstergelerindeki 1'den büyük RIS değerleri, aşırı su kullanımını ve buna bağlı artacak olan buharlaşma kayıplarını desteklemektedir. Hesaplanan ET_a değerlerinin temelini, 8 günlük zamansal periyotlarda elde edilip, enterpole edilen ET_{rF} değerleri oluşturmaktadır. Bununla ilgili olarak, sulama sonrası işlenen uydu görüntülerindeki yüksek ET_{rF} değerleri ET_a 'nın normalden fazla çıkmasına sebep olabilir. METRIC modelin kullanıldığı benzer bir çalışmada, özellikle yürütülen bölge için kurak geçen haziran, temmuz ve ağustos aylarında; mısır, fıstık ve turuncgillerden oluşan ürün deseni için ET_a değerleri ET_c 'den yüksek çıkmıştır. Araştırmacılar, bu durumun uydu geçiş tarihinden önce yapılan sulamaların ET_{rF} değerini yükseltmiş olmasından kaynaklanabileceğini raporlamıştır (Alsenjar vd. 2023).

Yüksek ET_a değerlerinin bir diğer nedeni de, vejetasyon ekim ve hasat dönemlerindeki ürün desenleri için bölgeyi temsil edecek ortak tarihlerin seçilmiş olması da olabilir. METRIC modelde gerçek vejetasyon durumu dikkate alınırken, ET_c hesaplamalarındaki dönemsel K_c değerleri, varsayım olarak belirlenen ekim ve hasat tarihlerine göre atanmaktadır. Bu kapsamda, parsellerdeki vejetasyon dönemi farklılıkları ve farklı ekim-hasat tarihleri bazı dengesizlikler yaratabilir. Adana'da gerçekleştirilen bir çalışmada, soya fasulyesi ve mısırın hasat dönemlerinde, ET_a değerlerinin ET_c 'den yüksek çıkmasında da K_c değerlerinin büyüme süresine ve gelişim dönemlerine göre atanmasındaki durumun, saha ile uyuşmaması ve bitkisel üretimin gerçekleştiği sahada

ekim ve hasat dönemlerinin parsel bazında farklılık göstermesinden kaynaklı olabileceği vurgulanmıştır (Çetin vd. 2023).

Yüksek tahmin edilen ET_a 'nın başka bir nedeni de, METRIC modelin hassasiyeti ve performansının dönemsel olarak değişmesi olabilir. Yersel ölçümlerle hesaplanan günlük ET_a değerinin METRIC modelle karşılaştırıldığı bir çalışmada; METRIC modelin, ET_c 'den ve yersel ET_a ölçümlerinden %4-17 arasında daha fazla tahmin ettiği raporlanmıştır. Araştırmacılar, bu durumun, anlık ET_F değerinin elde edilmesinde etkili olan rüzgar hızından kaynaklı olabileceğini vurgulamıştır (Reyes-González vd. 2019). Ayrıca, Kaliforniya'da ET_a haritalama modellerinin karşılaştırdığı başka bir çalışmada, dikkate alınan badem, domates ve mısır bitkileri için METRIC modelin, özellikle orta dönemdeki tam örtü koşullarında daha iyi performans sergilediği raporlanmıştır (Xue vd. 2020). Benzer bir yorum olarak, Gordillo-Salinas vd. (2024) tarafından, başlangıç ve geç dönemlerde METRIC modelle tahmin edilen ET_a 'nın FAO-56'ya dayanan ET_c 'den daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, uydu görüntülerinin işlenmesi kapsamında mekânsal çözünürlük de önem arz etmektedir. Haritalama sürecinde kullanılan Landsat görüntülerinin mekânsal çözünürlüğü dikkate alındığında, METRIC modelin geniş alanlarda daha sağlıklı sonuçlar verdiği bilinmektedir (Allen vd. 2007; Patil vd. 2015; Madugundu vd. 2017). Bunun ana sebebinin özellikle termal bantların çözünürlüğü (100 m) olduğu söylenebilir. Bununla beraber, uydu görüntülerindeki her bir pikselin komşu piksellerin spektral değerlerinden etkilendiği de bilinmektedir (Burazerovic vd. 2013). Landsat termal bantları için her bir pikselin 1 ha alanı temsil ettiği göz önüne alındığında, FAO'da (2023) belirtildiği gibi, METRIC modelin kullanımı, parsel boyutları 5 ha üzeri olan alanlar için daha uygundur. Ancak, Ergani Barajı Sulama Sistemi kapsamında parsel boyutlarının çoğunluğu 5 ha'ın altındadır. Ayrıca, parsel sınırlarının piksel sınırlarıyla da tamamen uyuşması mümkün değildir. Bu durumda, her ne kadar parsel sınırlarında kenar tesiri dikkate alınıp, merkeze yakın değerler kullanılmış ve her bir lokasyon için ortalama ET_a değeri parsel boyutlarına göre ağırlıklı ortalamalarla belirlenmiş olsa da; küçük parsel boyutlarından dolayı ürün deseni farklılıklarının ET_a tahminlerini etkileyeceği unutulmamalıdır.

4.3. Bitki Katsayısının Uzaktan Algılama Teknikleriyle Belirlenmesi

UA teknikleriyle K_c 'lerin tahmininde, her iki yıl için de ana bitki deseni dikkate alınmıştır (Çizelge 4.6). Bununla birlikte, ilgili parsellerde ekim ve hasat tarihleri homejenliğinin sağlanması amacıyla, ortalama ekim tarihlerindeki NDVI değerleri dikkate alınarak, örneklem yapılmıştır. Bu kapsamda, her bir parsel için NDVI ve K_c ilişkisi ile oluşturulmuş parsel bazlı K_c NDVI değerlerinin ortalamasının yanı sıra, sahayı temsil edecek şekilde örnekleme oluşturan parsellerin ortalama NDVI ve ortalama K_c adj ilişkisi ayrıca formüle edilerek, yeniden K_c NDVI değerleri de (saha bazlı K_c NDVI) tahmin edilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü 2023 ve 2024 yılı sulama sezonu için, Sentinel-2 uydu görüntülerinden oluşturulmuş NDVI haritaları, EK-4'te verilmiştir.

2023 yılı mısır bitkisi için vejetasyon dönem ortalamaları açısından parsel bazlı NDVI değerleri Çizelge 4.31'de, K_c adj değerleri Çizelge 4.32'de ve K_c NDVI değerleri Çizelge 4.33'te verilmiştir.

Çizelge 4.171. 2023 yılı mısır bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.32	0.14	0.21	0.16
Orta	0.88	0.58	0.78	0.12
Geç	0.69	0.30	0.48	0.15

Çizelge 4.182. 2023 yılı mısır bitkisi parsel bazlı $K_{c\text{ adj}}$ ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.29	0.26	0.28	0.01
Orta	1.29	0.81	1.16	0.12
Geç	0.40	0.40	0.40	0.00

Çizelge 4.193. 2023 yılı mısır bitkisi parsel bazlı $K_{c\text{ NDVI}}$ ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.50	0.21	0.32	0.11
Orta	1.23	0.82	1.09	0.11
Geç	0.98	0.02	0.67	0.11

Örneklem için dikkate alınan parsellerin başlangıç döneminde; NDVI değerleri 0.14-0.32 arasında, $K_{c\text{ adj}}$ değerleri 0.26-0.29 arasında ve $K_{c\text{ NDVI}}$ değerleri 0.21-0.50 arasında değişim göstermiştir. Orta dönem değerleri dikkate alındığında; NDVI değerleri 0.58-0.88 arasında, $K_{c\text{ adj}}$ değerleri 0.81-1.29 arasında ve $K_{c\text{ NDVI}}$ değerleri 0.82-1.23 arasında değişim göstermiştir. Geç dönem değerleri incelendiğinde ise; NDVI değerleri 0.30-0.69 arasında değişiklik göstermiş, $K_{c\text{ adj}}$ değerleri 0.40 olarak sabit kalmış ve $K_{c\text{ NDVI}}$ değerleri 0.02-0.98 arasında değişim göstermiştir (bkz. Çizelge 4.31, Çizelge 4.32 ve Çizelge 4.33).

Tüm saha ortalama değerlerinin dikkate alınmasıyla oluşturulan $K_{c\text{ NDVI}}$ ve ET_{a3} doğrusal ilişkileri Çizelge 4.34'te, tahmin edilen $K_{c\text{ adj}}$ ve $K_{c\text{ NDVI}}$ değerleri ise Çizelge 4.35'te verilmiştir.

Çizelge 4.204. 2023 yılı mısır bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\text{ NDVI}}$ ve ET_{a3} ilişkileri

Parametre	Regresyon Denklemi	R^2	RMSE
$K_{c\text{ NDVI}}$	$1.4268 \times \text{Ort NDVI} - 0.0084$	0.90	0.1190
ET_{a3}	$0.9136 \times \text{Ort } ET_{a2} + 0.483$	0.96	0.8356

Çizelge 4.215. 2023 yılı mısır bitkisi tüm saha bazlı K_c adj ve K_c NDVI değerleri

Vejetasyon Dönemi	K_c adj	K_c NDVI
Başlangıç	0.28	0.29
Orta	1.16	1.11
Geç	0.40	0.68

2023 yılı mısır bitkisi için saha ve parsel bazında hesaplanan K_c değerlerinden elde edilen ortalama ET değerleri ve ET_{a2} ile parsel ve saha bazlı ET_{a3} arasındaki ilişkiye ilişkin R^2 ve RMSE değerleri Çizelge 4.36 verilmiştir.

Çizelge 4.226. 2023 yılı mısır bitkisi ortalama ET değerleri (mm)

Vejetasyon Dönemi	Saha ET_{a2}	Parsel ET_{a3}	Saha ET_{a3}
Başlangıç	38.93	44.05	40.05
Orta	571.02	536.11	544.61
Geç	178.66	199.32	214.28
Sezon	952.73	942.27	944.30
R^2	-	0.96	0.96
RMSE	-	0.8432	0.8356

2023 yılında mısır bitkisi için NDVI değerlerinin kullanılmasıyla parsel ve saha bazlı olarak tahmin edilen K_c ve ET değerlerinin, FAO-56 ile oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (bkz. Çizelge 4.34 ve ve Çizelge 4.36). Bununla beraber, NDVI ve K_c değerlerinin uyumluluğu, Beerli vd. (2019) tarafından, farklı indekslerden elde edilen K_c değerlerinin karşılaştırıldığı (K_c NDVI R^2 0.87) bir çalışmada da vurgulanmıştır. K_c NDVI değerleri K_c adj'ye kıyasla, başlangıç ve geç dönemleri için daha yüksek, orta dönem için ise daha düşük tahmin edilmiştir (bkz. Çizelge 4.35).

2023 yılı şeker pancarı bitkisi için vejetasyon dönem ortalamaları açısından parsel bazlı NDVI değerleri Çizelge 4.37'de, K_c adj değerleri Çizelge 4.38'de ve K_c NDVI değerleri Çizelge 4.39'da verilmiştir.

Çizelge 4.37. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.28	0.11	0.17	0.04
Orta	0.81	0.46	0.67	0.09
Geç	0.79	0.29	0.56	0.13

Çizelge 4.38. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi parsel bazlı K_c adj ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.29	0.27	0.28	0.01
Orta	1.24	0.97	1.12	0.07
Geç	0.39	0.39	0.39	0.00

Çizelge 4.39. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi parsel bazlı K_c NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.48	0.19	0.35	0.07
Orta	1.15	0.79	1.00	0.09
Geç	1.09	0.41	0.85	0.17

Dikkate alınan parsellerin başlangıç döneminde; NDVI değerleri 0.11-0.28 arasında, K_c adj değerleri 0.27-0.29 arasında ve K_c NDVI değerleri 0.19-0.48 arasında değişim göstermiştir. Orta dönemde; NDVI değerleri 0.46-0.81 arasında, K_c adj değerleri 0.97-1.24 arasında ve K_c NDVI değerleri 0.79-1.15 arasında değişim göstermiştir. Geç dönemde; NDVI değerleri 0.29-0.79 arasında, K_c NDVI değerleri 0.41-1.09 arasında değişim gösterirken, K_c adj değerleri 0.39 olarak sabit kalmıştır (bkz. Çizelge 4.37, Çizelge 4.38 ve Çizelge 4.39).

Tüm saha ortalama değerlerinin dikkate alınmasıyla oluşturulan; K_c NDVI ve ET_{a3} doğrusal ilişkileri Çizelge 4.40'ta, tahmin edilen K_c adj ve K_c NDVI değerleri ise Çizelge 4.41'de verilmiştir.

Çizelge 4.40. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi tüm saha bazlı K_c NDVI ve ET_{a3} ilişkileri

Parametre	Regresyon Denklemi	R^2	RMSE
K_c NDVI	$1.3433 \times NDVI + 0.1123$	0.80	0.1586
ET_{a3}	$0.8213 \times ET_{a2} + 0.84$	0.94	1.0143

Çizelge 4.41. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi saha bazlı K_c adj ve K_c NDVI değerleri

Vejetasyon Dönemi	K_c adj	K_c NDVI
Başlangıç	0.28	0.34
Orta	1.12	1.01
Geç	0.39	0.87

2023 yılı şeker pancarı bitkisi için saha ve parsel bazında hesaplanan K_c değerlerinden elde edilen ortalama ET değerleri ve ET_{a2} ile parsel ve saha bazlı ET_{a3} arasındaki ilişkiye ilişkin R^2 ve RMSE değerleri Çizelge 4.42'de verilmiştir.

Çizelge 4.42. 2023 yılı şeker pancarı bitkisi ortalama ET değerleri (mm)

Vejetasyon Dönemi	Saha ET _{a2}	Parsel ET _{a3}	Saha ET _{a3}
Başlangıç	36.88	46.68	45.10
Orta	583.42	517.18	522.87
Geç	136.20	167.29	170.51
Sezon	928.40	890.64	896.01
R²	-	0.95	0.94
RMSE	-	1.0285	1.0143

2023 yılında şeker pancarı için NDVI değerlerinin kullanılmasıyla parsel ve saha bazlı olarak tahmin edilen K_c ve ET değerleri, FAO-56 ile oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 4.40 ve Çizelge 4.42). $K_{c\text{ NDVI}}$ değerleri $K_{c\text{ adj}}$ 'ye kıyasla, başlangıç ve geç dönemleri için daha yüksek, orta dönem için ise daha düşük tahmin edilmiştir (Çizelge 4.41).

2023 yılı patates bitkisi için vejetasyon dönem ortalamaları açısından parsel bazlı NDVI değerleri Çizelge 4.43'te, $K_{c\text{ adj}}$ değerleri Çizelge 4.44'te ve $K_{c\text{ NDVI}}$ değerleri Çizelge 4.45'te verilmiştir. Bununla birlikte, patates bitkisi başlangıç vejetasyon dönemindeki bulutlu uydu görüntülerinden dolayı, sadece orta ve geç dönem dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.43. 2023 yılı patates bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	-	-	-	-
Orta	0.81	0.28	0.61	0.19
Geç	0.63	0.10	0.22	0.18

Çizelge 4.44. 2023 yılı patates bitkisi parsel bazlı $K_{c\text{ adj}}$ ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	-	-	-	-
Orta	1.08	0.92	1.02	0.05
Geç	0.79	0.54	0.71	0.11

Çizelge 4.45. 2023 yılı patates bitkisi parsel bazlı $K_{c\text{ NDVI}}$ ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	-	-	-	-
Orta	1.06	0.58	0.93	0.17
Geç	0.87	0.58	0.79	0.10

Dikkate alınan parsellerde, orta dönem değerleri dikkate alındığında; NDVI değerleri 0.28-0.81 arasında, $K_{c\ adj}$ değerleri 0.92-1.08 arasında ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri 0.58-1.06 arasında değişim göstermiştir. Geç dönem değerleri incelendiğinde ise; NDVI değerleri 0.10-0.63 arasında, $K_{c\ adj}$ değerleri 0.54-0.79 arasında, $K_{c\ NDVI}$ değerleri ise 0.58-0.87 arasında değişim göstermiştir (bkz. Çizelge 4.43, Çizelge 4.44 ve Çizelge 4.45).

Tüm saha ortalama değerlerinin dikkate alınmasıyla oluşturulan; $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} doğrusal ilişkileri Çizelge 4.46'da, tahmin edilen $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri ise Çizelge 4.47'de verilmiştir.

Çizelge 4.46. 2023 yılı patates bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} ilişkileri

Parametre	Regresyon Denklemi	R ²	RMSE
$K_{c\ NDVI}$	$0.5842 \times NDVI + 0.6536$	0.58	0.0747
ET_{a3}	$0.9901 \times ET_{a2} + 0.0956$	0.96	0.4391

Çizelge 4.47. 2023 yılı patates bitkisi saha bazlı $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri

Vejetasyon Dönemi	$K_{c\ adj}$	$K_{c\ NDVI}$
Başlangıç	-	-
Orta	1.02	1.01
Geç	0.71	0.86

2023 yılı patates bitkisi için saha ve parsel bazında hesaplanan K_c değerlerinden elde edilen ortalama ET değerleri ve ET_{a2} ile parsel ve saha bazlı ET_{a3} arasındaki ilişkiye ilişkin R² ve RMSE değerleri Çizelge 4.48'de verilmiştir.

Çizelge 4.48. 2023 yılı patates bitkisi ortalama ET değerleri (mm)

Vejetasyon Dönemi	Saha ET_{a2}	Parsel ET_{a3}	Saha ET_{a3}
Başlangıç	-	-	-
Orta	315.15	291.00	315.76
Geç	233.23	233.09	236.76
Sezon	548.38	524.09	552.52
R ²	-	0.95	0.96
RMSE	-	0.5626	0.4391

2023 yılında patates bitkisi için NDVI ve $K_{c\ adj}$ ilişkisi orta düzeyde anlamlı bir uyum göstermiştir (bkz. Çizelge 4.46). Buna karşın, $K_{c\ NDVI}$ değerleri $K_{c\ adj}$ 'ye kıyasla, geç dönem için daha yüksek, orta dönem için ise daha düşük tahmin edilmiştir (bkz. Çizelge 4.47). NDVI ve $K_{c\ adj}$ değerleri arasında ve hesaplanan ET değerleri arasında ise iyi uyum olduğu görülmektedir (bkz. Çizelge 4.48).

2023 yılı tütün bitkisi için vejetasyon dönem ortalamaları açısından parsel bazlı NDVI değerleri Çizelge 4.49'da, K_c adj değerleri Çizelge 4.50'de ve K_c NDVI değerleri Çizelge 4.51'de verilmiştir.

Çizelge 4.49. 2023 yılı tütün bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.23	0.21	0.22	0.01
Orta	0.80	0.58	0.66	0.12
Geç	0.60	0.38	0.49	0.11

Çizelge 4.50. 2023 yılı tütün bitkisi parsel bazlı K_c adj ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.39	0.39	0.39	0.00
Orta	1.17	1.11	1.15	0.04
Geç	0.87	0.87	0.87	0.00

Çizelge 4.51. 2023 yılı tütün bitkisi parsel bazlı K_c NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.50	0.36	0.45	0.08
Orta	1.14	1.01	1.06	0.07
Geç	1.07	0.70	0.84	0.20

Dikkate alınan tütün parsellerinin başlangıç döneminde; NDVI değerleri 0.21-0.23 arasında, K_c NDVI değerleri 0.36-0.50 arasında değişim göstermiş ve K_c adj değerleri 0.39 olarak sabit kalmıştır. Orta dönem değerleri dikkate alındığında; NDVI değerleri 0.58-0.80 arasında, K_c adj değerleri 1.11-1.17 arasında ve K_c NDVI değerleri 1.01-1.14 arasında değişim göstermiştir. Geç dönem değerleri incelendiğinde ise; NDVI değerleri 0.38-0.60 arasında, K_c NDVI değerleri 0.70-1.07 arasında değişim gösterirken, K_c adj değerleri 0.87 olarak sabit kalmıştır (bkz. Çizelge 4.49, Çizelge 4.50 ve Çizelge 4.51).

Tüm saha ortalama değerlerinin dikkate alınmasıyla oluşturulan; K_c NDVI ve ET_{a3} doğrusal ilişkileri Çizelge 4.52'de, tahmin edilen K_c adj ve K_c NDVI değerleri ise Çizelge 4.53'te verilmiştir.

Çizelge 4.52. 2023 yılı tütün bitkisi tüm saha bazlı K_c NDVI ve ET_{a3} ilişkileri

Parametre	Formül	R ²	RMSE
K_c NDVI	$1.5927 \times NDVI + 0.0452$	0.95	0.0797
ET_{a3}	$0.9129 \times ET_{a2} + 0.4602$	0.97	0.6542

Çizelge 4.53. 2023 yılı tütün bitkisi saha bazlı $K_{c\text{ adj}}$ ve $K_{c\text{ NDVI}}$ değerleri

Vejetasyon Dönemi	$K_{c\text{ adj}}$	$K_{c\text{ NDVI}}$
Başlangıç	0.39	0.39
Orta	1.15	1.10
Geç	0.87	0.83

2023 yılı tütün bitkisi için; saha ve parsel bazında hesaplanan K_c değerlerinden elde edilen ortalama ET değerleri ve ET_{a2} ile parsel ve saha bazlı ET_{a3} arasındaki ilişkiye ilişkin R^2 ve RMSE değerleri Çizelge 4.54’te verilmiştir.

Çizelge 4.54. 2023 yılı tütün bitkisi ortalama ET değerleri (mm)

Vejetasyon Dönemi	Saha ET_{a2}	Parsel ET_{a3}	Saha ET_{a3}
Başlangıç	68.49	79.59	68.94
Orta	621.61	571.53	591.85
Geç	144.80	150.90	156.35
Sezon	991.52	972.37	979.28
R^2	-	0.98	0.97
RMSE	-	0.7659	0.6542

2023 yılı tütün sezonu için yapılan değerlendirmede; NDVI ve $K_{c\text{ adj}}$ değerleri arasında ve hesaplanan ET değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir (bkz. Çizelge 4.52 ve ve Çizelge 4.54). Vejetasyon dönemlerine ait tahmin edilen $K_{c\text{ NDVI}}$ değerleri $K_{c\text{ adj}}$ ’ye kıyasla, başlangıç dönemi için aynı kalmış, orta ve geç dönemler için daha düşük tahmin edilmiştir (bkz. Çizelge 4.53).

2023 yılı soğan bitkisi için vejetasyon dönem ortalamaları açısından parsel bazlı NDVI değerleri Çizelge 4.55’te, $K_{c\text{ adj}}$ değerleri Çizelge 4.56’da ve $K_{c\text{ NDVI}}$ değerleri Çizelge 4.57’de verilmiştir. Bununla birlikte, patates bitkisine benzer şekilde soğan bitkisi için de başlangıç dönemine ait kullanılabilir uydu görüntülerinin olmamasından dolayı sadece orta ve geç dönem değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.55. 2023 yılı soğan bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	-	-	-	-
Orta	0.63	0.24	0.42	0.12
Geç	0.65	0.18	0.36	0.17

Çizelge 4.56. 2023 yılı soğan bitkisi parsel bazlı $K_{c\text{ adj}}$ ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	-	-	-	-
Orta	0.97	0.80	0.90	0.05
Geç	0.78	0.37	0.68	0.16

Çizelge 4.57. 2023 yılı soğan bitkisi parsel bazlı K_c NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	-	-	-	-
Orta	0.95	0.79	0.87	0.05
Geç	0.97	0.66	0.86	0.10

Soğan parsellerinin orta dönem değerleri dikkate alındığında; NDVI değerleri 0.24-0.63 arasında, K_c adj değerleri 0.80-0.97 arasında ve K_c NDVI değerleri 0.79-0.95 arasında değişim göstermiştir. Geç dönem değerleri incelendiğinde ise; NDVI değerleri 0.18-0.65 arasında, K_c adj değerleri 0.37-0.78 arasında, K_c NDVI değerleri 0.66-0.97 arasında değişim göstermiştir (bkz. Çizelge 4.55, Çizelge 4.56 ve Çizelge 4.57).

Tüm saha ortalama değerlerinin dikkate alınmasıyla oluşturulan; K_c NDVI ve ET_{a3} doğrusal ilişkileri Çizelge 4.58’de, tahmin edilen K_c adj ve K_c NDVI değerleri ise Çizelge 4.59’da verilmiştir.

Çizelge 4.58. 2023 yılı soğan bitkisi tüm saha bazlı K_c NDVI ve ET_{a3} ilişkileri

Parametre	Regresyon Denklemi	R^2	RMSE
K_c NDVI	$-0.0184 \times NDVI + 0.8779$	0.0003	0.1099
ET_{a3}	$0.7784 \times ET_{a2} + 1.5857$	0.86	0.8129

Çizelge 4.59. 2023 yılı soğan bitkisi saha bazlı K_c adj ve K_c NDVI değerleri

Vejetasyon Dönemi	K_c adj	K_c NDVI
Başlangıç	-	-
Orta	0.90	0.87
Geç	0.68	0.87

2023 yılı soğan bitkisi için saha ve parsel bazında hesaplanan K_c değerlerinden elde edilen ortalama ET değerleri ve ET_{a2} ile parsel ve saha bazlı ET_{a3} arasındaki ilişkiye ilişkin R^2 ve RMSE değerleri Çizelge 4.60’da verilmiştir.

Çizelge 4.60. 2023 yılı soğan bitkisi ortalama ET değerleri (mm)

Vejetasyon Dönemi	Saha ET_{a2}	Parsel ET_{a3}	Saha ET_{a3}
Başlangıç	-	-	-
Orta	366.67	356.74	355.56
Geç	187.27	197.81	197.72
Sezon	553.95	554.55	553.28
R^2	-	0.87	0.86
RMSE	-	0.7696	0.8129

2023 yılı dikkate alınan soğan parsellerinde yapılan değerlendirmede; 2023 sezonu soğan bitkisi için NDVI ve K_c adj değerleri arasındaki ilişki ‘çok zayıf’ bulunmuştur (bkz. Çizelge 4.58).

2024 yılı mısır bitkisi için vejetasyon dönem ortalamaları açısından parsel bazlı NDVI değerleri Çizelge 4.61’de, K_c adj değerleri Çizelge 4.62’de ve K_c NDVI değerleri Çizelge 4.63’te verilmiştir.

Çizelge 4.61. 2024 yılı mısır bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.41	0.14	0.24	0.06
Orta	0.82	0.56	0.74	0.06
Geç	0.68	0.27	0.45	0.10

Çizelge 4.62. 2024 yılı mısır bitkisi parsel bazlı K_c adj ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.29	0.18	0.28	0.02
Orta	1.29	0.80	1.18	0.13
Geç	0.40	0.40	0.40	0.00

Çizelge 4.63. 2024 yılı mısır bitkisi parsel bazlı K_c NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.49	0.19	0.28	0.08
Orta	1.24	0.87	1.13	0.11
Geç	1.01	0.34	0.62	0.17

Mısır bitkisi için dikkate alınan parsellerin başlangıç döneminde; NDVI değerleri 0.14-0.41 arasında, K_c adj değerleri 0.18-0.29 arasında ve K_c NDVI değerleri 0.19-0.49 arasında değişim göstermiştir. Orta dönem değerleri dikkate alındığında; NDVI değerleri 0.56-0.82 arasında, K_c adj değerleri 0.80-1.29 arasında ve K_c NDVI değerleri 0.87-1.24 arasında değişim göstermiştir. Geç dönem değerleri incelendiğinde ise; NDVI değerleri 0.27-0.68 arasında, K_c NDVI değerleri 0.34-1.01 arasında değişim gösterirken, K_c adj değerleri 0.40 olarak sabit kalmıştır (bkz. Çizelge 4.61, Çizelge 4.62 ve Çizelge 4.63).

Tüm saha ortalama değerlerinin dikkate alınmasıyla oluşturulan K_c NDVI ve ET_{a3} doğrusal ilişkileri Çizelge 4.64’te, tahmin edilen K_c adj ve K_c NDVI değerleri ise Çizelge 4.65’te verilmiştir.

Çizelge 4.64. 2024 yılı mısır bitkisi tüm saha bazlı K_c NDVI ve ET_{a3} ilişkileri

Parametre	Regresyon Denklemi	R^2	RMSE
K_c NDVI	$1.8615 \times NDVI - 0.2169$	0.93	0.0994
ET_{a3}	$0.9526 \times ET_{a2} + 0.2973$	0.97	0.7218

Çizelge 4.65. 2024 yılı mısır bitkisi saha bazlı K_c adj ve K_c NDVI değerleri

Vejetasyon Dönemi	K_c adj	K_c NDVI
Başlangıç	0.28	0.23
Orta	1.18	1.13
Geç	0.40	0.87

2024 yılı mısır bitkisi için; saha ve parsel bazında hesaplanan K_c değerlerinden elde edilen ortalama ET değerleri ve ET_{a2} ile parsel ve saha bazlı ET_{a3} arasındaki ilişkiye ilişkin R^2 ve RMSE değerleri Çizelge 4.66’da verilmiştir.

Çizelge 4.66. 2024 yılı mısır bitkisi ortalama ET değerleri (mm)

Vejetasyon Dönemi	Saha ET_{a2}	Parsel ET_{a3}	Saha ET_{a3}
Başlangıç	34.67	36.05	29.46
Orta	549.63	530.93	543.27
Geç	148.68	156.15	158.18
Sezon	991.22	983.31	988.26
R^2	-	0.97	0.97
RMSE	-	0.7597	0.7218

2024 yılı mısır sezonunda; NDVI değerlerinin kullanılmasıyla parsel ve saha bazlı olarak tahmin edilen K_c ve ET değerleri, FAO-56 ile bir önceki yıla benzer şekilde oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (bkz. Çizelge 4.64 ve Çizelge 4.66). Bununla birlikte, vejetasyon dönemlerine ait tahmin edilen K_c NDVI değerleri, K_c adj değerlerine kıyasla, geç dönemde daha yüksek tahmin edilirken, orta dönemde daha düşük tahmin edilmesinin yanı sıra, başlangıç döneminde parsel bazlı ortalama sabit kalırken, saha ortalamasında daha düşük tahmin edilmiştir (bkz. Çizelge 4.63 ve Çizelge 4.65).

2024 yılı tütün bitkisi için vejetasyon dönem ortalamaları açısından parsel bazlı NDVI değerleri Çizelge 4.67’de, K_c adj değerleri Çizelge 4.68’de ve K_c NDVI değerleri Çizelge 4.69’da verilmiştir.

Çizelge 4.67. 2024 yılı tütün bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.27	0.22	0.24	0.03
Orta	0.82	0.52	0.67	0.21
Geç	0.65	0.45	0.45	0.14

Çizelge 4.68. 2024 yılı tütün bitkisi parsel bazlı K_c adj ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.40	0.40	0.40	0.00
Orta	1.24	1.00	1.12	0.17
Geç	0.87	0.87	0.87	0.00

Çizelge 4.69. 2024 yılı tütün bitkisi parsel bazlı K_c NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.38	0.30	0.34	0.06
Orta	1.18	1.01	1.09	0.12
Geç	0.90	0.86	0.88	0.03

Dikkate alınan parsellerin başlangıç döneminde; NDVI değerleri 0.22-0.27 arasında, K_c NDVI değerleri 0.30-0.38 arasında değişim gösterirken, K_c adj değeri 0.40 olarak sabit kalmıştır. Orta dönem değerleri dikkate alındığında; NDVI değerleri 0.52-0.82 arasında, K_c adj değerleri 1.00-1.24 arasında ve K_c NDVI değerleri 1.01-1.18 arasında değişim göstermiştir. Geç dönem değerleri incelendiğinde ise; NDVI değerleri 0.45-0.65 arasında, K_c NDVI değerleri 0.86-0.90 arasında değişim gösterirken, K_c adj değerleri 0.87 olarak sabit kalmıştır (bkz. Çizelge 4.67, Çizelge 4.68 ve Çizelge 4.69).

Tüm vejetasyon periyodu için tüm saha ortalama değerlerinin dikkate alınmasıyla oluşturulan; K_c NDVI ve ET_{a3} doğrusal ilişkileri Çizelge 4.70’te, tahmin edilen K_c adj ve K_c NDVI değerleri ise Çizelge 4.71’de verilmiştir.

Çizelge 4.70. 2024 yılı tütün bitkisi tüm saha bazlı K_c NDVI ve ET_{a3} ilişkileri

Parametre	Regresyon Denklemi	R^2	RMSE
K_c NDVI	$1.805 \times NDVI - 0.1063$	0.89	0.1043
ET_{a3}	$0.9264 \times ET_{a2} + 0.5305$	0.95	0.8238

Çizelge 4.71. 2024 yılı tütün bitkisi saha bazlı K_c adj ve K_c NDVI değerleri

Vejetasyon Dönemi	K_c adj	K_c NDVI
Başlangıç	0.40	0.33
Orta	1.12	1.10
Geç	0.87	0.88

2024 yılı tütün bitkisi için; saha ve parsel bazında hesaplanan K_c değerlerinden elde edilen ortalama ET değerleri ve ET_{a2} ile parsel ve saha bazlı ET_{a3} arasındaki ilişkiye ilişkin R^2 ve RMSE değerleri Çizelge 4.72’de verilmiştir.

Çizelge 4.72. 2024 yılı tütün bitkisi ortalama ET değerleri (mm)

Vejetasyon Dönemi	Saha ET _{a2}	Parsel ET _{a3}	Saha ET _{a3}
Başlangıç	41.89	35.00	34.88
Orta	606.59	594.51	617.56
Geç	150.35	151.21	149.82
Sezon	1012.66	1010.83	1012.43
R²	-	0.96	0.95
RMSE	-	0.8090	0.8238

2024 yılı tütün sezonunda; NDVI değerlerinin kullanılmasıyla parsel ve saha bazlı olarak tahmin edilen K_c ve ET değerleri, FAO-56 ile bir önceki yıla benzer şekilde oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (bkz. Çizelge 4.70 ve Çizelge 4.72). Bununla birlikte, $K_{c\text{ NDVI}}$ değerleri $K_{c\text{ adj}}$ değerlerine kıyasla, geç dönemde daha yüksek tahmin edilirken, diğer dönemlerde daha düşük tahmin edilmiştir (bkz. Çizelge 4.69 ve Çizelge 4.71).

2024 yılı karpuz bitkisi için vejetasyon dönem ortalamaları açısından parsel bazlı NDVI değerleri Çizelge 4.73'te, $K_{c\text{ adj}}$ değerleri Çizelge 4.74'te ve $K_{c\text{ NDVI}}$ değerleri Çizelge 4.75'te verilmiştir.

Çizelge 4.73. 2024 yılı karpuz bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.22	0.20	0.21	0.01
Orta	0.78	0.50	0.60	0.16
Geç	0.56	0.36	0.45	0.10

Çizelge 4.74. 2024 yılı karpuz bitkisi parsel bazlı $K_{c\text{ adj}}$ ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.43	0.43	0.43	0.00
Orta	1.01	0.92	0.95	0.05
Geç	0.80	0.80	0.80	0.00

Çizelge 4.75. 2024 yılı karpuz bitkisi parsel bazlı $K_{c\text{ NDVI}}$ ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.56	0.41	0.47	0.08
Orta	1.02	0.81	0.92	0.10
Geç	0.79	0.69	0.75	0.05

Dikkate alınan parsellerin başlangıç döneminde; NDVI değerleri 0.20-0.22 arasında, K_c NDVI değerleri 0.41-0.56 arasında değişim gösterirken, K_c adj değeri 0.43 olarak sabit kalmıştır. Orta dönem değerleri dikkate alındığında; NDVI değerleri 0.50-0.78 arasında, K_c adj değerleri 0.92-1.01 arasında ve K_c NDVI değerleri 0.81-1.02 arasında değişim göstermiştir. Geç dönem değerleri incelendiğinde ise; NDVI değerleri 0.36-0.56 arasında, K_c NDVI değerleri 0.69-0.79 arasında değişim gösterirken, K_c adj değerleri 0.80 olarak sabit kalmıştır (bkz. Çizelge 4.73, Çizelge 4.74 ve Çizelge 4.75).

Tüm saha ortalama değerlerinin dikkate alınmasıyla oluşturulan; K_c NDVI ve ET_{a3} doğrusal ilişkileri Çizelge 4.76'da, tahmin edilen K_c adj ve K_c NDVI değerleri ise Çizelge 4.77'de verilmiştir.

Çizelge 4.76. 2024 yılı karpuz bitkisi tüm saha bazlı K_c NDVI ve ET_{a3} ilişkileri

Parametre	Regresyon Denklemi	R ²	RMSE
K_c NDVI	$1.3912 \times NDVI + 0.1086$	0.88	0.0816
ET_{a3}	$0.9351 \times ET_{a2} + 0.4106$	0.95	0.6862

Çizelge 4.77. 2024 yılı karpuz bitkisi saha bazlı K_c adj ve K_c NDVI değerleri

Vejetasyon Dönemi	K_c adj	K_c NDVI
Başlangıç	0.43	0.40
Orta	0.95	0.94
Geç	0.80	0.73

2024 yılı karpuz bitkisi için saha ve parsel bazında hesaplanan K_c değerlerinden elde edilen ortalama ET değerleri ve ET_{a2} ile parsel ve saha bazlı ET_{a3} arasındaki ilişkiye ilişkin R² ve RMSE değerleri Çizelge 4.78'de verilmiştir.

Çizelge 4.78. 2024 yılı karpuz bitkisi ortalama ET değerleri (mm)

Vejetasyon Dönemi	Saha ET_{a2}	Parsel ET_{a3}	Saha ET_{a3}
Başlangıç	45.03	48.98	42.19
Orta	512.18	493.23	504.83
Geç	153.50	149.82	149.57
Sezon	912.85	903.34	912.35
R ²	-	0.95	0.95
RMSE	-	0.7047	0.6862

2024 yılı karpuz sezonunda; NDVI değerlerinin kullanılmasıyla parsel ve saha bazlı olarak tahmin edilen K_c ve ET değerlerinin, FAO-56 ile, bir önceki yıla benzer şekilde, oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (bkz. Çizelge 4.76 ve Çizelge 4.78). Bununla birlikte, K_c NDVI değerleri K_c adj değerlerine kıyasla; başlangıç dönemi için parsel bazlı ortalama daha yüksek çıkarken, saha bazlı daha düşük tahmin edilmiştir. Buna ek

olarak, orta ve geç dönemde ise daha düşük tahmin edilmiştir (bkz. Çizelge 4.75 ve Çizelge 4.77).

2024 yılı patates bitkisi için vejetasyon dönem ortalamaları açısından parsel bazlı NDVI değerleri Çizelge 4.79’da, $K_{c\ adj}$ değerleri Çizelge 4.80’de ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri Çizelge 4.81’de verilmiştir. Başlangıç vejetasyon dönemindeki bulutlu uydu görüntülerinden dolayı, sadece orta ve geç dönem dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.79. 2024 yılı patates bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	-	-	-	-
Orta	0.70	0.61	0.65	0.03
Geç	0.46	0.14	0.34	0.11

Çizelge 4.80. 2024 yılı patates bitkisi parsel bazlı $K_{c\ adj}$ ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	-	-	-	-
Orta	0.97	0.90	0.93	0.02
Geç	0.78	0.61	0.71	0.07

Çizelge 4.81. 2024 yılı patates bitkisi parsel bazlı $K_{c\ NDVI}$ ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	-	-	-	-
Orta	0.98	0.92	0.95	0.02
Geç	0.73	0.60	0.65	0.05

Örnekleme için dikkate alınan parsellerin orta döneminde; NDVI değerleri 0.61-0.70 arasında, $K_{c\ adj}$ değerleri 0.90-0.97 arasında ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri 0.92-0.98 arasında değişim göstermiştir. Geç dönem değerleri incelendiğinde ise; NDVI değerleri 0.14-0.46 arasında, $K_{c\ adj}$ değerleri 0.61-0.78 arasında ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri 0.60-0.73 arasında değişim göstermiştir (bkz. Çizelge 4.79, Çizelge 4.80 ve Çizelge 4.81).

Tüm saha ortalama değerlerinin dikkate alınmasıyla oluşturulan; $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} doğrusal ilişkileri Çizelge 4.82’de, tahmin edilen $K_{c\ adj}$ ve $K_{c\ NDVI}$ değerleri ise Çizelge 4.83’te verilmiştir.

Çizelge 4.82. 2024 yılı patates bitkisi tüm saha bazlı $K_{c\ NDVI}$ ve ET_{a3} ilişkileri

Parametre	Regresyon Denklemini	R^2	RMSE
$K_{c\ NDVI}$	$1.0652 \times NDVI + 0.2659$	0.52	0.9117
ET_{a3}	$0.8093 \times ET_{a2} + 1.2038$	0.92	1.0093

Çizelge 4.83. 2024 yılı patates bitkisi saha bazlı K_c adj ve K_c NDVI değerleri

Vejetasyon Dönemi	K_c adj	K_c NDVI
Başlangıç	-	-
Orta	0.93	0.96
Geç	0.71	0.62

2024 yılı patates bitkisi için saha ve parsel bazında hesaplanan K_c değerlerinden elde edilen ortalama ET değerleri ve ET_{a2} ile parsel ve saha bazlı ET_{a3} arasındaki ilişkiye ilişkin R^2 ve RMSE değerleri Çizelge 4.84’te verilmiştir.

Çizelge 4.84. 2024 yılı patates bitkisi ortalama ET değerleri (mm)

Vejetasyon Dönemi	Saha ET_{a2}	Parsel ET_{a3}	Saha ET_{a3}
Başlangıç	-	-	-
Orta	348.80	348.34	350.94
Geç	268.38	257.63	254.76
Sezon	617.18	605.97	605.70
R^2	-	0.93	0.92
RMSE	-	0.9709	1.0093

2024 yılı patates sezonunda; NDVI ve K_c adj değerleri arasında, bir önceki yıla benzer bir şekilde, güçlü bir korelasyon bulunamamıştır (R^2 0.52) (bkz. Çizelge 4.82). Bununla birlikte, K_c NDVI değerleri K_c adj değerlerine kıyasla; orta dönemde daha yüksek, geç dönemde ise daha düşük tahmin edilmiştir (bkz. Çizelge 4.81 ve Çizelge 4.83). Ancak, ET tahminleri ise oldukça uyumlu bulunmuştur (bkz. Çizelge 4.84).

2024 yılı soğan bitkisi için vejetasyon dönem ortalamaları açısından parsel bazlı NDVI değerleri Çizelge 4.85’te, K_c adj değerleri Çizelge 4.86’da ve K_c NDVI değerleri Çizelge 4.87’de verilmiştir.

Çizelge 4.85. 2024 yılı soğan bitkisi parsel bazlı NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.51	0.17	0.32	0.13
Orta	0.77	0.41	0.55	0.13
Geç	0.42	0.24	0.35	0.06

Çizelge 4.86. 2024 yılı soğan bitkisi parsel bazlı K_c adj ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.68	0.37	0.55	0.12
Orta	1.06	0.71	0.92	0.12
Geç	0.78	0.78	0.78	0.00

Çizelge 4.87. 2024 yılı soğan bitkisi parsel bazlı K_c NDVI ortalamaları

Vejetasyon Dönemi	En yüksek	En düşük	Ortalama	Standart sapma
Başlangıç	0.80	0.50	0.63	0.09
Orta	1.06	0.70	0.92	0.12
Geç	0.82	0.57	0.72	0.08

Örneklem için dikkate alınan parsellerin başlangıç döneminde; NDVI değerleri 0.17-0.51 arasında, $K_{c\text{ adj}}$ değerleri 0.37-0.68 arasında ve K_c NDVI değerleri 0.50-0.80 arasında değişim göstermiştir. Orta dönem değerleri dikkate alındığında; NDVI değerleri 0.41-0.77 arasında, $K_{c\text{ adj}}$ değerleri 0.71-1.06 arasında ve K_c NDVI değerleri 0.70-1.06 arasında değişim göstermiştir. Geç dönem değerleri incelendiğinde ise; NDVI değerleri 0.24-0.42 arasında, K_c NDVI değerleri 0.57-0.82 arasında değişim gösterirken, $K_{c\text{ adj}}$ değerleri 0.78 olarak sabit kalmıştır (bkz. Çizelge 4.85, Çizelge 4.86 ve Çizelge 4.87).

Tüm saha ortalama değerlerinin dikkate alınmasıyla oluşturulan; K_c NDVI ve ET_{a3} doğrusal ilişkileri Çizelge 4.88’de, tahmin edilen $K_{c\text{ adj}}$ ve K_c NDVI değerleri ise Çizelge 4.89’da verilmiştir.

Çizelge 4.88. 2024 yılı soğan bitkisi tüm saha bazlı K_c NDVI ve ET_{a3} ilişkileri

Parametre	Regresyon Denklemleri	R^2	RMSE
K_c NDVI	$1.3241 \times NDVI + 0.2093$	0.56	0.1022
ET_{a3}	$0.8978 \times ET_{a2} + 0.7139$	0.88	0.8361

Çizelge 4.89. 2024 yılı soğan bitkisi saha bazlı $K_{c\text{ adj}}$ ve K_c NDVI değerleri

Vejetasyon Dönemi	$K_{c\text{ adj}}$	K_c NDVI
Başlangıç	0.55	0.34
Orta	0.92	0.94
Geç	0.78	0.67

2024 yılı soğan bitkisi için; saha ve parsel bazında hesaplanan K_c değerlerinden elde edilen ortalama ET değerleri ve ET_{a2} ile parsel ve saha bazlı ET_{a3} arasındaki ilişkiye ilişkin R^2 ve RMSE değerleri Çizelge 4.90’da verilmiştir.

Çizelge 4.90. 2024 yılı soğan bitkisi ortalama ET değerleri (mm)

Vejetasyon Dönemi	Saha ET_{a2}	Parsel ET_{a3}	Saha ET_{a3}
Başlangıç	60.97	69.83	64.43
Orta	432.32	436.01	443.77
Geç	144.42	141.32	134.89
Sezon	851.13	848.43	853.30
R^2	-	0.90	0.88
RMSE	-	0.7705	0.8361

2024 yılı soğan sezonunda; NDVI ve K_c adj değerleri arasında, bir önceki yıldan farklı olarak nispeten daha yüksek bir korelasyon bulunmuştur (R^2 0.56) (bkz. Çizelge 4.88). Bununla beraber, tüm saha bazında K_c NDVI değerleri K_c adj değerlerine kıyasla; orta dönemde daha yüksek, başlangıç ve geç dönemde ise daha düşük tahmin edilmiştir. Parsellere ait K_c NDVI ortalamaları dikkat alındığında K_c adj değerlerine kıyasla; başlangıç dönemi için daha yüksek, geç dönem için daha düşük ve orta dönem için sabit olarak tahmin edilmiştir (bkz. Çizelge 4.87 ve Çizelge 4.89). Bununla beraber, ET tahminleri oldukça uyumlu bulunmuştur (bkz. Çizelge 4.90).

Her iki sezonda ana bitki deseni için yapılan K_c NDVI tahminlerinde; K_c adj değerlerine kıyasla düşük tahminler (soğan hariç), CWD (bkz. Çizelge 4.5 ve 4.6) değerleriyle uyum içerisindedir. Düşük R^2 değerinin görüldüğü (2023-2024 patates ve soğan) tahminlerinin sebebi, ürün deseni ve ekim-hasat tarihlerindeki tutarsızlıklar olabilir. Bununla beraber, tüm vejetasyon tarihini kapsamayan uydu görüntüleri ve bu görüntülerin METRIC modelle işlenip K_s değerlerinin oluşturulması kapsamında; modelin doğruluk hassasiyeti de düşük korelasyona sebep olmuş olabilir.

Benzer amaçlarla, Portekiz’de mısır bitkisi üzerinde yapılmış bir çalışmada, araştırmacılar, K_c ve NDVI değerleri arasında anlamlı bir ilişki (R^2 0.82) bulunduğunu raporlamıştır. Ancak, K_c ile NDVI arasındaki ilişkinin, özellikle yetiştirme döneminin başlangıcında örtü oranının düşük olduğu dönemlerde toprak yüzeyinden gerçekleşen buharlaşma nedeniyle, zaman zaman değişkenlik gösterebileceğini ve daha düşük R^2 ile sonuçlanabileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bununla beraber, elde edilen bu verilerin, bitki su ihtiyacının hesaplanmasında kullanılması durumunda, dikkatli olunması gerektiğini vurgulamıştır (Toureiro vd. 2017). 2006 yılında, mısır bitkisi üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise; K_c NDVI ile K_c arasında güçlü bir ilişki (R^2 0.91) belirlenirken, K_c değerlerinin $\pm\%10$ sapmayla tahmin edilmesinin, ideal yetiştirme koşullarındaki ET düzeylerini temsil etmek için yeterli kabul edildiği vurgulanmıştır (Kamble vd. 2013).

Belirli koşullar altında yersel ölçümlerle hesaplanan K_c değerlerinin, orta dönemde her ne kadar sabit olacağı varsayımı yapılsa da, orta dönemde sabit kalmayacağı ve sürekli olarak değişim göstereceği bilinmektedir (Reyes-González vd. 2018). Su stresinin dikkate alınmasıyla uyarlanmış yerel K_c (K_c adj) değerleri ve UA teknikleriyle oluşturulan K_c NDVI değerlerinin ilişkisi kapsamında; NDVI değerlerinin orta dönemdeki değişimleri ve stres durumundaki dalgalanmalar bu doğrusallığı etkilemektedir. Her ne kadar, bu çalışmada su stresinin K_c değerlerine etkisi dikkate alınsa da, daha önceki yapılan farklı stres çalışmalardan da anlaşılabileceği üzere; NDVI değerlerindeki dalgalanmaların kuraklık, tuzluluk, sıcaklık ve biyotik kaynaklı streslerden kaynaklanabileceği de bilinmektedir (Bartold vd. 2024; Alessandrino vd. 2024; Solana-Alvarez vd. 2022; Yordanova vd. 2024). Bu kapsamda, su stresi dışındaki diğer stres faktörlerinin dikkate alınamamasının, doğrusallığı olumsuz etkileyen diğer bir neden olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, girdi olarak kullanılan NDVI değerlerinin farklı UA teknikleriyle elde edilmesinin de bu doğrusallığı olumsuz etkileyebileceği bilinmektedir (Ihuoma vd. 2021). Ayrıca, K_s değerlerinin belirlenmesinde kullanılan

METRIC modelin hassasiyeti ve parsel boyutlarındaki değişimler de bu sonuçları etkileyebilmektedir. Bu çalışmada ekim ve hasat tarihlerinin ortalama olarak alınması ise doğrusallığı olumsuz etkileyen başka bir neden olabilir. Tüm bu nedenler, farklı etki oranlarıyla, benzer çalışmalarda da geçerliliğini korumaktadır. Doğruluk tahminleri, girdi verileriyle, çözünürlükle ve uydu verilerinin hassasiyetiyle ilişkili belirsizliklere dayanmakta olup, K_c modellemesinde, hem model hem de veri girdilerinin belirli düzeyde belirsizlik içermesi kaçınılmazdır (Kamble vd. 2013).

Çalışma kapsamında ana bitki deseni için; UA kapsamında NDVI görüntülerinin $K_{c \text{ adj}}$ değerleri ile genel olarak yüksek korelasyon gösterdiği ve saha gerçeğine dayalı olarak K_c değerlerinin ($K_{c \text{ NDVI}}$) tahmin edilmesinde başarılı bir şekilde kullanılabileceği söylenbilir.

5. SONUÇLAR

Sulama yönetiminin daha etkin ve sürdürülebilir hale getirilmesi için öncelikle mevcut performans düzeyinin doğru bir biçimde ortaya konması gerekmektedir. Performans değerlendirmesi, yalnızca sistemin iyileştirilmesini değil, aynı zamanda alınacak stratejik kararların belirlenmesini de mümkün kılar. Dünya genelinde sulama uygulamalarının etkinliğini değerlendirmek amacıyla çeşitli performans göstergeleri geliştirilmiştir. Sulu tarımda temel amaç, birim alandan alınan ürün miktarını artırarak, ekonomik getiriye yükseltmektir. Bu hedefin başarılması, belirli bir fizyolojik eşiğe kadar büyük ölçüde ET miktarına bağlıdır. Aynı zamanda ET, hem su yönetimi hem de su kaynaklarının planlanması açısından kritik bir göstergedir. Noktasal düzeyde ET, iklime dayalı yöntemlerle veya lizimetrelerle yüksek doğrulukla hesaplanabilmektedir. Ancak bu yöntemler, geniş ve homojen olmayan arazilerde yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, bölgesel düzeyde ET haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük alanlarda ET dağılımının haritalanmasında UA teknikleri etkili, hızlı ve ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Son zamanlarda, yaygın olarak kullanılan METRIC modeli; ET_a 'yı, stres koşullarının etkilerini de dikkate alarak, oldukça doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir. Böylece UA, sulama yönetiminde önemli bir karar destek aracına dönüşmektedir.

Bu çalışmada, Diyarbakır ili Ergani ilçesi sınırları içerisinde bulunan Ergani Barajı Sulama Sisteminin performansı, 2023 ve 2024 sulama sezonları için, ET_c ve UA teknikleriyle tahmin edilen ET_a parametrelerinin kullanıldığı göstergelerle belirlenmiştir. Ayrıca ana bitki desenine ait K_c değerleri de UA teknikleriyle tahmin edilmiştir.

Çalışma sonucunda, özellikle 2024 yılı nisan ve mayıs aylarında gereğinden fazla sulama yapıldığı ve yağışla sağlanan suyun yeterince etkin kullanılmadığı belirlenmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü iki sulama sezonu için haziran ayında ihtiyaç duyulan miktardan daha az su sağlandığı dolayısıyla sulamanın yetersiz kaldığı ve stres koşullarının oluştuğu tespit edilmiştir. Temmuz ve ağustos aylarında yıllar arası farklılıklar gözlemlenmiştir. 2023 yılı temmuz ayında bazı performans göstergeleri, yetersiz sulamaya işaret ederken, 2024 yılında fazla su sağlanmasına rağmen, bir önceki yıla benzer şekilde, yüksek miktarda su açığı devam etmiştir. Bu durum, sulama suyu miktarının ötesinde, sulama zamanlamasının kritik rolünü vurgulamaktadır. Eylül aylarında, fazla su saptırılmasına rağmen, suyun hem etkin kullanılmadığı hem de potansiyel tasarruf fırsatlarının değerlendirilemediği söylenebilir. Ekim ayında 2023 yılı için aşırı sulama yapıldığı, 2024 yılında ise sahaya sulama suyu saptırılmadığı tespit edilmiştir. Sezonluk olarak değerlendirildiğinde, performans göstergeleri yeterli su teminini işaret etse de, aylık düzeyde önemli farklılıklar mevcuttur. Bu nedenle, sulama yönetiminde sezonluk analizlerden ziyade, aylık değerlendirmelerin daha doğru olduğu söylenebilir.

Genel olarak, çiftçi kontrolünde ve isteğine bağlı gerçekleşen sulama uygulamalarının, özellikle kurak geçen haziran, temmuz ve ağustos aylarında miktar ve zamanlama açısından etkin olmadığı söylenebilir. Bununla birlikte, diğer aylarda ise sulama suyu kullanım etkinliğinin artırılması amacıyla su tasarrufunun yapılması önerilebilir.

Ana bitki deseni kapsamında yapılan değerlendirme, sistem performans göstergelerine benzer olup, özellikle kurak aylarda su açığı tespit edilmiştir. Ayrıca,

mahalle bazında değerler incelendiğinde, mekânsal olarak bariz bir farklılık görülmemiştir. Bu durum, sulama sistemi altında yer alan yerleşim birimlerindeki çiftçilerin, sulama alışkanlıklarının benzer olduğu ve/veya sulama yönetiminde benzer davranışlar sergiledikleri şeklinde yorumlanabilir. Bununla beraber, bitki su açığı yönünden genel olarak, her iki yıl için özellikle temmuz ayının kritik olduğu söylenebilir.

Çalışma sonuçları ışığında; sulama performansının artırılması amacıyla, sulama suyu miktarı ve sulama zamanlaması konusunda, çiftçilerin bilinçlendirilmesi gerektiği söylenebilir.

Ana bitki desenine ait K_c değerlerinin UA tabanlı tahmin edilmesi kapsamında, vejetasyon periyodunun tamamen NDVI görüntüleriyle ilişkilendirilebildiği bitkilerde; NDVI görüntülerinin $K_{c\ adj}$ değerleri ile genel olarak yüksek uyum gösterdiği söylenebilir. Ayrıca saha gerçeğine dayalı olarak K_c değerlerinin ($K_{c\ NDVI}$) tahmin edilmesinde başarılı bir şekilde kullanılabileceği tespit edilmiştir. Ancak, işlenilebilir uydu görüntü tarihlerinden önce ekim yapılan bitkilerde; NDVI ve K_c değerleri arasındaki ilişkide uyumun zayıfladığı belirlenmiştir. Bu durumun, bitkisel faktörlerden ya da veri eksikliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha doğru sonuçların elde edilebilmesi ve daha sağlıklı değerlendirme yapılabilmesi için, kesin sonuca varılamayan konularda yeni çalışmalar yapılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Akyıldız, M. H. and Yar, İ. 2024. Geotechnical properties of residual Diyarbakir basaltic clay in Turkey. *Advances in Civil Engineering*, 2024, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2024/6400129>
- Al-Bakri, J. T., D’Urso, G., Calera, A., Abdalhaq, E., Altarawneh, M. and Margane, A. 2023. Remote sensing for agricultural water management in Jordan. *Remote Sensing*, 15(1): 235. <https://doi.org/10.3390/rs15010235>
- Alessandrino, L., Giuditta, E., Faugno, S., Colombani, N., and Mastrocicco, M. 2024. Direct and remote sensing monitoring of plant salinity stress in a coastal back-barrier environment: Mediterranean pine forest stress and mortality as a case study. *Remote Sensing*, 16(17), 3150. <https://doi.org/10.3390/rs16173150>
- Allen R. G., Tasumi M. and 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.
- Allen, R., G., Burnett, B., Kramber, W., Huntington, J., Kjaersgaard, J., Kılıç, A., Kelly, C. and Trezza, R., 2013. Automated calibration of the metric-landsat evapotranspiration process. *Journal of the American Water Resources Association*, 49(3): 563-576.
- Allen, R.G. Pereira, L.S. Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Roma, pp. 300.
- Alsenjar, O., Çetin, M., Aksu, H., Gölpınar, M. S., and Akgül, M. A. 2023. Actual evapotranspiration estimation using METRIC model and Landsat satellite images over an irrigated field in the Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 5 35–49. <https://doi.org/10.1007/s42990-023-00099-y>
- Alyagut, S., M., 2024. Long-Term trends of meteorological drought over. Master Thesis, Sciences Gebze Technical University, Earth and Marine Sciences, Kocaeli, p 47.
- Anonim 1: TAGEMsuET sulama yönetimi ve bitki su tüketimi. <https://tagemsuet.tarimorman.gov.tr/pages/login> [Son erişim tarihi: 10.02.2025]
- Anonymous 1: Landsat 8 spectral specifications. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/> [Son erişim tarihi: 10.02.2025]
- Anonymous 2: Landsat 9 spectral specifications. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-instruments/landsat-9-spectral-specifications/> [Son erişim tarihi: 10.02.2025]
- Anonymous 3: Sentinel-2 bands. <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/bands/> [Son erişim tarihi: 10.02.2025]

- Arslan, F., and Zema, D. A. 2024. Performance indicators for improving irrigation management in Aegean District. *Black Sea Journal of Agriculture*, 7 176–184. <https://doi.org/10.47115/BSAGRICULTURE.1533322>
- Asaana, J., and Sadick, A. 2016. Assessment of irrigation performance using remote sensing technique at Tono irrigation area in the Upper East Region of Ghana. *International Research Journal of Agricultural and Food Sciences*, 1 79–91.
- Atasever, Ü., H. 2016. Uzaktan algılama teknolojileri kullanarak evapotranspirasyonun belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi, Doktora tezi, Kayseri, 85 s.
- Awada, H., Ciraolo, G., Maltese, A., Provenzano, G., Hidalgo, M. A. M. and Còrcoles, J. I. 2019. Assessing the performance of a large-scale irrigation system by estimations of actual evapotranspiration obtained by Landsat satellite images resampled with cubic convolution. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 75:96–105. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.10.016>
- Aydın, M., Yıldırım, M. U., Fayrap, A., and Özdal, H. 2021. Evaluation of the use of prepaid water meter on some irrigation management performance indicators: A case study. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 5 701–708. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2021.4.31>
- Ayyad, S., Al Zayed, I.S., Ha, V.T.T. and Ribbe L. 2019. The performance of satellite-based actual evapotranspiration products and the assessment of irrigation efficiency in Egypt. *Water*, 11(9):1913. <https://doi.org/10.3390/w11091913>
- Balde H., 2019. Senegal Richard Toll bölgesinde uzaktan algılama teknikleri kullanılarak evapotranspirasyonun haritalanması. Yüksek Lisans tezi, T.C. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 55 s.
- Barnabas, B., Jäger, K. and Fehér, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ.* 31:11–38.
- Bartold, M., Wróblewski, K., Kluczek, M., Dąbrowska-Zielińska, K., and Goliński, P. 2024. Examining the sensitivity of satellite-derived vegetation indices to plant drought stress in grasslands in Poland. *Plants*, 13(16), 2319. <https://doi.org/10.3390/plants13162319>
- Bastiaanssen, W. G. M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J., Roerink, G. J. and van der Wal, T. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 2: Validation. *Journal of Hydrology*, 212–213:213–229. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00254-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00254-6)
- Bastiaanssen W.G.M., Thiruvengadachari S., Sakthivadivel R. and Molden D.J. 1999. Satellite remote sensing for estimating productivities of land and water, *International Journal of Water Resources Development*, 15(1/2): 181-196.
- Bastiaanssen, W.G.M., 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 229:87-100.

- Bastiaanssen, W.G.M., Brito, R.A.L., Bos, M.G., Souza, R.A., Cavalcanti, E.B. and Bakker, M.M., 2001. Low cost satellite data for monthly irrigation performance monitoring: Benchmarks from Nilo Coelho, Brazil. *Irrigation ve Drainage Systems*, 15: 53-79.
- Beeri, O., Pelta, R., Shilo, T., Mey-Tal, S. and Tanny, J. 2019. Accuracy of crop coefficient estimation methods based on satellite imagery. Precision Agriculture 2019- Papers Presented at the 12th European Conference on Precision Agriculture, ECPA 2019, 437–444. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-888-9_54
- Begna,T., 2020. Effects of drought stress on crop production and productivity. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS)*. Volume 6, Issue 9, 2020, PP 34-43 ISSN No. (Online) 2454–6224 DOI: <https://doi.org/10.20431/2454-6224.0609005>
- Bhat, A. H., Dayal, D., Pandey, A., and Murthy, G. S. 2024. Performance evaluation of canal irrigation system at the tertiary level of Upper Ganga Canal using remote sensing. *Tropical Ecology*, 65(3): 1-18. <https://doi.org/10.1007/s42965-024-00324-1>
- Bilgen, M. 2013. Uydu görüntüsü kullanılarak evapotranspirasyonun hesaplanması. Yüksek lisans tezi, T.C. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 35 s.
- Borowik, T., Pettorelli, N., Sönnichsen, L. and Jędrzejewska, B. 2013. Normalized difference vegetation index (NDVI) as a predictor of forage availability for ungulates in forest and field habitats. *European Journal of Wildlife Research*, 59(5): 675–682.
- Bos, M.G. and Nugteren, J. 1974. On irrigation efficiencies, International Institute for Land and Reclamation and Improvement (ILRI) ILRI Publication 19, Wageningen. The Netherlands: 138 p. Revised 1990.
- Burazerovic, D., Hanan, J. S., and McVicar, T. R. 2013. Detecting the adjacency effect in hyperspectral imagery with spectral unmixing techniques. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6 1070–1078. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2013.2240656>
- Chen, X., Wang, L., Niu, Z., Zhang, M., Li ,C. and Li J. 2020. The effects of projected climate change and extreme climate on maize and rice in the Yangtze River Basin, China. *Agricultural For Meteorology*, 282-283: 107867
- Chogohe, M. H., Silungwe, F. R., Paul, A. K., and Tarimo, R. T. 2024. Irrigation performance of a water distribution system: The case of Kigugu Irrigation Scheme–Mvomero District, Morogoro Region–Tanzania. *International Journal of Industrial and Manufacturing Systems Engineering*, 9 10–24. <https://doi.org/10.11648/j.ijimse.20240901.12>
- Church, S. P., Dunn, M., Babin, N., Mase, A. S., Haigh, T. and Prokopy, L. S. 2018. Do advisors perceive climate change as an agricultural risk? An in-depth examination

- of Midwestern U.S. Ag advisors' views on drought, climate change, and risk management. *Agric. Hum. Values* 35, 349–365. doi: 10.1007/s10460-017-9827-3
- Cook, B. I., Ault, T. R. and Smerdon, J. E. 2015. Unprecedented 21st century drought risk in the American Southwest and Central Plains. *Science Advances*, 1(1): e1400082
- Çetin, M., Alsenjar, O., Aksu, H., Gölpınar, M. S., and Akgül, M. A. 2023. Comparing actual evapotranspiration estimations by METRIC to in-situ water balance measurements over an irrigated field in Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 68 1162–1183. <https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2198649>
- Çetin, Ö. 2023. Current Situation, Challenges And suggestions on Agricultural Irrigationın Middle East Countries. *Advances in Agriculture, Forestry and Aquaculture Sciences*. Platanus Publishing, Ankara, pp. 73-108.
- Çetin, Ö. Doğanay, K.H. and Bezdan, J. 2023a. Adaptation Strategies to Climate Change with Sustainable Irrigation. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*. Vol. XII, 2023. Print ISSN 2285-6064, CD-ROM ISSN 2285-6072, Online ISSN 2393-5138, ISSN-L 2285-6064
- Çetin, Ö., Fayrap, A. and Yolcu, R., 2023b. Sustainability and modernization of agricultural irrigation: A comparative assessment of two irrigation schemes. *Irrigation and Drainage*. 73:284–293. DOI: 10.1002/ird.2878
- Çetin, S., 2013. Havza bazında evapotranspirasyonun tahmininde uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 64 s.
- Droogers, P. and Bastiaanssen, W.G.M. 2002. Irrigation performance using hydrological and remote sensing modeling. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(1):11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437)
- DSİ, 2024. DSİ 2023 yılı faaliyet raporu, strateji geliştirmesi daire başkanlığı. https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/Sayfa/759/1107/DosyaGaleri/dsi_2023_yili_faaliyet_raporu.pdf. Pp. 152. (Erişim Tarihi:11.11.2024)
- Duarte G., F., T., 2022. Determination of crop coefficient (kc) based on machine learning NDVI Time Series models. Master Degree thesis, University Institute of Lisbon, Lisbon, 42 p.
- Ekici M. 2024. Bitkisel üretimde arıtılmış atıksu kullanımının çiftçi bakış açısıyla değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 63 s.
- Elnmer, A., Khadr, M., Allam, A., Kanae, S. and Tawfik, A. 2018. Assessment of irrigation water performance in the Nile Delta using remotely sensed data. *Water*, 10(10):1375. <https://doi.org/10.3390/w10101375>
- El-Shirbeny, M. A., El-Ansary, M. Y., Awad, M. A. and Badr, M. A. 2017. Estimation of crop coefficient variation through satellite VNIR spectral data. *Misr Journal of*

- Agricultural Engineering*, 34(2):829-842.
<https://doi.org/10.21608/mjae.2017.96741>
- Fahad, S., Bajwa, A.A., Nazir, U., Anjum, S.A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S., Ihsan, M.Z., Alharby, H., Wu, C., Wang, D. and Huang, J. 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Front Plant Science*. 2017 Jun 29(8):1147. doi: 10.3389/fpls.2017.01147. PMID: 28706531; PMCID: PMC5489704.
- Falkenmark, M., Lundqvist, J. and Widstrand, C. 1989. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development. *Natural Resources Forum* .13 (4): 258–267.
- FAO. 2023. Remote Sensing Determination of Evapotranspiration – Algorithms, Strengths, Weaknesses, Uncertainty and Best Fit-for-Purpose, Cairo, 125 p. <https://doi.org/10.4060/cc8150en>
- FAOSTAT, 2024. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü istatistikleri. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RL>. [Son erişim tarihi: 20.01.2025].
- Ferreira, S.; Sánchez, J.M. and Gonçalves, J.M. A. 2023. Remote-sensing-assisted estimation of water use in rice paddy fields: A study on Lis Valley, Portugal. *Agronomy*, 13:1357. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051357>
- French, A. N., Hunsaker, D. J., Sanchez, C. A., Saber, M., Gonzalez, J. R. and Anderson, R. 2020. Satellite-based NDVI crop coefficients and evapotranspiration with eddy covariance validation for multiple durum wheat fields in the US Southwest. *Agricultural Water Management*, 239:106266. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106266>.
- French, A.N., Hunsaker D.J. and Thorp, K.R. 2015. Remote sensing of evapotranspiration over cotton using the TSEB and METRIC energy balance models. *Remote Sensing of Environment*, 158: 281–294.
- Gordillo, V.M., Flores, H.M., Tijerina, L. and Arteaga, R. 2014 Estimacion de la evapotranspiracion utilizando un balance de energia e imagenes satelitales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola*. 5(1):143–155.
- Gordillo-Salinas, V. M., Arista-Cortés, J., Meraz-Maldonado, N., Ojeda-Bustamante, W., Valle-Gough, R. E., and Jiménez-Jiménez, S. I. 2024. Application of the METRIC model to estimate maize crop evapotranspiration at field scale with Google Earth Engine. *Revista de Teledetección*, 64 1–14. <https://doi.org/10.4995/raet.2024.21467>
- Gowda P.H., Chavez, J.L., Colaizzi, P.D., Evett, S.R., Howell, T.A. and Tolk, J.A. 2008. ET mapping for agricultural water management: present status and challenges. *Irrigation Science*, 26:223-237.
- Güngör Y., Erözel A.Z. ve Yıldırım O. 1996. Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1443, Ankara, 295s.

- Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C. and Ort, D. 2011. Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agronomy Journal*, 103(2):351–370. doi: 10.2134/agronj2010.0303
- Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3):295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Ihuoma, S. O., Madramootoo, C. A. and Kalacska, M. 2021. Integration of satellite imagery and in situ soil moisture data for estimating irrigation water requirements. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102(1): 102396. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102396>
- Jackson, R.D. 1984. Remote sensing of vegetation characteristics for farm management. *SPIE*, 475:81-96.
- Kamble, B., Kilic, A. and Hubbard, K. 2013. Estimating crop coefficients using remotesensing-based vegetation index. *Remote Sensing*, 5(4):1588–1602. <https://doi.org/10.3390/rs5041588>.
- Kanber R. 1997. Sulama, Çukurova Üniv. Ziraat Fak Yayınları No: 174, Adana, 530s.
- Kangalawe, R. and Lyimo, J. 2013 climate change, adaptive strategies and rural livelihoods in semiarid Tanzania. *Natural Resources*, 4(3):266-278.
- Karaca, C. 2020. Örtüaltında yaygın olarak yetiştirilen bitkilerin su tüketimlerinin enerji dengesi yöntemi ile belirlenmesi. Doktora Tezi, T.C. Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 182 s.
- Karaman, S. ve Gökalp, Z. 2010. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1): 59-66.
- Karataş, B. S., Akkuzu, E., Ünal, H. B., Aşık, Ş., and Avcı, M. 2009. Using satellite remote sensing to assess irrigation performance in Water User Associations in the Lower Gediz Basin, Turkey. *Agricultural Water Management*, 96 982–990. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.01.010>
- Karataş, B. S., Akkuzu, E., ve Aşık, Ş. 2006. Uzaktan algılama ile bitki su tüketiminin zamansal ve alansal değişiminin belirlenmesi: Menemen sulama birlikleri örneği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(3): 55–66.
- Kartal, S., Değirmenci, H., and Arslan, F. 2020. Assessment of irrigation schemes with performance indicators in Southeastern Irrigation District of Turkey. *Journal of Agricultural Sciences*, 26 138–146. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.512677>
- Kırmızıbayrak, E., Demircan, N. Ve Irmak, M.A., 2024. İklim değişikliği ile mücadelede sünger şehirler. 6th International Symposium on Innovation in Architecture, Planning and Design 9-10 November 2024, Ankara, Türkiye. pp. 153-158
- Köksal, E., S., 2007. Sulama suyu yönetiminde uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı. *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(3):306-315

- Lee, C.C., Zeng, M. and Luo, K. 2024. How does climate change affect food security? Evidence from China. *Environmental Impact Assessment Review*, 104:107324. DOI: 10.1016/j.eiar.2023.107324
- Levine, G. 1982. Relative water supply: An explanatory variable for irrigation systems, Cornell University. Ithaca, New York, USA., Technical Report No.6.
- Madugundu, R., Al-Gaadi, K. A., Tola, E., Hassaballa, A. A., and Patil, V. C. 2017. Performance of the METRIC model in estimating evapotranspiration fluxes over an irrigated field in Saudi Arabia using Landsat-8 images. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21 6135–6151. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6135-2017>
- Malachy, N., Zadak, I. and Rozenstein, O. 2022. Comparing methods to extract crop height and estimate crop coefficient from UAV imagery using structure from motion. *Remote Sensing*, 14(4):810. <https://doi.org/10.3390/rs14040810>
- Mebrie, D.W., Assefa, T.T., Yimam, A.Y. and Belay, S.A. 2023. Remote sensing approach to estimate variable crop coefficient and evapotranspiration for improved water productivity in the Ethiopian highlands. *Applied Water Science*. 13:168 <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01968-5>
- Mekonnen, Y. G., Alamirew, T., Tadesse, K. B., and Chukalla, A. D. 2024. Monitoring small-scale irrigation performance using remote sensing in the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Agricultural Water Management*, 300 108928. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108928>
- Menenti, M. and Choudhury, B. 1993. Parameterization of land surface evaporation by means of location dependent potential evaporation and surface temperature range. Proceedings of IAHS conference on Land Surface Processes, IAHS Publ. pp. 212: 561-568.
- Molden, D.J. 1997. Accounting for water use and productivity, SWIM paper 1, International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka, p.16.
- Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Perry, C.J., de Fraiture, C. and Kloezen, W. 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research report 20. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka.
- Moreno-Pérez, M.F. and Roldán-Canas, J. 2013. Assessment of irrigation water management in the Genil-Cabra (Córdoba, Spain) irrigation district using irrigation indicators. *Agricultural Water Management* 120:98–106.
- National Research Council, 2011. Division on Earth, Life Studies, Board on Atmospheric Sciences, America's Climate Choices, & Panel on Adapting to the Impacts of Climate Change. Adapting to the impacts of climate change. National Academies Press.
- Nguyen, T. N. U., Schneider, K., Ribbe, L., Nauditt, A. and Phuoc. V.N.D. 2019. Assessing the performance of irrigation system in the dominant paddy rice region of the Vu Gia Thu Bon Delta. *Journal of International Scientific Publications: Agriculture & Food*, 7:128-136. ISSN 1314-8591

- Norman J. M., Kustas W. P. and Humes K. S. 1995. A two-source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes from observations of directional radiometric surface temperature. *Agricultural For Meteorology*, 77:263–293.
- Nuru, N., Amin, A., Husen, A., and Usmaïl, A. J. 2024. Overall performance assessment of selected small-scale irrigation schemes using internal and external performance indicators in West Hararghe Zone, Eastern Ethiopia. *Heliyon*, 10 e38123. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38123>
- Park, A.B., R.N. Colwell and V.F. Meyers. 1968. Resource survey by satellite; science fiction coming true. *Yearbook of Agriculture*, pp 13–19.
- Parladır Karcı A. and Uçar Y. 2019. Use of remote sensing and geographic information systems in irrigation performance: A case study of Atabey Irrigation Scheme. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*. 6(4): 624-635 <https://doi.org/10.30910/turkjans.633537>
- Patil, V. C., Al-Gaadi, K. A., Madugundu, R., Tola, E., Marey, S., Aldosari, A., Biradar, C. M., and Gowda, P. H. 2015. Assessing agricultural water productivity in desert farming system of Saudi Arabia. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8 284–297.
- Penuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R. and Filella, I. 1997. Estimation of plant water concentration by the reflectance Water Index WI (R900/R970). *Remote Sensing*, 18(13), 2869-2875.
- Pérez Urrestarazu, L., Rodríguez Díaz, J. A., Camacho Poyato, E., Ibáñez Verdú, M., and Deltell Padilla, G. 2005. Análisis estacional y espacial del uso del agua en una zona regable. *XXIV Congreso Nacional de Riegos*, Elche, Spain.
- Perry, C.J. 1996. Quantification ve measurement of a minium set of indicators of the performance of irrigation systems, Colombo, Sri Lanka: International Irrigation Manag. Institute.
- Prudhomme, C., Giuntoli, I., Robinson, E. L., Clark, D. B., Arnell, N. W., Dankers, R., Fekete, B. M., Franssen, W., Gerten, D., Gosling, S. N., Hagemann, S., Hannah, D. M., Kim, H., Masaki, Y., Satoh, Y., Stacke, T., Wada, Y. and Wisser, D. 2014. Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111: 3262–3267
- Rahman, M. A., Islam, M. A., Hossain, S. A., and Others. 2024. Overall performance assessment of selected small-scale irrigation schemes. *Heliyon*, 10 e14154. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e14154>
- Rana, G. and Katerji, N. 2000. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: A review. *European Journal of Agronomy*, 13(2–3): 125–153.
- Reyes-Gonzalez, A., Kjaersgaard, J., Trooien, T., Hay, C. and Ahiablame, L. 2017. Comparative analysis of METRIC model and atmometer methods for estimating

- actual evapotranspiration. *International Journal of Agronomy*, 1(1):1-16. <https://doi.org/10.1155/2017/3632501>
- Reyes-Gonzalez, A., Kjaersgaard, J., Trooien, T., Hay, C., and Ahiablame, L. 2018. Estimation of crop evapotranspiration using satellite remote sensing-based vegetation index. *Advances in Meteorology*, Article ID 4525021. <https://doi.org/10.1155/2018/4525021>
- Reyes-González, A., Kjaersgaard, J., Trooien, T., Reta-Sánchez, D. G., Sánchez-Duarte, J. I., Preciado-Rangel, P. and Fortis-Hernández, M. 2019. Comparison of leaf area index, surface temperature and actual evapotranspiration estimated using the METRIC Model and in situ measurements. *Sensors*, 19(8); 1857. <https://doi.org/10.3390/s19081857>.
- Roerink G.J., Su Z. and 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.
- Roerink, G.J., Bastiaanssen, W.G.M., Chambouleyron, J. and Menenti, M., 1997. Relating Crop water Consumption to Irrigation Water Supply by Remote Sensing, *Water Resources Management*, 11:445-465.
- Rosell J.R. and Sanz R. 2012. A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. *Computers and Electronics in Agriculture*, 81(1):124–141. DOI: 10.1016/j.compag.2011.09.007
- Salinas, V.M.G., Cortes, J.A., Maldonado, N.M., Ojeda, W., Gough, R.E.V. and Jimenez, S.I.J. 2024. Application of the METRIC model to estimate Maize crop evapotranspiration at field scale with Google Earth Engine. *Evista De Teledetección*, 64(1):1- 14.
- Santos, C., Lorite, I. J., Tasumi, M., Allen, R. G. and Fereres, E. 2010. Performance assessment of an irrigation scheme using indicators determined with remote sensing techniques. *Irrigation Science*, 28:461-477. DOI 10.1007/s00271-010-0207-7
- Seckler, D., Amarasinghe, U., Molden, D., de Silva, R., & Barker, R. (1998). World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and issues (Research Report No. 19). International Water Management Institute.
- Shao, G., Han, W., Zhang, H., Zhang, L., Wang, Y. and Zhang, Y. 2023. Prediction of maize crop coefficient from UAV multisensor remote sensing using machine learning methods. *Agricultural Water Management*, 276:108064. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108064>
- Sidhu, B.S. 2022. Half the world is facing water scarcity, floods and dirty water - large investments are needed for effective solutions. IPCC REPORT, from <https://www.preventionweb.net/news/ipcc-report-half-world-facing-water-scarcity-floods-and-dirty-water-large-investments-are> [Son erişim tarihi: 20.01.2025].

- Singh, R. K. and Senay, G. B. 2016. Comparison of four different energy balance models for estimating EvapoTranspiration in the Midwestern United States. *Water (Switzerland)*, 8(1):1–19. <https://doi.org/10.3390/w8010009>
- Smith, M. 1992. CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Solano-Alvarez, N., Valencia-Hernández, J. A., Vergara-Pineda, S., Millán-Almaraz, J. R., Torres-Pacheco, I., and Guevara-González, R. G. 2022. Comparative analysis of the NDVI and NGBVI as indicators of the protective effect of beneficial bacteria in conditions of biotic stress. *Plants*, 11(7), 932. <https://doi.org/10.3390/plants11070932>
- Su Z. 2002. The surface energy balance system (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(1):85–99.
- Tiruye, A., Dittthakit, P., Pham, Q. B., Wipulanusat, W., Weesakul, U. and Thongkao, S. 2024. Assessing water consumption pattern and delivery irrigation performance indicators using the WaPOR portal under data-limited conditions, Ethiopia. *Engineered Science*, 28:1046. <https://doi.org/10.30919/es1046>
- Toureiro, C., Serralheiro, R., Shahidian, S. and Sousa, A. 2017. Irrigation management with remote sensing: Evaluating irrigation requirement for maize under Mediterranean climate condition. *Agricultural Water Management*, 184:211–220. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.010>
- TUİK, 2024a. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları, 2023. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2023-49684> . [Son erişim tarihi: 11.11.2024].
- TUİK, 2024b. TUİK. 2019a. Bitkisel üretim istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111>. [Son erişim tarihi: 11.11.2024].
- Tunca, E., and Köksal, E. S. 2022. Silajlık mısırdaki uydu görüntülerinden elde edilen bitki su tüketimi verileri ile verim tahmini. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 37 127–150. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.888484>
- Tunca, E., Koksall, E.S. and Cetin, S. 2023. Silage maize yield estimation by using planetscope, sentinel-2A and landsat 8 OLI satellite images. *Smart Agricultural Technology*, 4:100165. ISSN 2772-3755, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100165>
- United Nations, 2024. World population prospects 2024 summary of results. Department of Economic and Social Affairs Population Division, New York, pp. 64.
- USDA, 2024. International food security assessment, 2024–34. Economic Research Service_U.S. Department of Agriculture, pp.57.

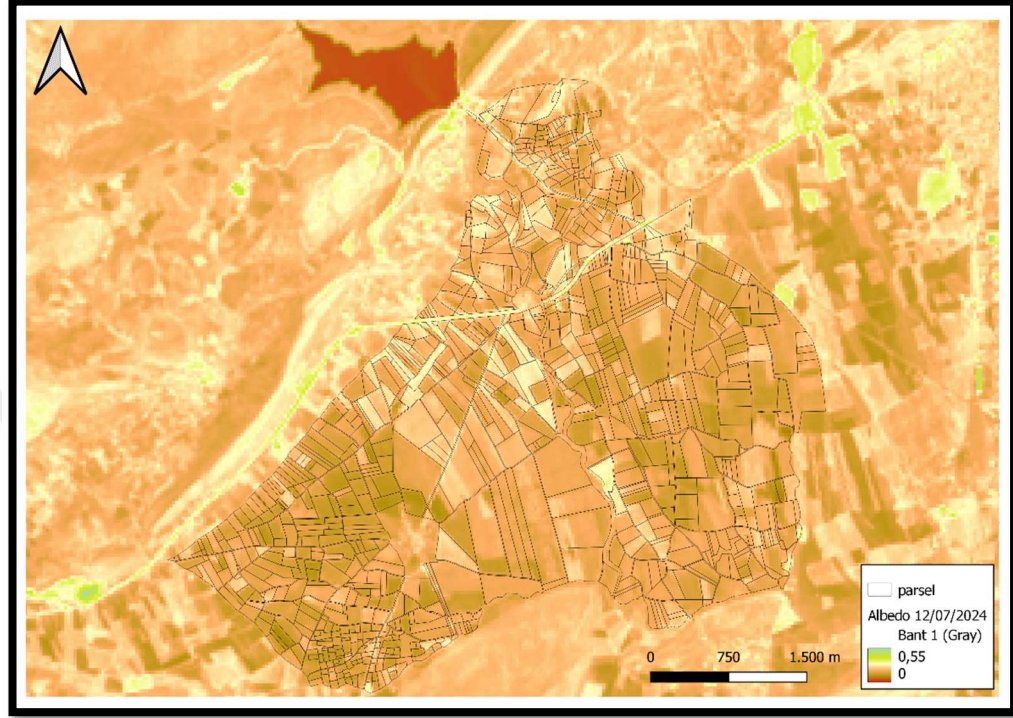
- Uslu, Ş. 2024. İklim Değişikliğinin su kaynakları üzerine olası etkisinde Devlet Su İşleri'nin rolü. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, 47 s.
- Wakena, Y., Adeba, D., Mosisa, G., and Abebe, K. 2023. Performance evaluation of small scale irrigation system in case of Degero and Gura Daso, Nejo District, West Wallaga, Oromia, Ethiopia. *Frontiers*, 3 24–35. <https://doi.org/10.11648/j.frontiers.20230303.11>
- Wang, D., Hejazi, M., Cai, X. and Valocchi, A. J. 2011. Climate change impact on meteorological, agricultural, and hydrological drought in central Illinois. *Water Resour. Res.* 47(9): W09527. doi: 10.1029/2010WR009845
- Weller, J.A. 1991. An evaluation of the Porac River Irrigation System. *Irrigation and Drainage Systems*, 5:1-17.
- Xue, J., Bali, K. M., Light, S., Hessels, T. and Kisekka, I. 2020. Evaluation of remote sensing-based evapotranspiration models against surface renewal in almonds, tomatoes and maize. *Agricultural Water Management*, 238:106228. ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106228>.
- Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. 2000. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica* 38(2):171–186. doi: 10.1023/A:1007201411474
- Yordanova, M., Ivanova, K., and Georgiev, T. 2024) Impact of high temperature stress on winter wheat yield and NDVI dynamics in Southern Dobrudzha region. *Agriculture*, 15(4), 394. <https://doi.org/10.3390/agriculture15040394>
- Yuan, X., Li, S., Chen, J., Yu, H., Yang, T., Wang, C., Huang, S., Chen, H. and Ao, X. 2024. Impacts of global climate change on agricultural production: A comprehensive review. *Agronomy*, 14(7):1360. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071360>
- Yücer, A.A. 2020. The Land Use in Turkey: A general assessment and affecting factors. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8:102-116. ISSN Online: 2327-4344.
- Zhang, H., Wang, Z., Yu, S., Teng, A., Zhang, C., Lei, L., Ba, Y. and Chen, X. 2023. Crop coefficient determination and evapotranspiration estimation of watermelon under water deficit in a cold and arid environment. *Frontier in Plant Science*. 14:1153835. doi: 10.3389/fpls.2023.1153835.
- Zhang, H., Anderson, R. G. and Wang, D., 2015. Satellite-based crop coefficient and regional water use estimates for Hawaiian sugarcane. *Field Crops Research*, 180:143-154.
- Zhang, J., Kang, S. and Ward, E. 2020. Precision irrigation and water management for sustainable agriculture. *Journal of Agricultural Water Management*, 242:106362.
- Zhao, M. and Boll, J. 2022. Adaptation of water resources management under climate change. *Frontiers in Water*, 4:983228. doi: 10.3389/frwa.2022.983228

- Zwart, S. J. and Leclert, L. M. C. 2010. A remote sensing-based irrigation performance assessment: A case study of the Office du Niger in Mali. *Irrigation Science*, 28(4):371–385. <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0199-3>
- Zhang, H., Wang, Z., Yu, S., Teng, A., Zhang, C., Lei, L., Ba, Y. and Chen, X. 2023. Crop coefficient determination and evapotranspiration estimation of watermelon under water deficit in a cold and arid environment. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1153835. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.115383>

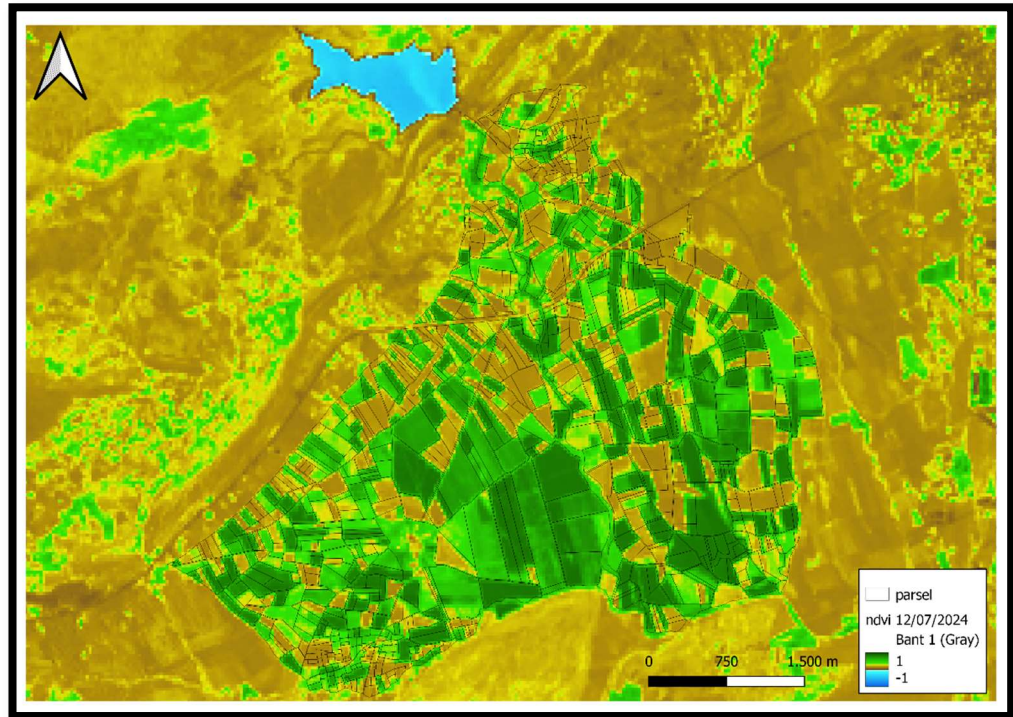


7. EKLER

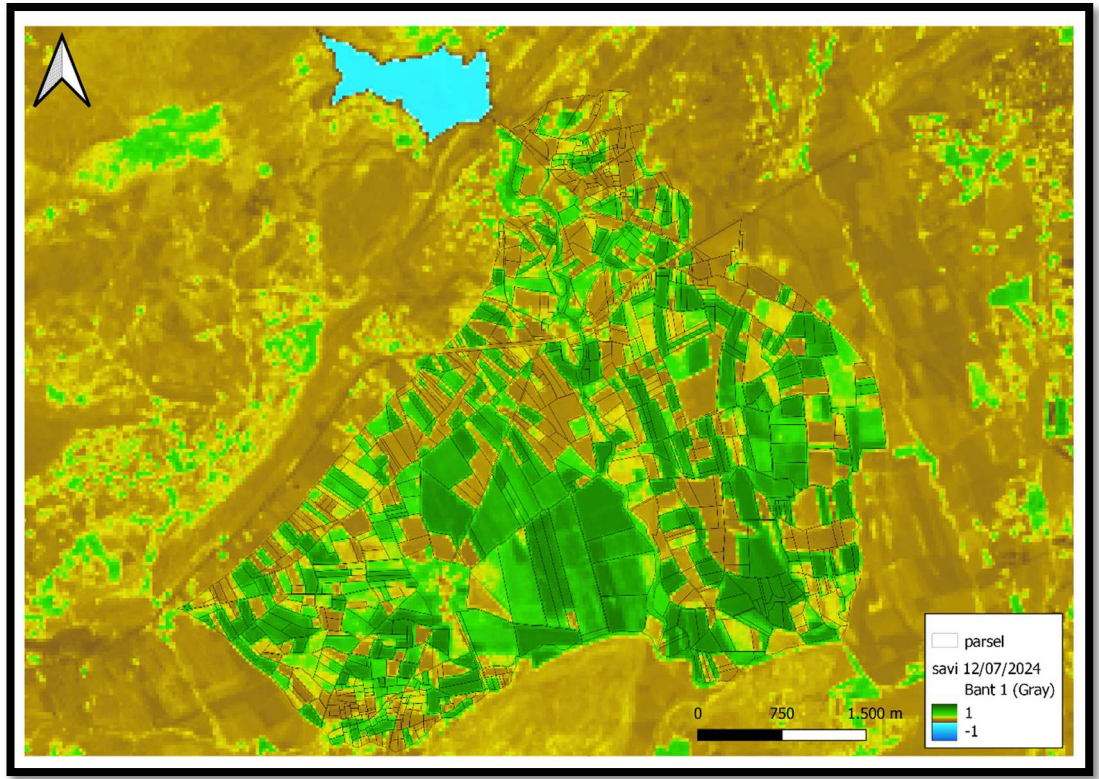
EK-1 METRIC modelde anlık bitki su tüketimi ve bu amaçla oluşturulan bazı parametrelerin haritaları (12/07/2024 tarihli)



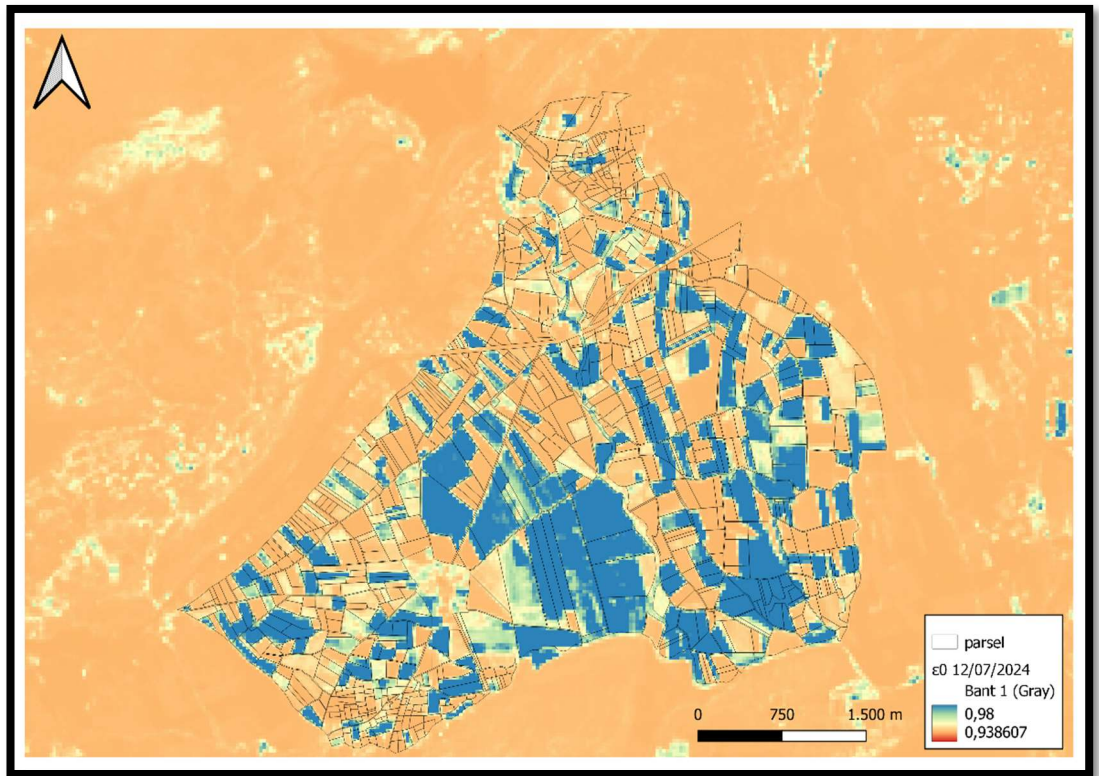
Şekil 7.1. Çalışma alanına ait anlık albedo haritası



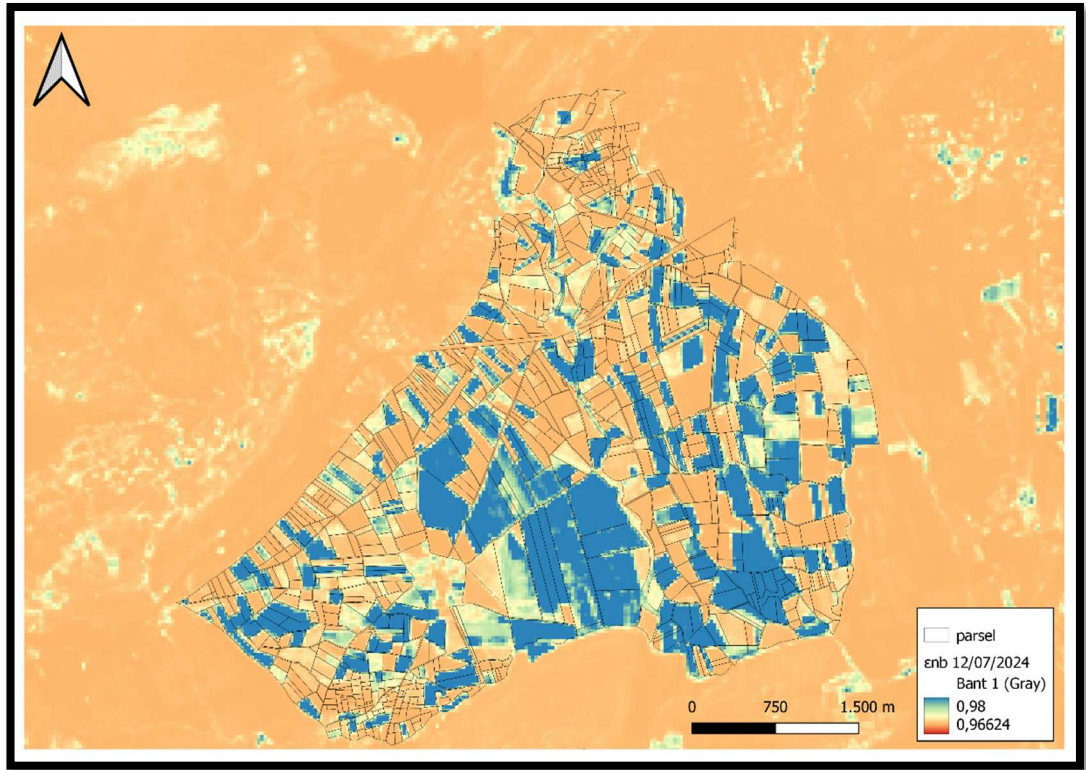
Şekil 7.2. Çalışma alanına ait anlık NDVI haritası



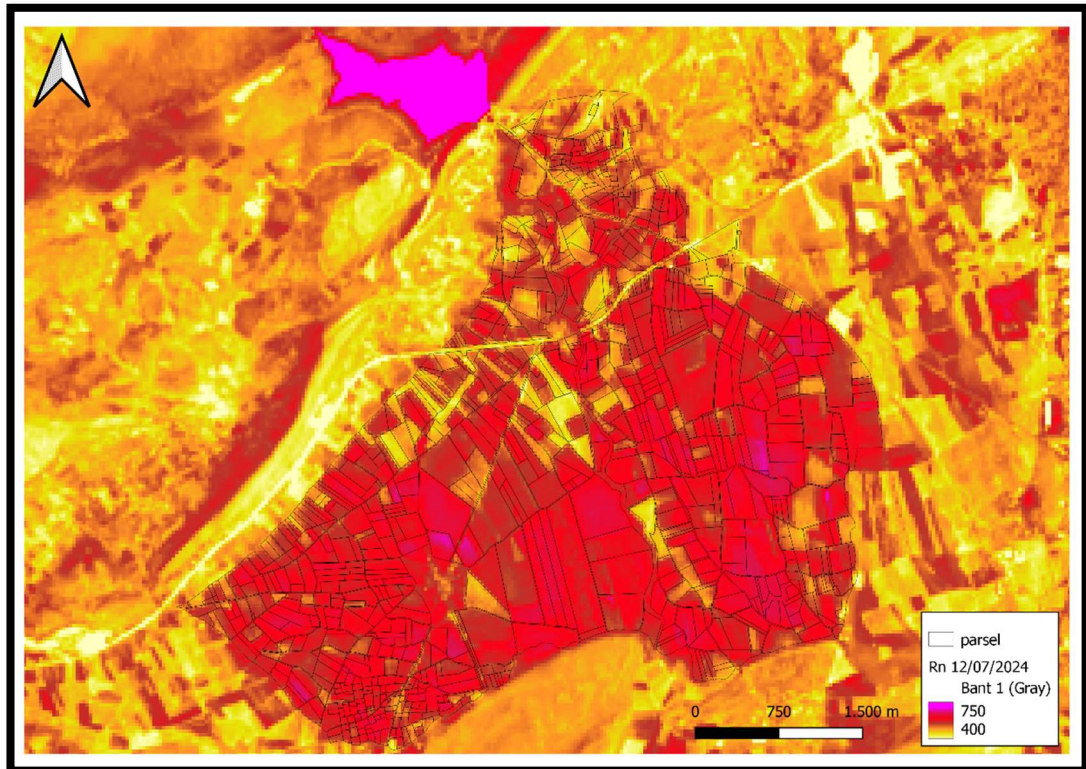
Şekil 7.3. Çalışma alanına ait anlık SAVI haritası



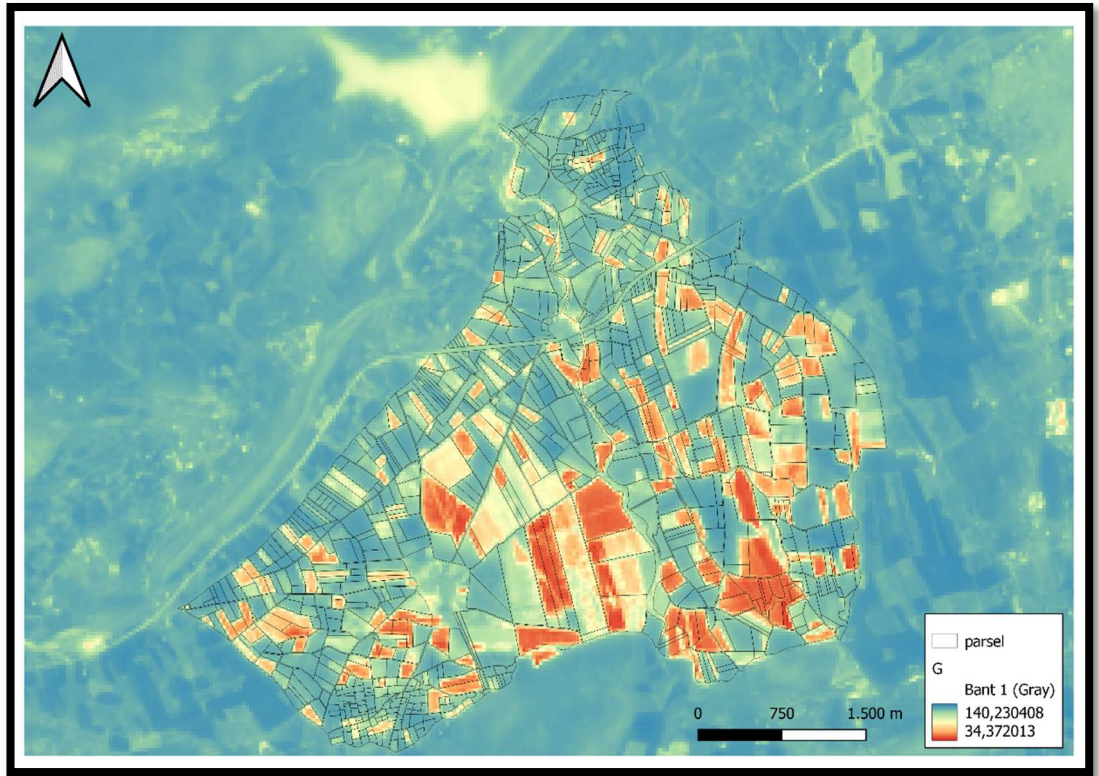
Şekil 7.4. Çalışma alanına ait geniş bant yüzey termal emisivite haritası



Şekil 7.5. Çalışma alanına ait dar bant yüzey termal emisivite haritası



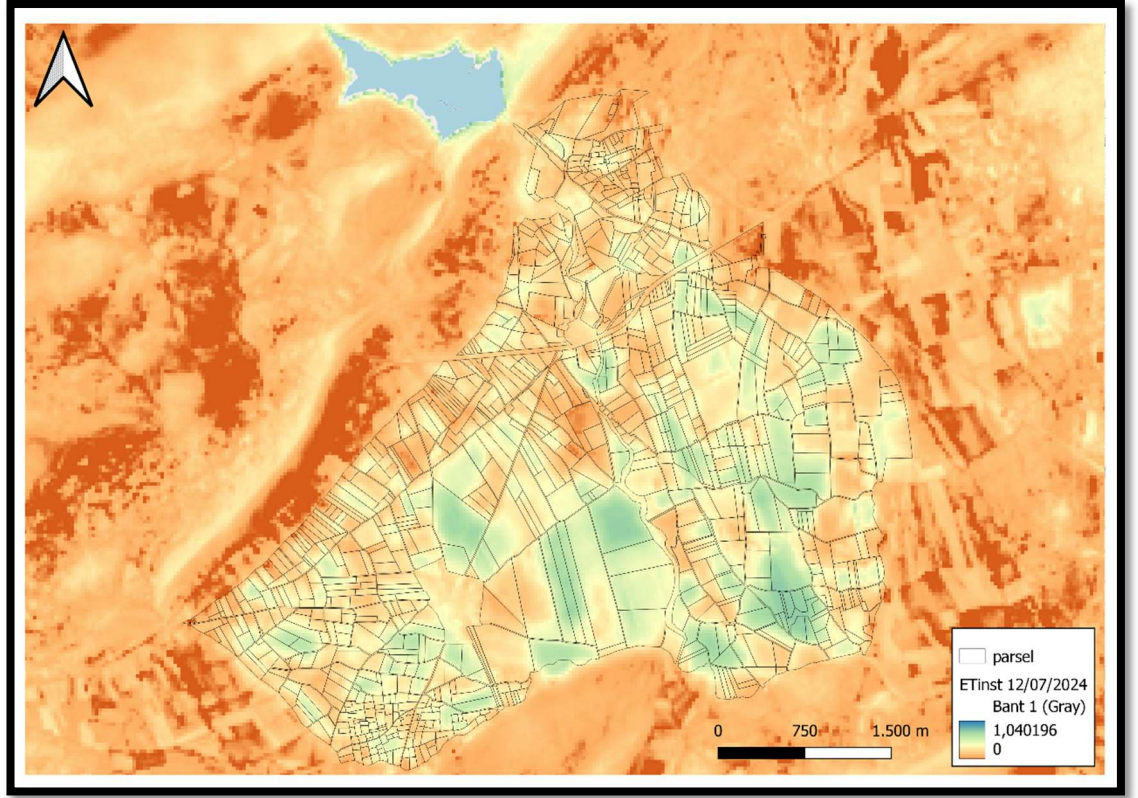
Şekil 7.6. Çalışma alanına ait anlık net radyasyon haritası



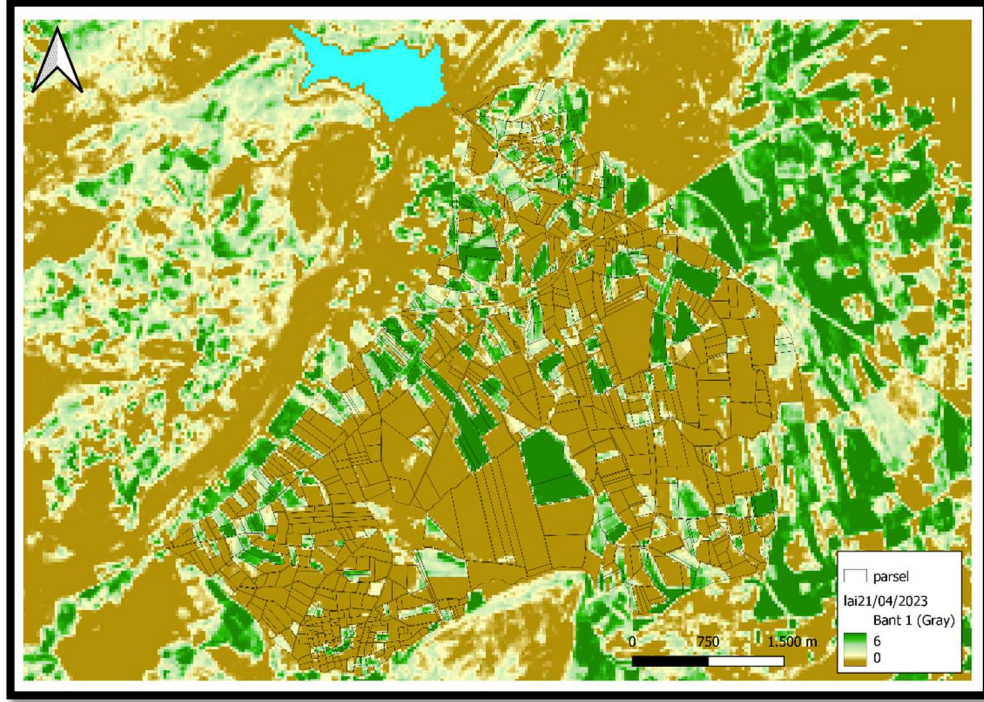
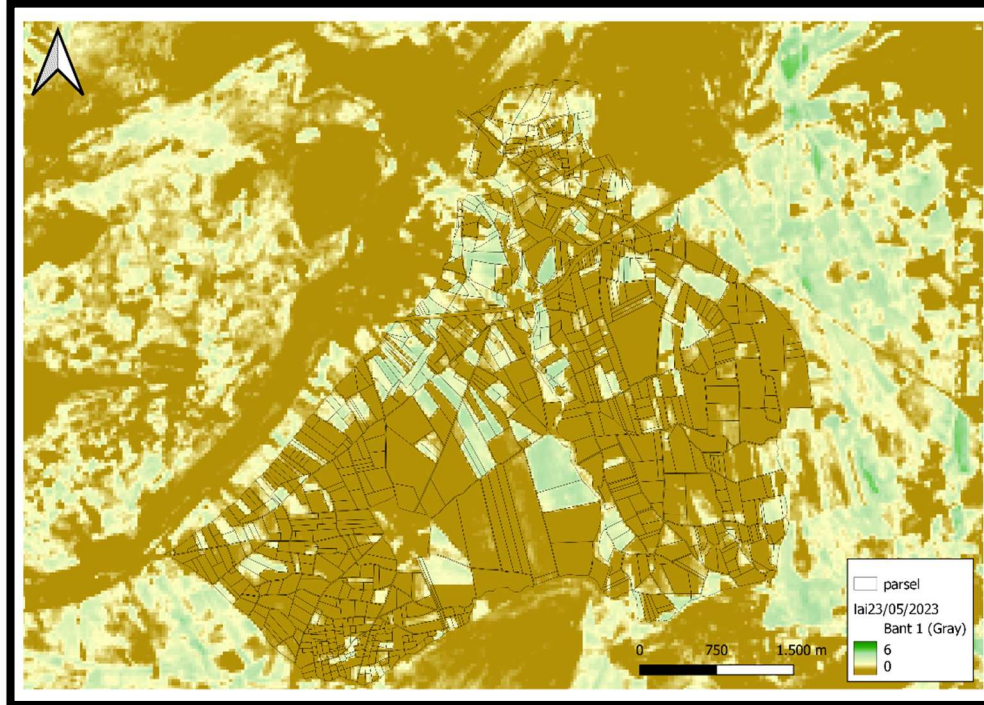
Şekil 7.7. Çalışma alanına ait yıllık toprak ısı akısı haritası

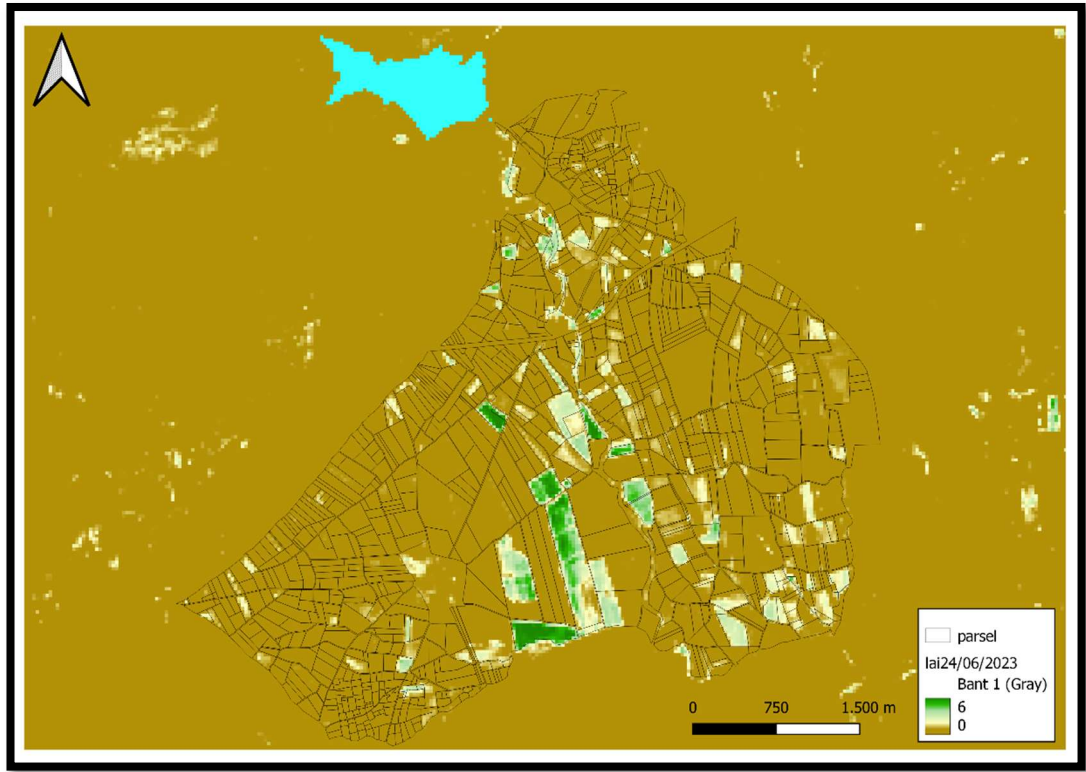


Şekil 7.8. Çalışma alanına ait yıllık hissedilir ısı akısı haritası

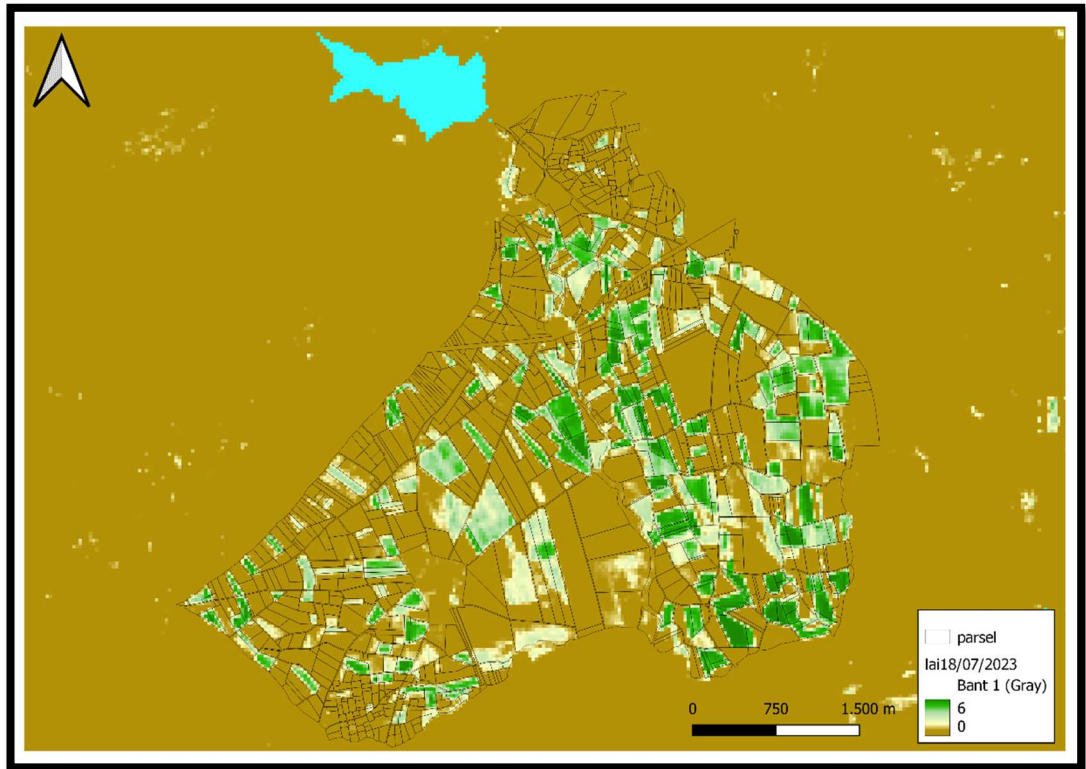


Şekil 7.9. Çalışma alanına ait anlık bitki su tüketimi haritası

EK-2 Landsat 8-9 Uydu Görüntülerinden Oluşturulan Yaprak Alan İndeksi (LAI) Haritaları**Şekil 7.10. 21/04/2023 LAI haritası****Şekil 7.11. 23/05/2023 LAI haritası**



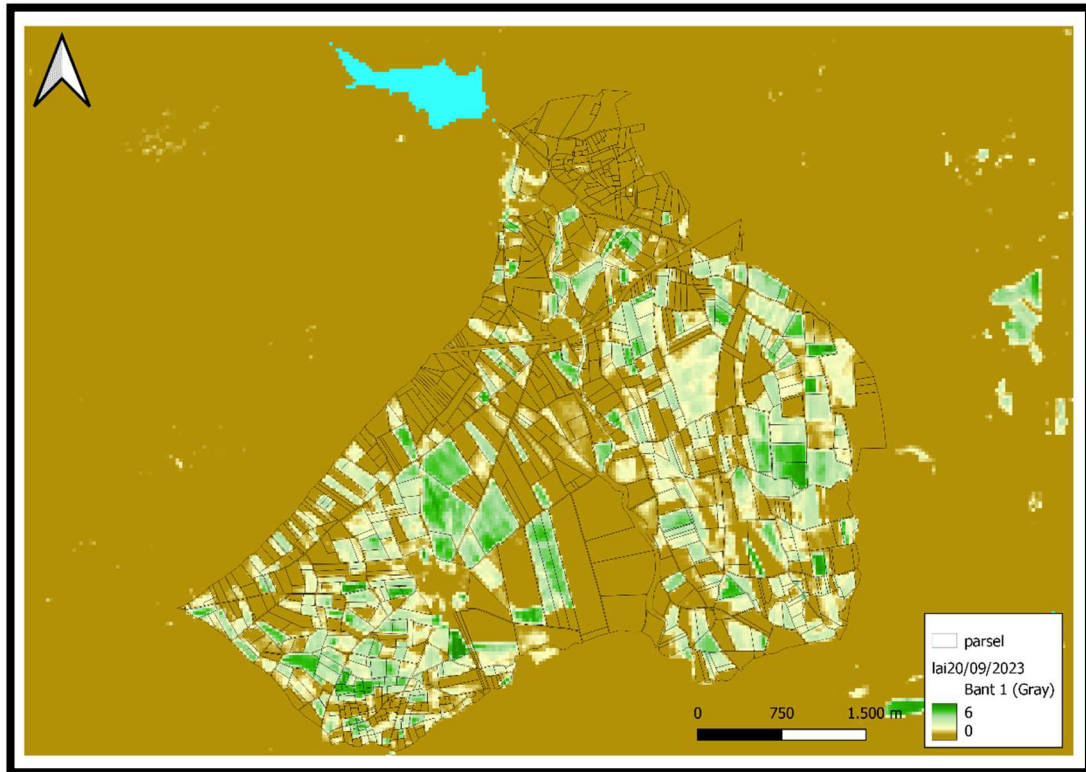
Şekil 7.12. 24/06/2023 LAI haritası



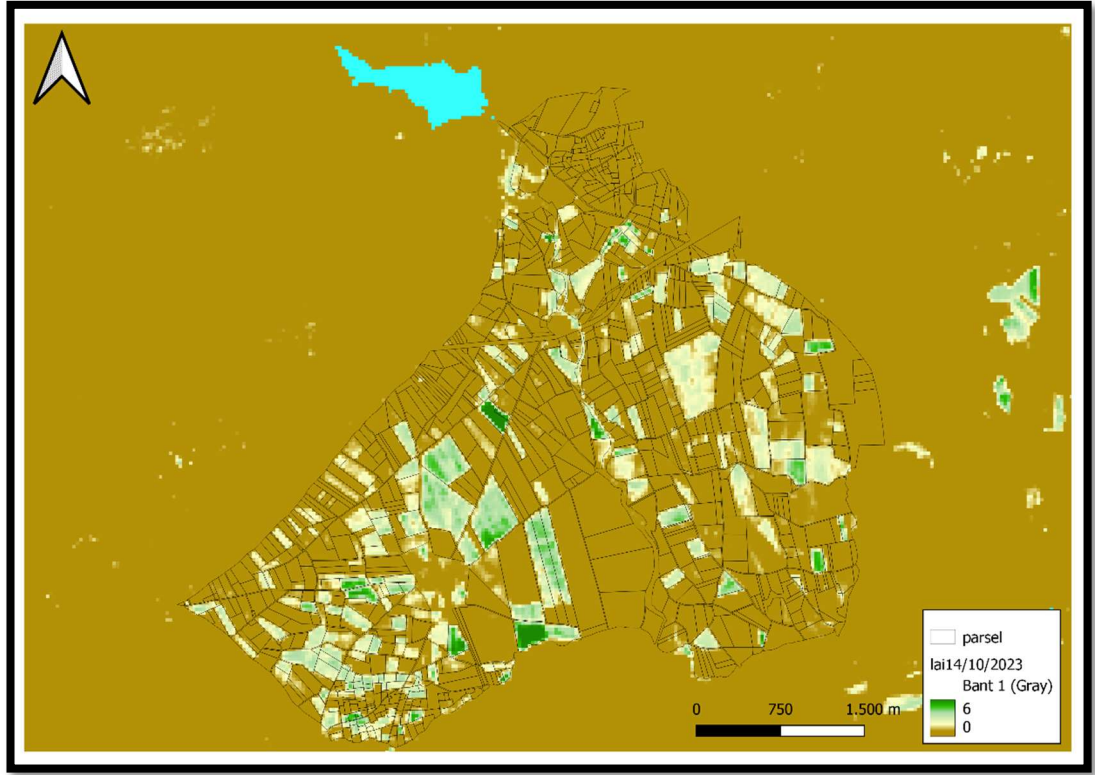
Şekil 7.13. 18/07/2023 LAI haritası



Şekil 7.14. 19/08/2023 LAI haritası



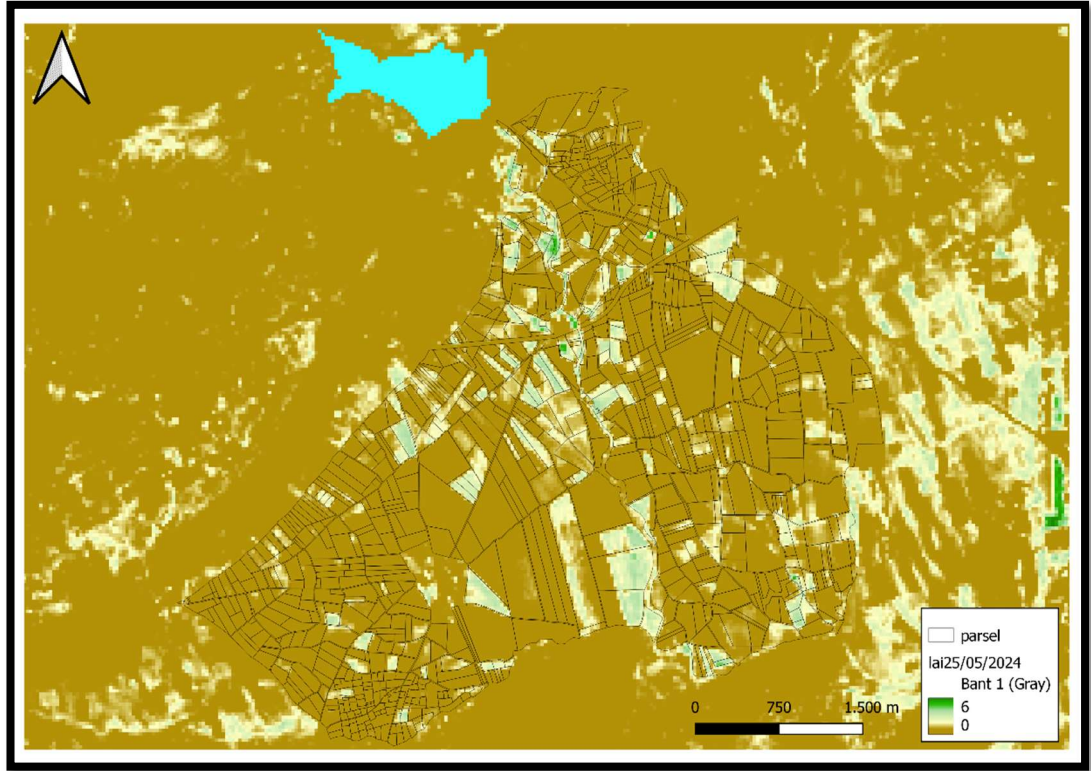
Şekil 7.15. 20/09/2023 LAI haritası



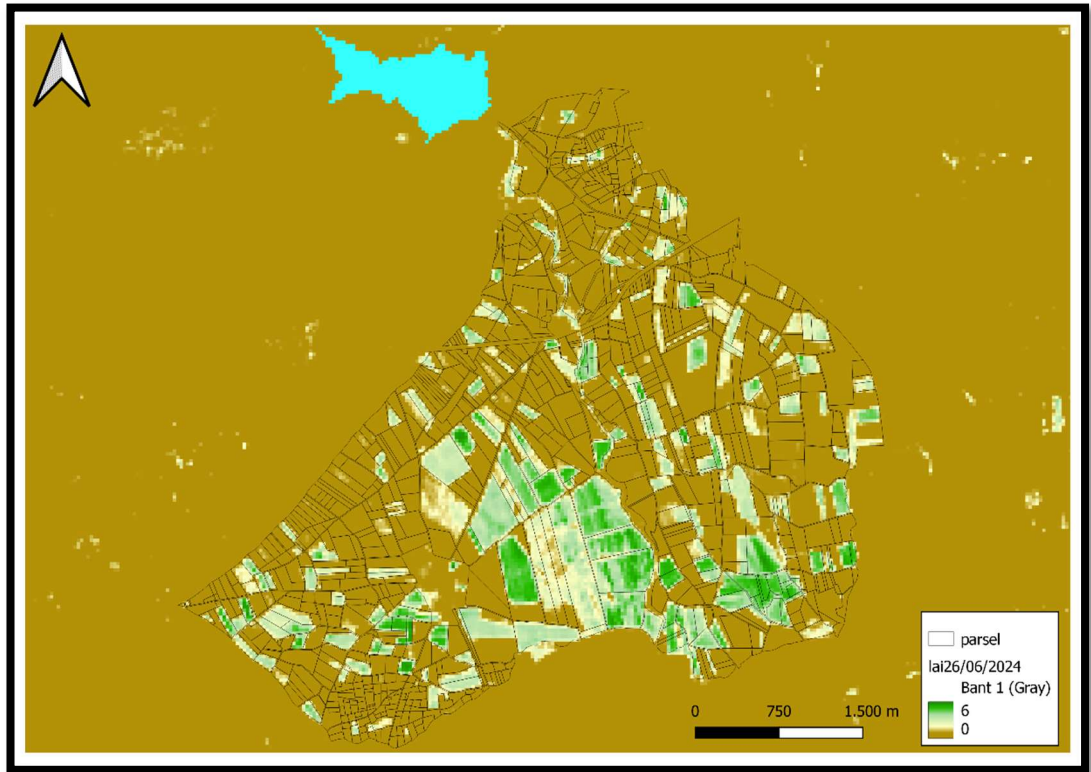
Şekil 7.16. 14/10/2023 LAI haritası



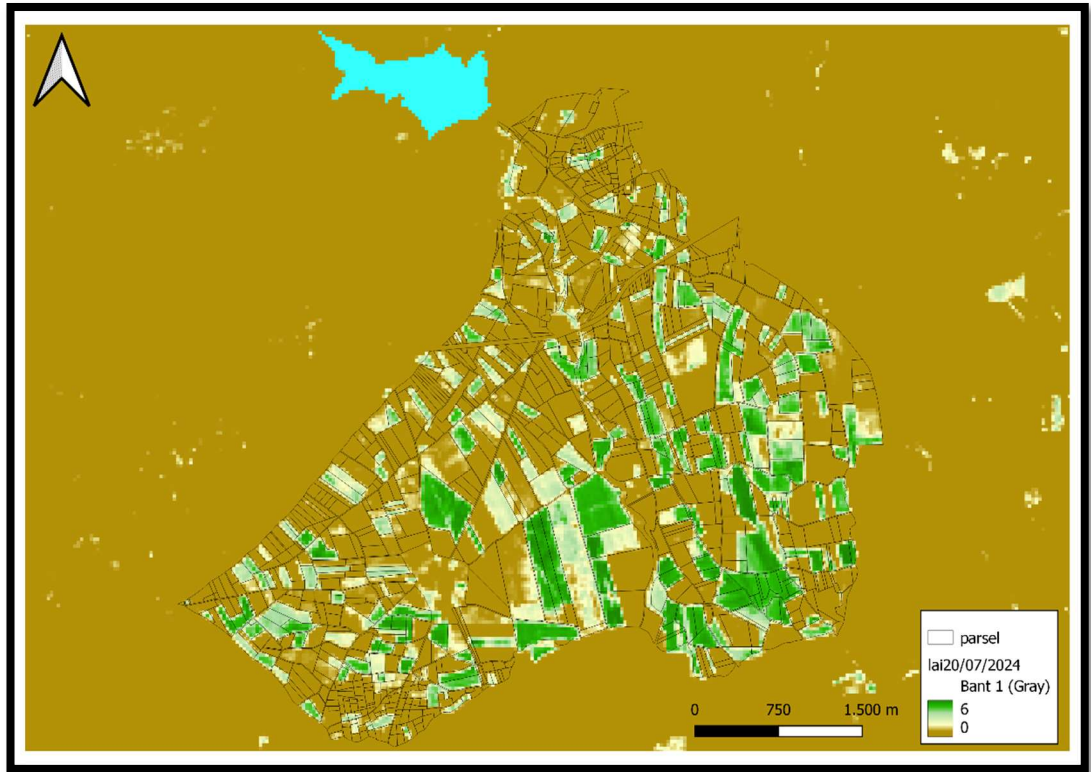
Şekil 7.17. 09/05/2024 LAI haritası



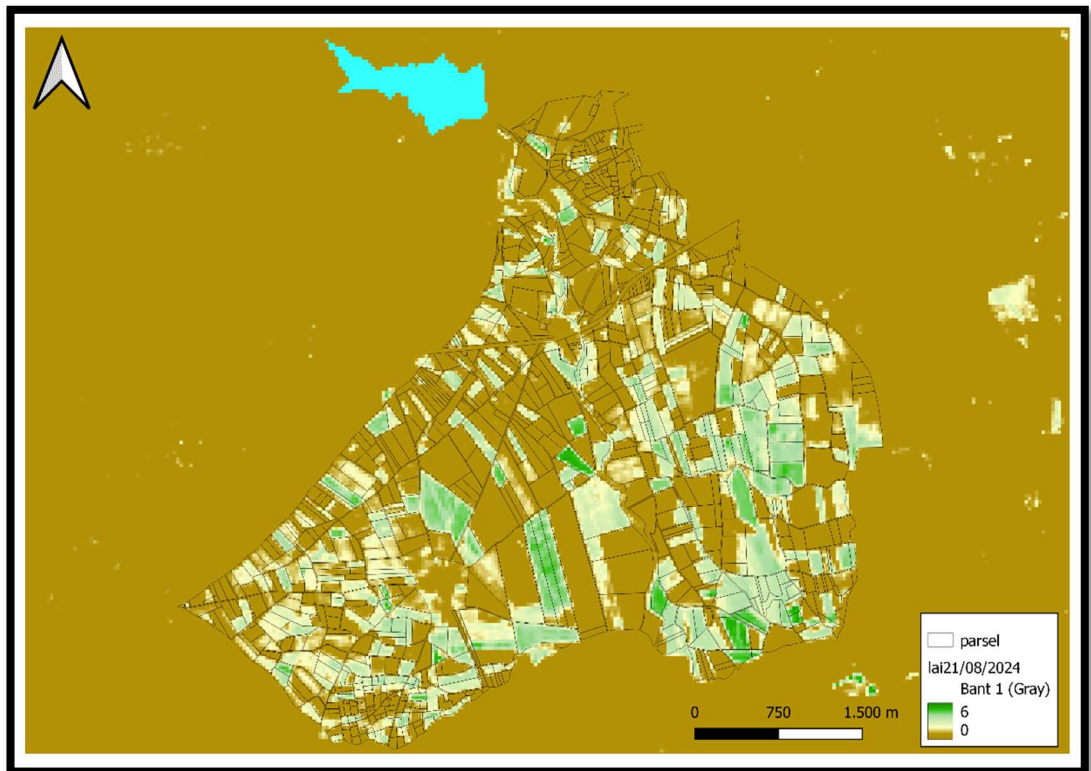
Şekil 7.18. 25/05/2024 LAI haritası



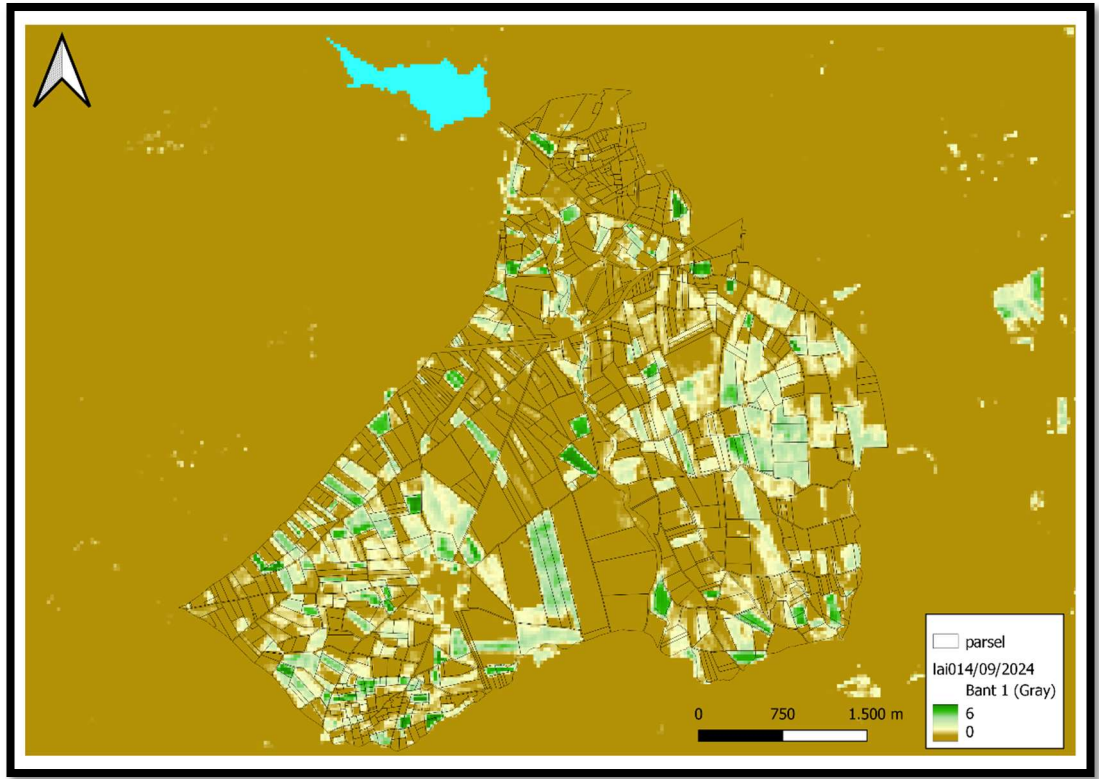
Şekil 7.19. 26/06/2024 LAI haritası



Şekil 7.20. 20/07/2024 LAI haritası



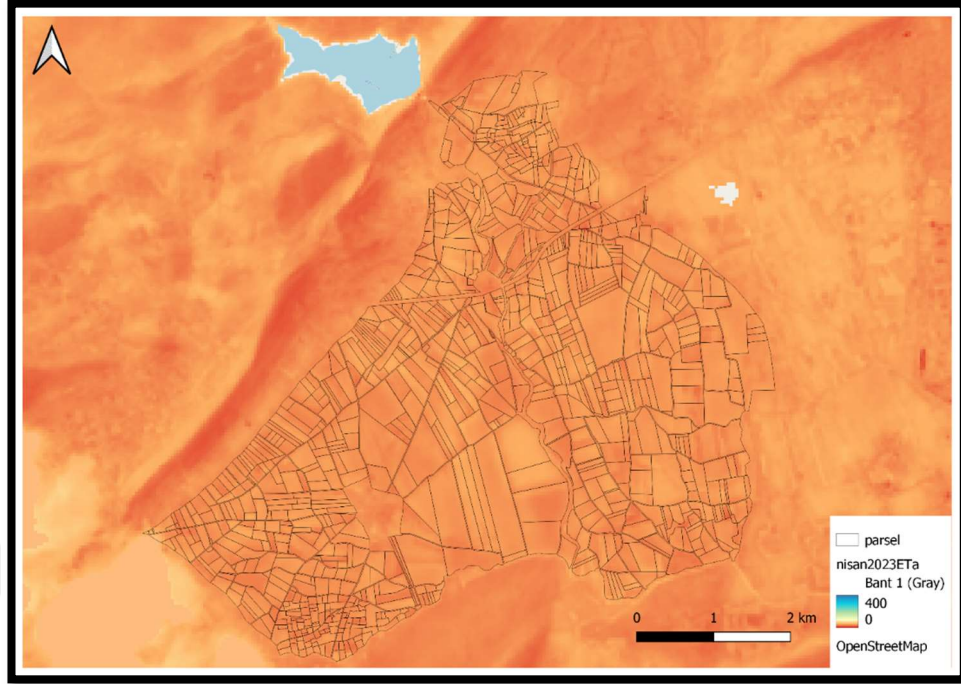
Şekil 7.21. 21/08/2024 LAI haritası

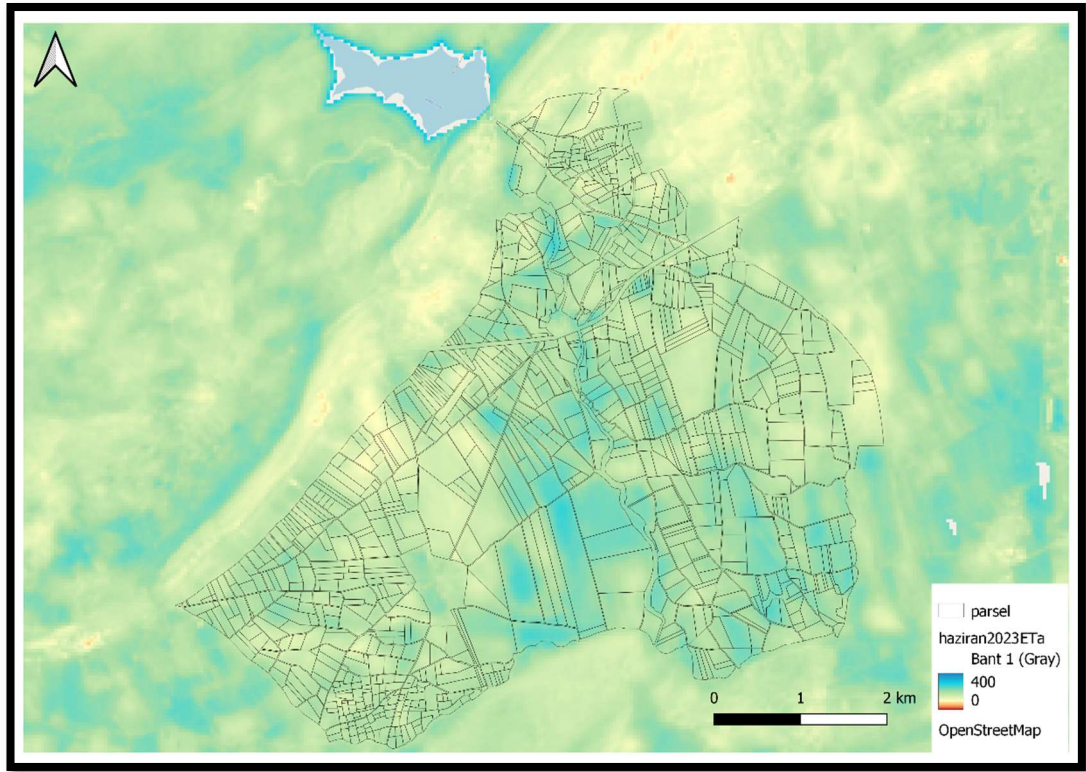


Şekil 7.22. 14/09/2024 LAI haritası

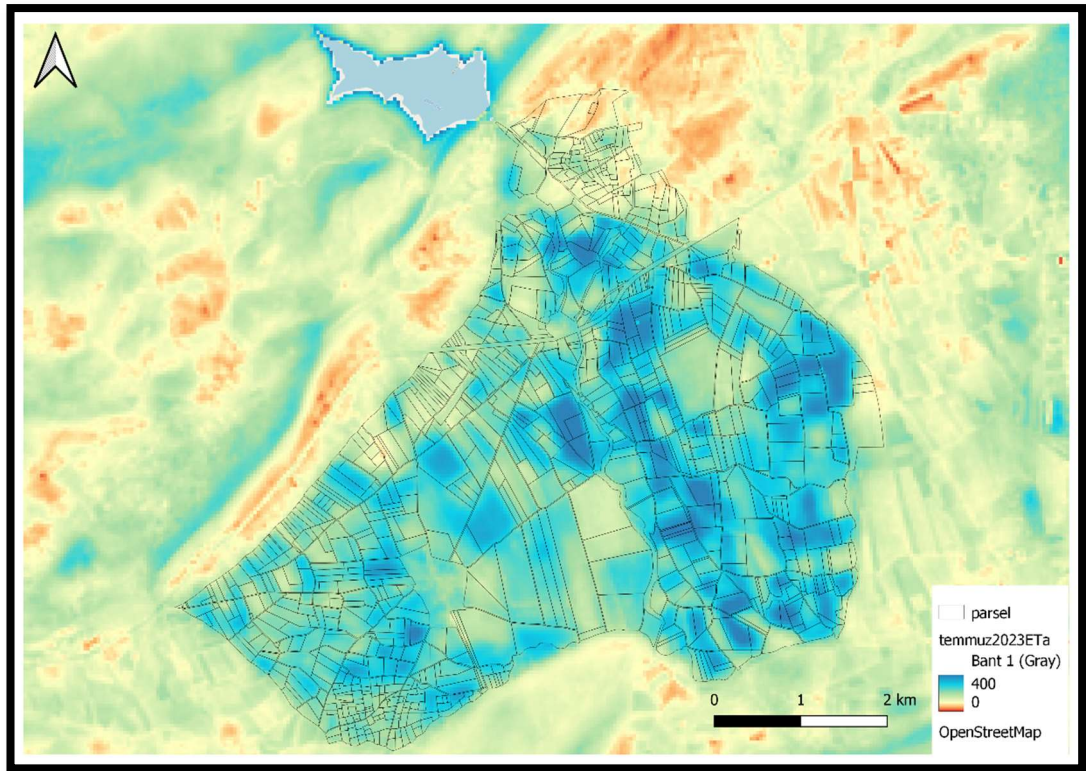


Şekil 7.23. 16/10/2024 LAI haritası

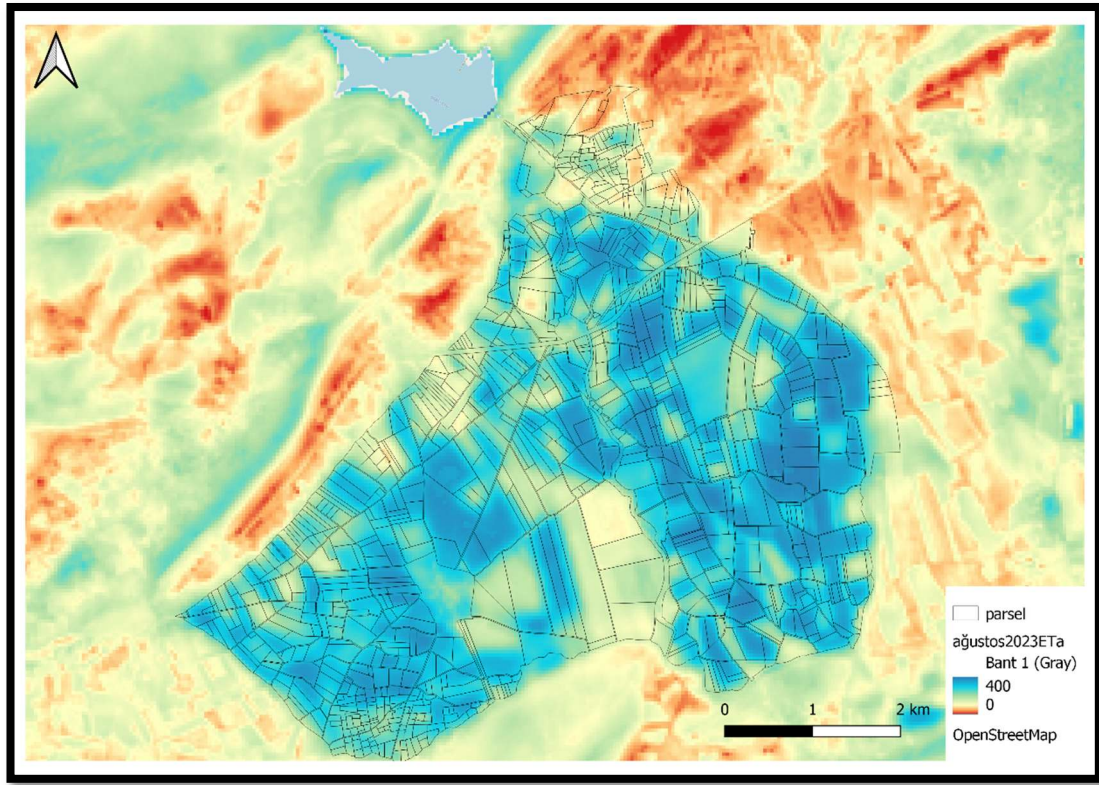
EK-3 Landsat 8-9 Uydu Görüntülerinden METRIC Modeliyle Oluşturulan Aylık ET_a Haritaları**Şekil 7.24.** Nisan 2023 Aylık ET_a Haritası**Şekil 7.25.** Mayıs 2023 Aylık ET_a Haritası



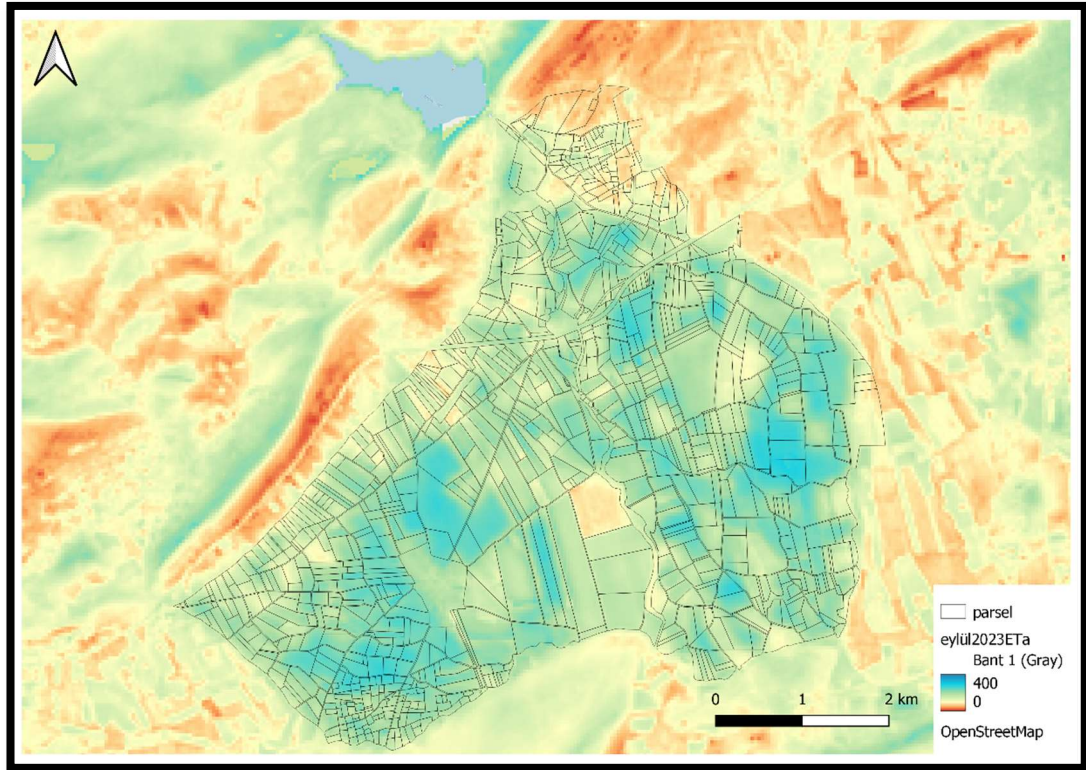
Şekil 7.26. Haziran 2023 Aylık ET_a Haritası



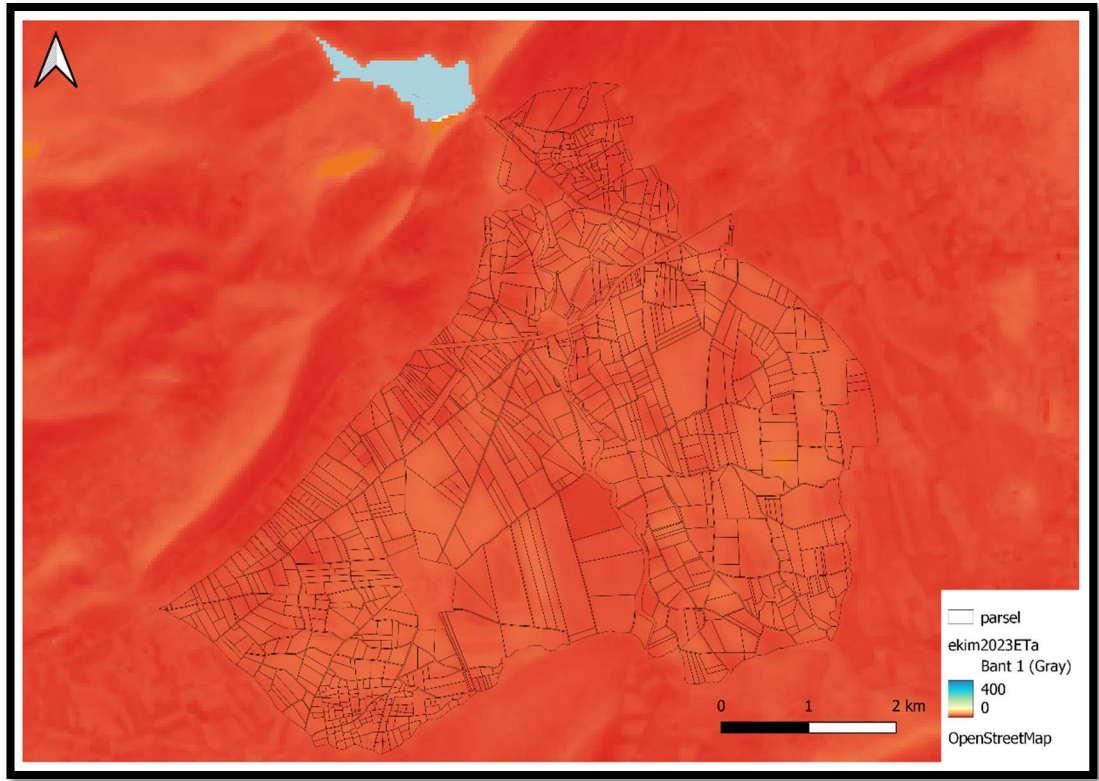
Şekil 7.27. Temmuz 2023 Aylık ET_a Haritası



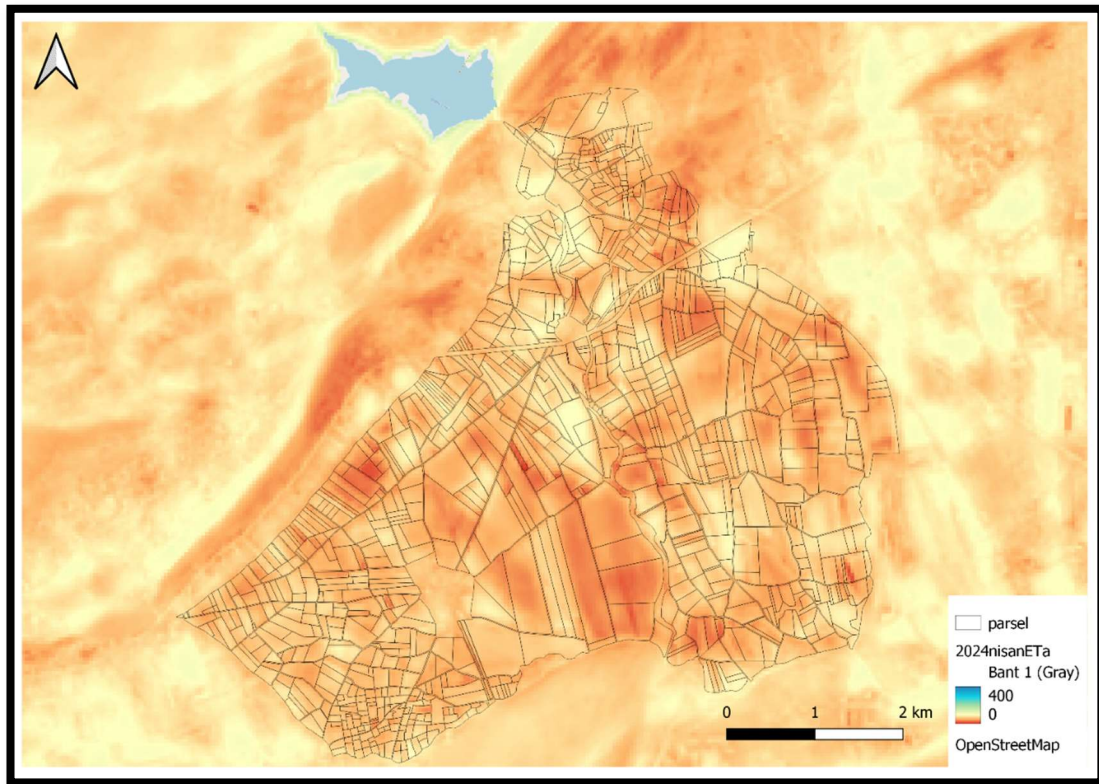
Şekil 7.28. Ağustos 2023 Aylık ET_a Haritası



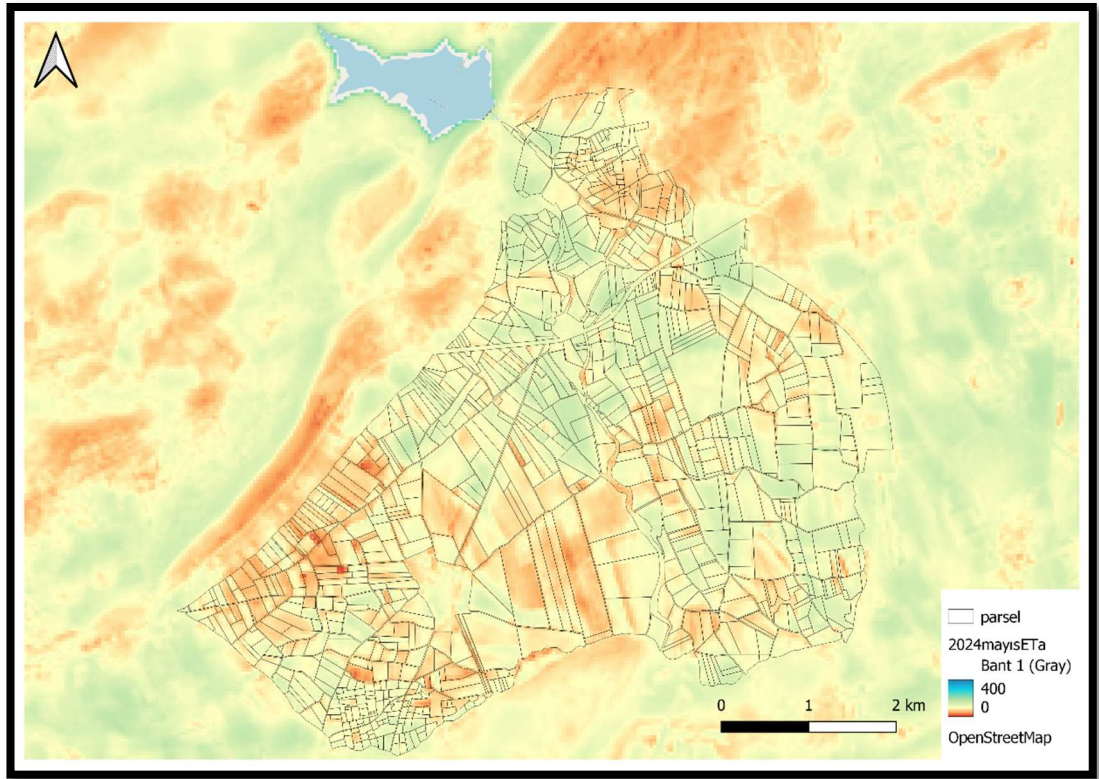
Şekil 7.29. Eylül 2023 Aylık ET_a Haritası



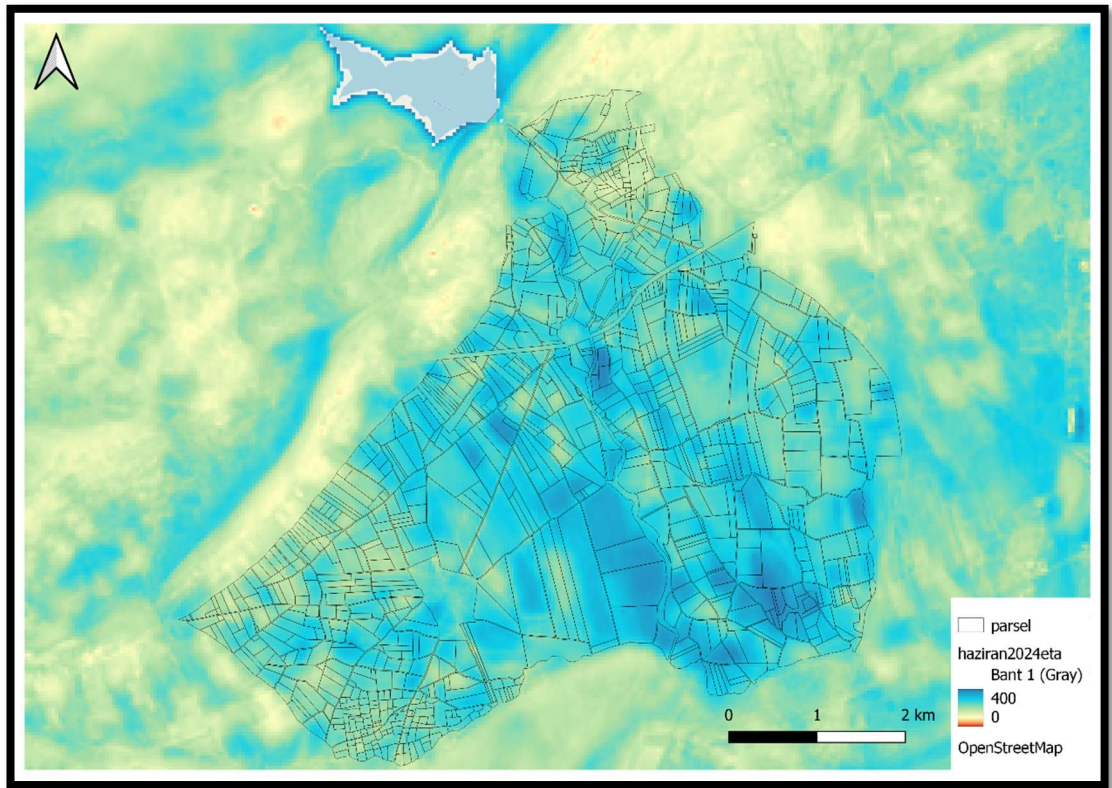
Şekil 7.30. Ekim 2023 Aylık ET_a Haritası



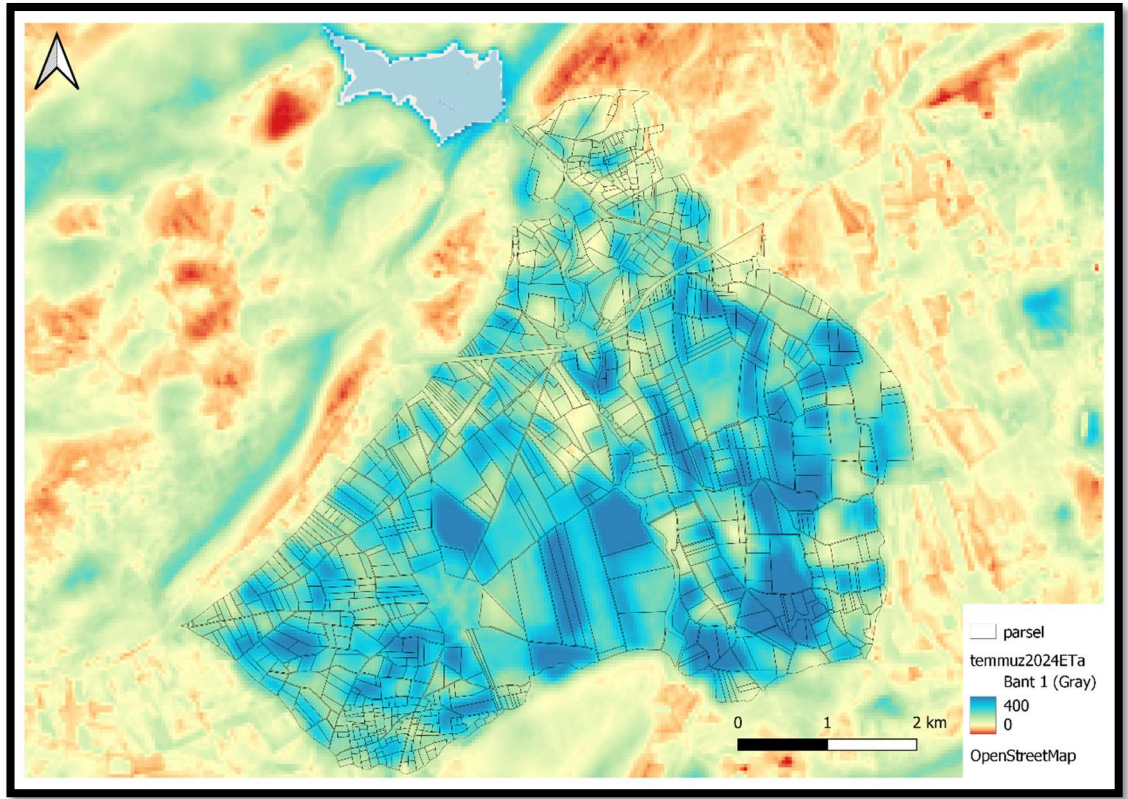
Şekil 7.31. Nisan 2024 Aylık ET_a Haritası



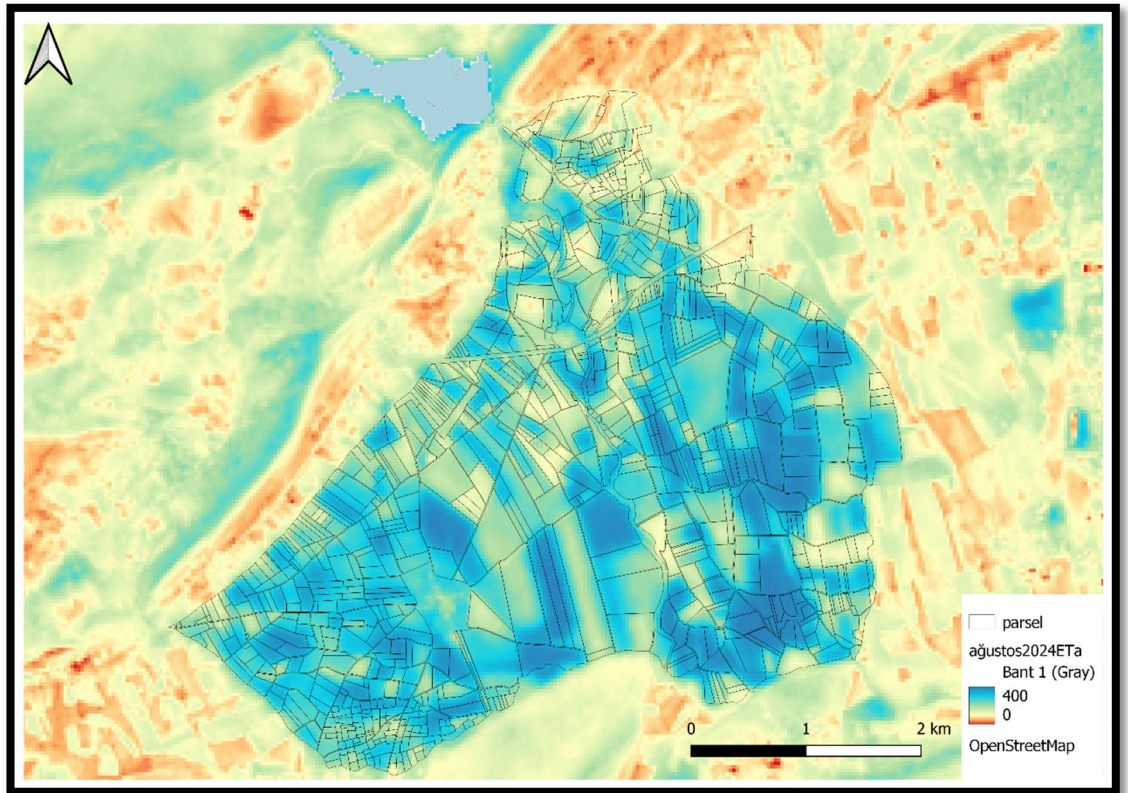
Şekil 7.32. Mayıs 2024 Aylık ET_a Haritası



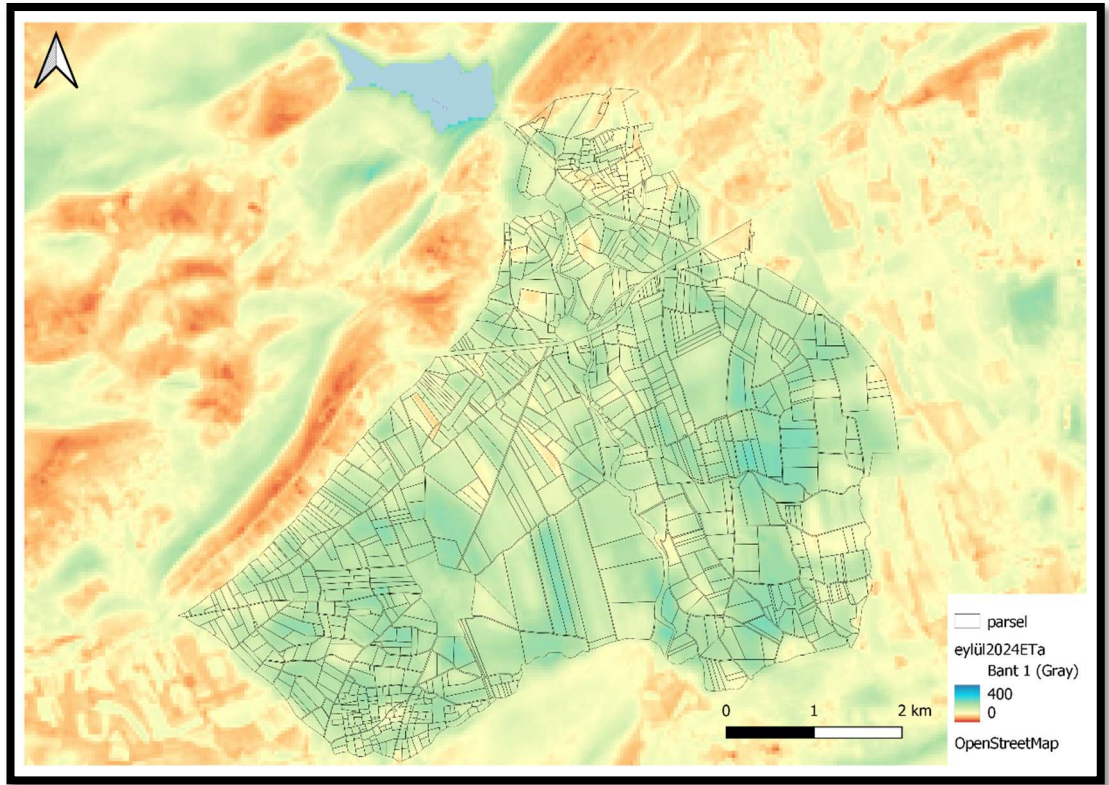
Şekil 7.33. Haziran 2024 Aylık ET_a Haritası



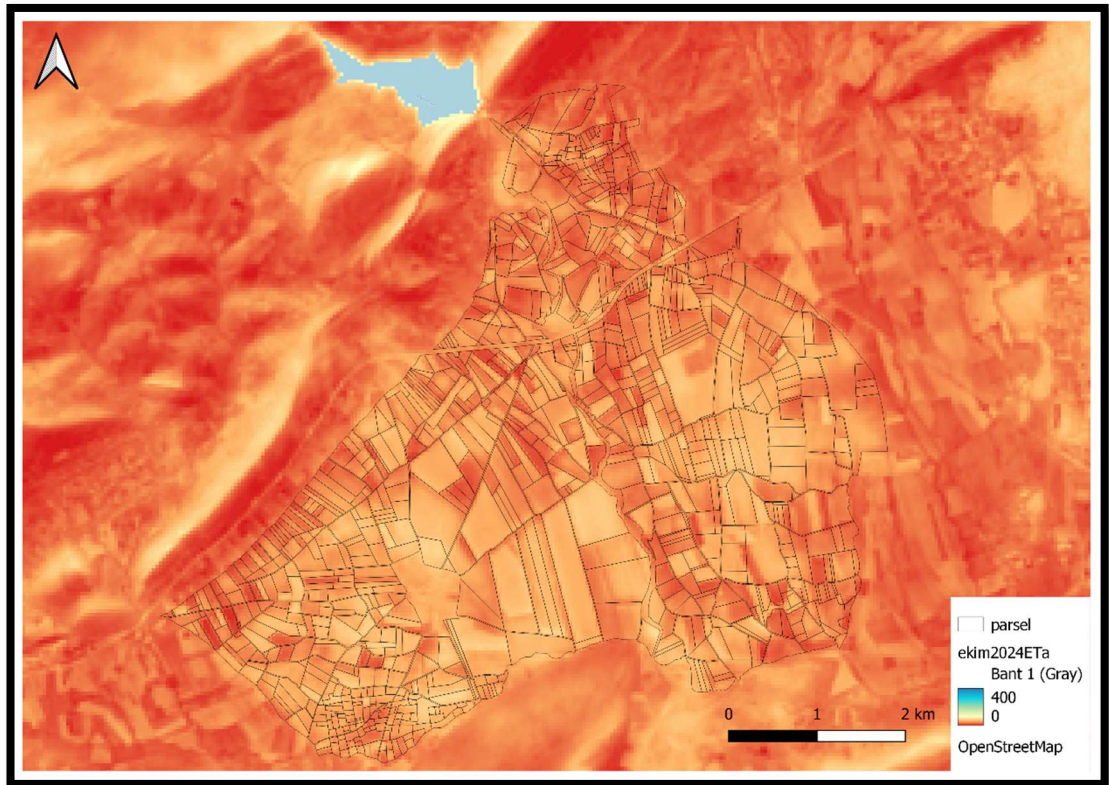
Şekil 7.34. Temmuz 2024 Aylık ET_a Haritası



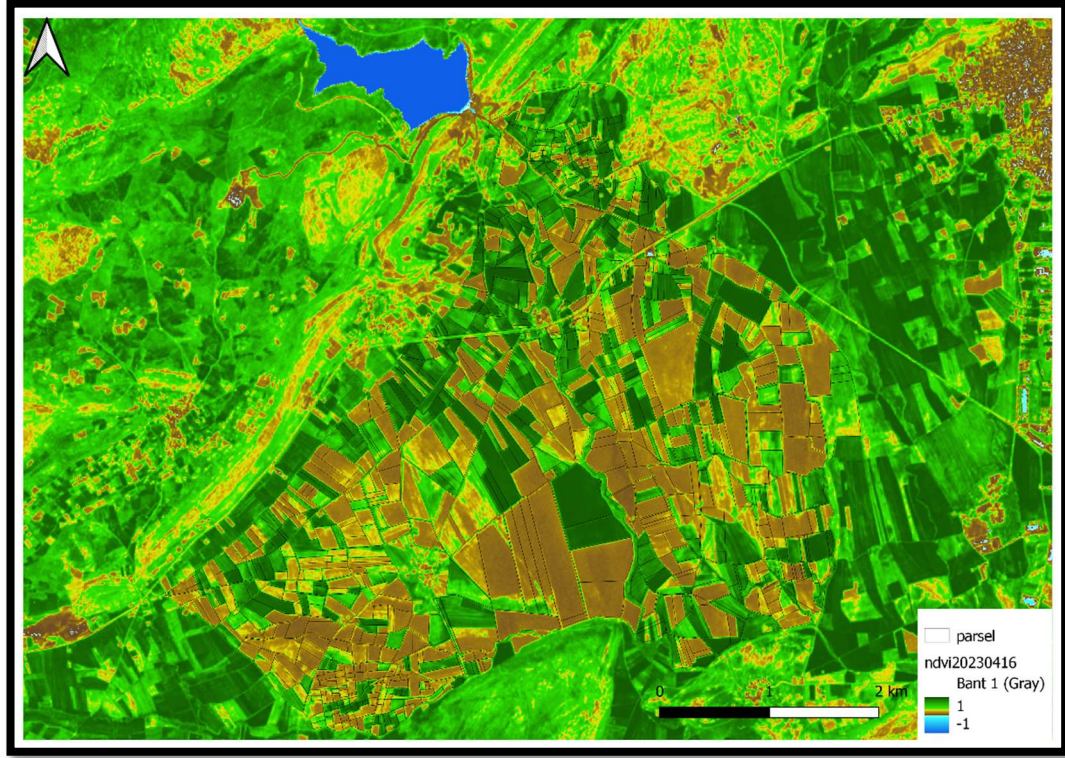
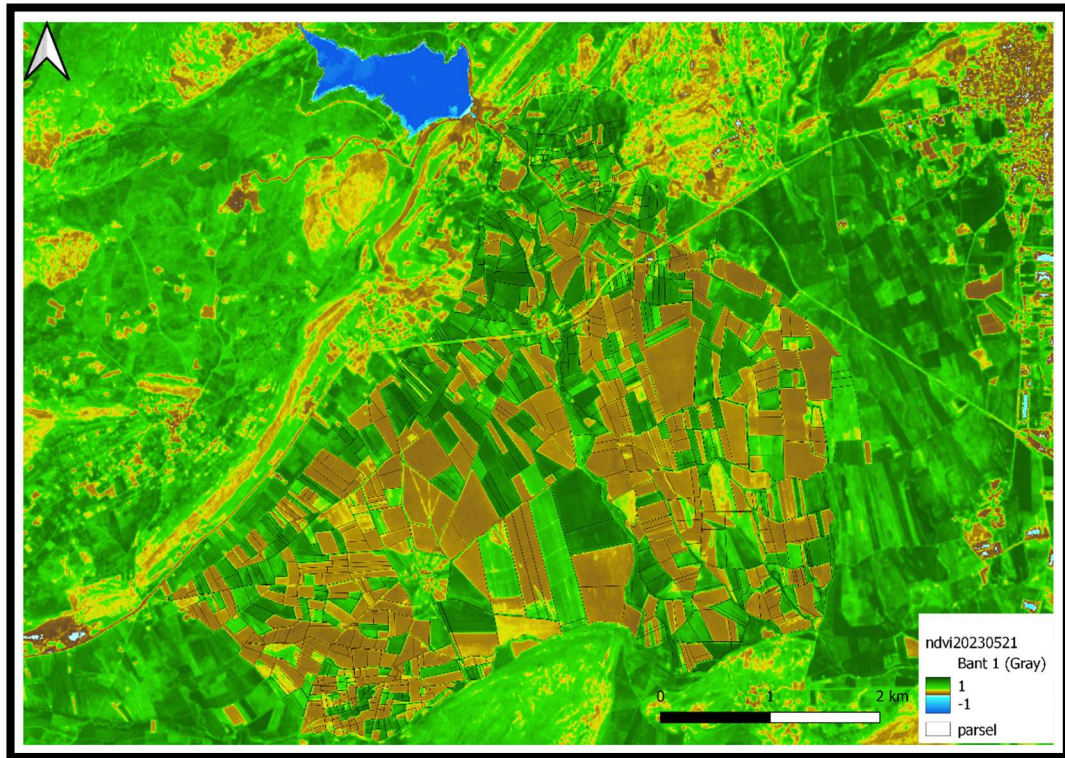
Şekil 7.35. Ağustos 2024 Aylık ET_a Haritası

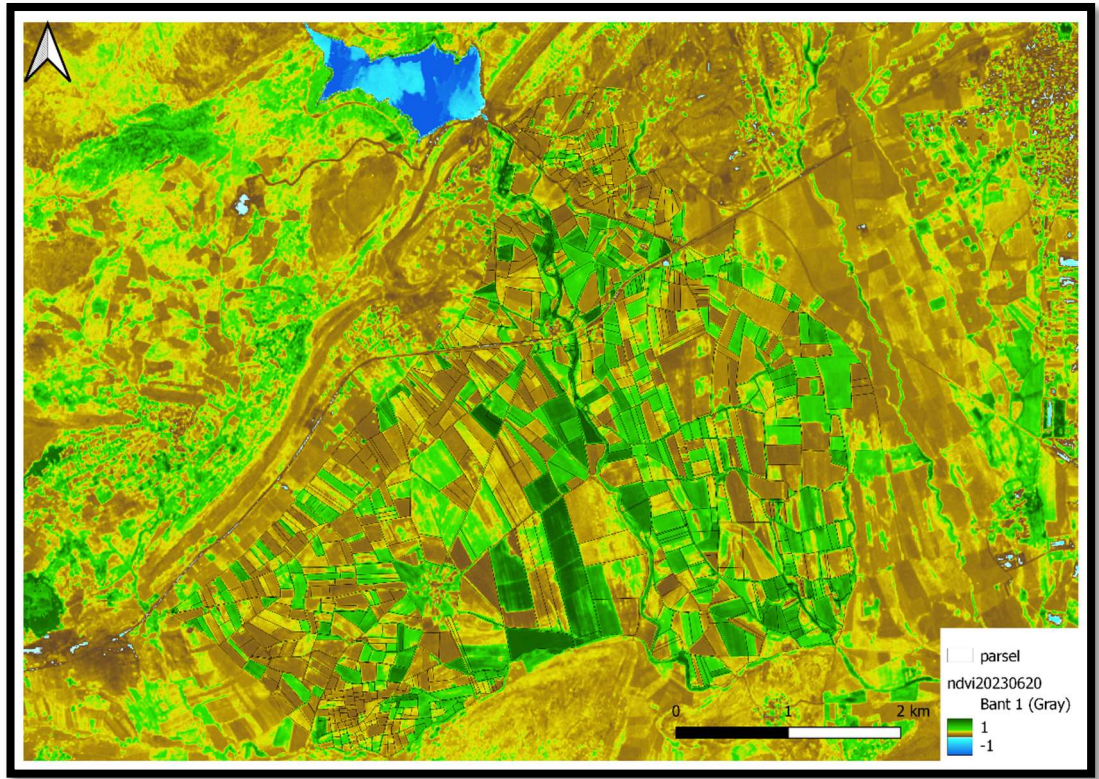


Şekil 7.36. Eylül 2024 Aylık ET_a Haritası

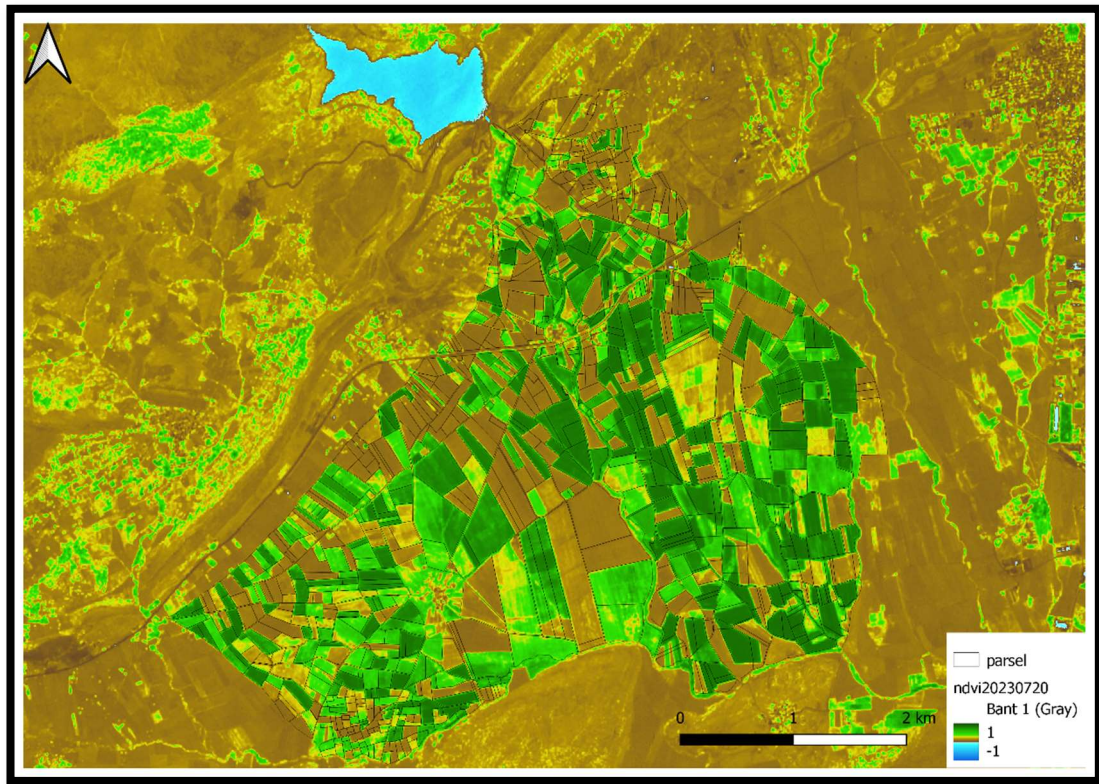


Şekil 7.37. Ekim 2024 Aylık ET_a Haritası

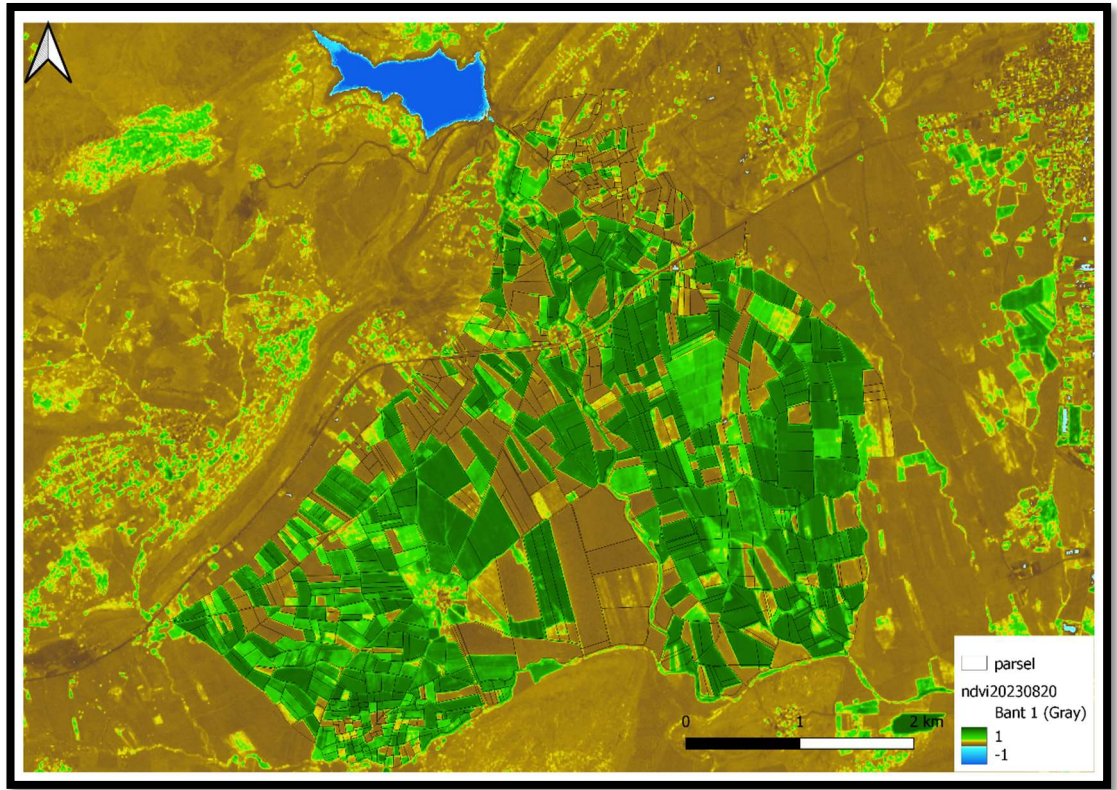
EK-4 SENTINEL 2 Uydu Görüntülerinden Oluşturulan NDVI haritaları**Şekil 7.38. 16/04/2023 NDVI Haritası****Şekil 7.39. 21/05/2023 NDVI Haritası**



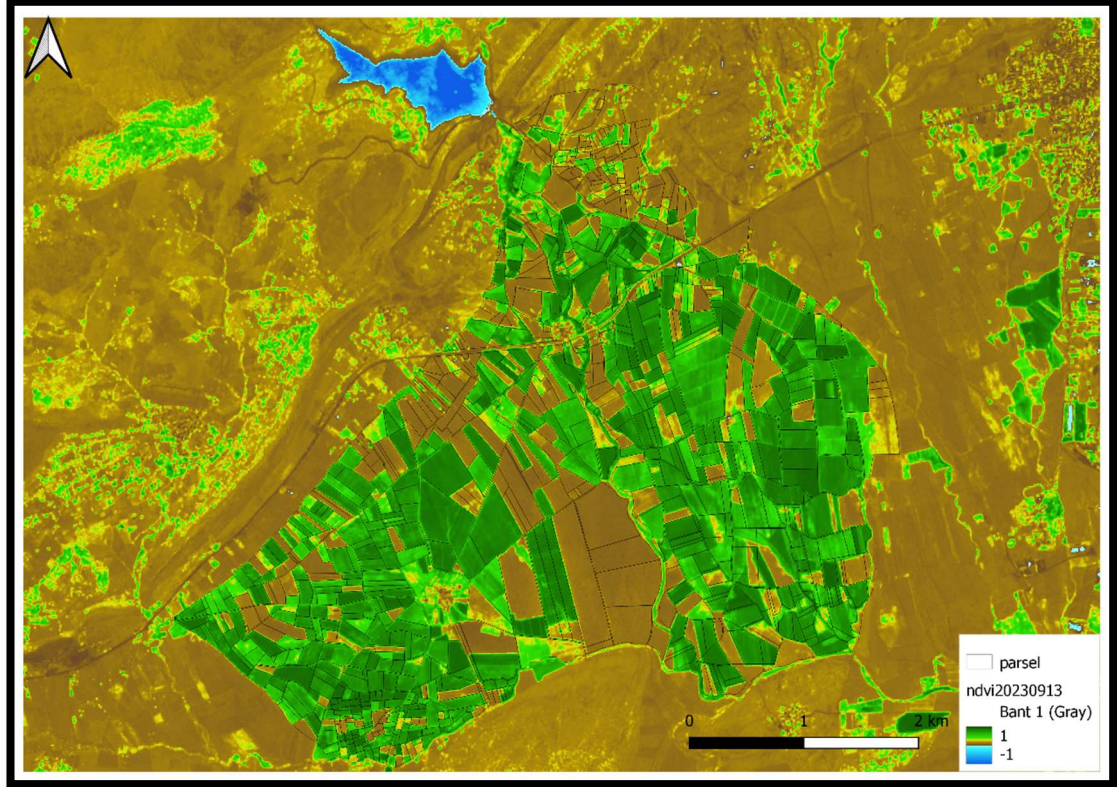
Şekil 7.40. 20/06/2023 NDVI Haritası



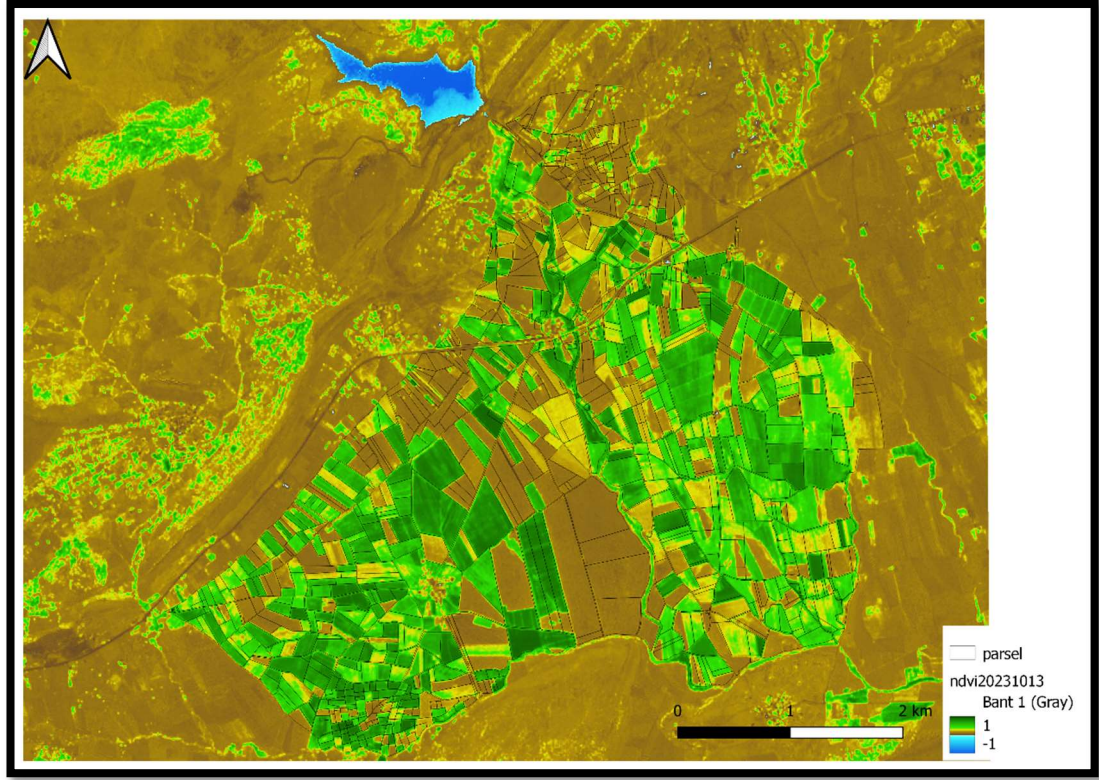
Şekil 7.41. 20/07/2023 NDVI Haritası



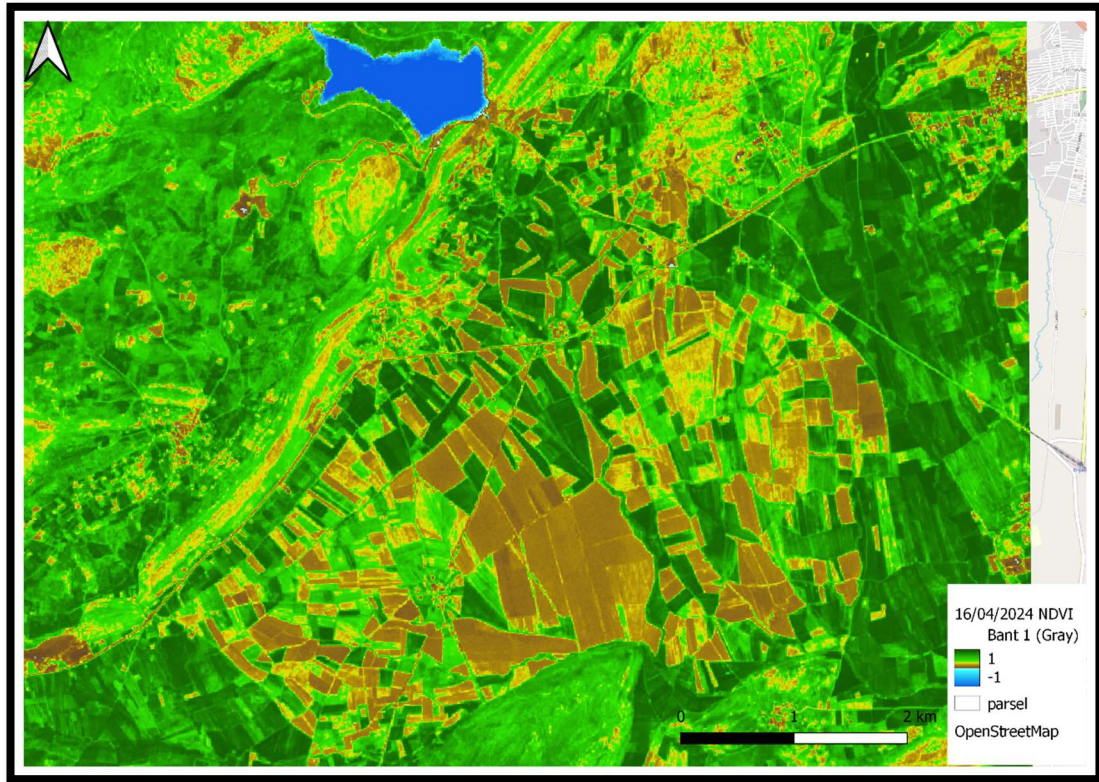
Şekil 7.42. 20/08/2023 NDVI Haritası



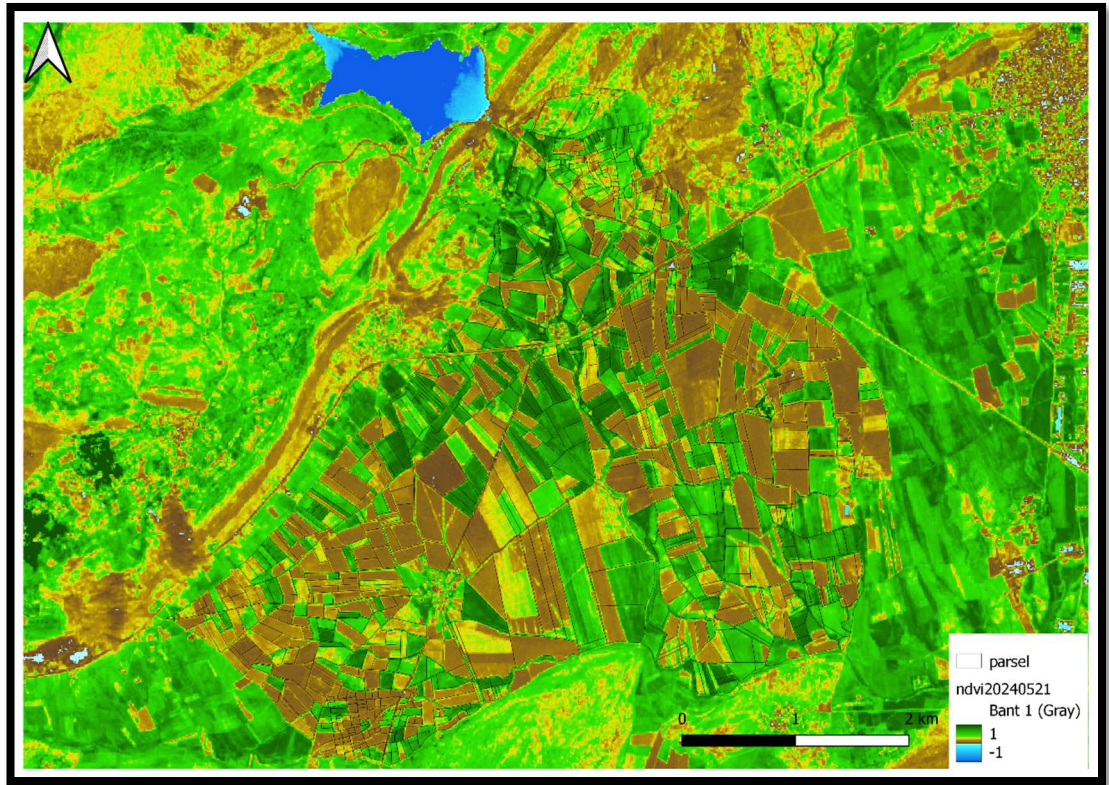
Şekil 7.43. 13/09/2023 NDVI Haritası



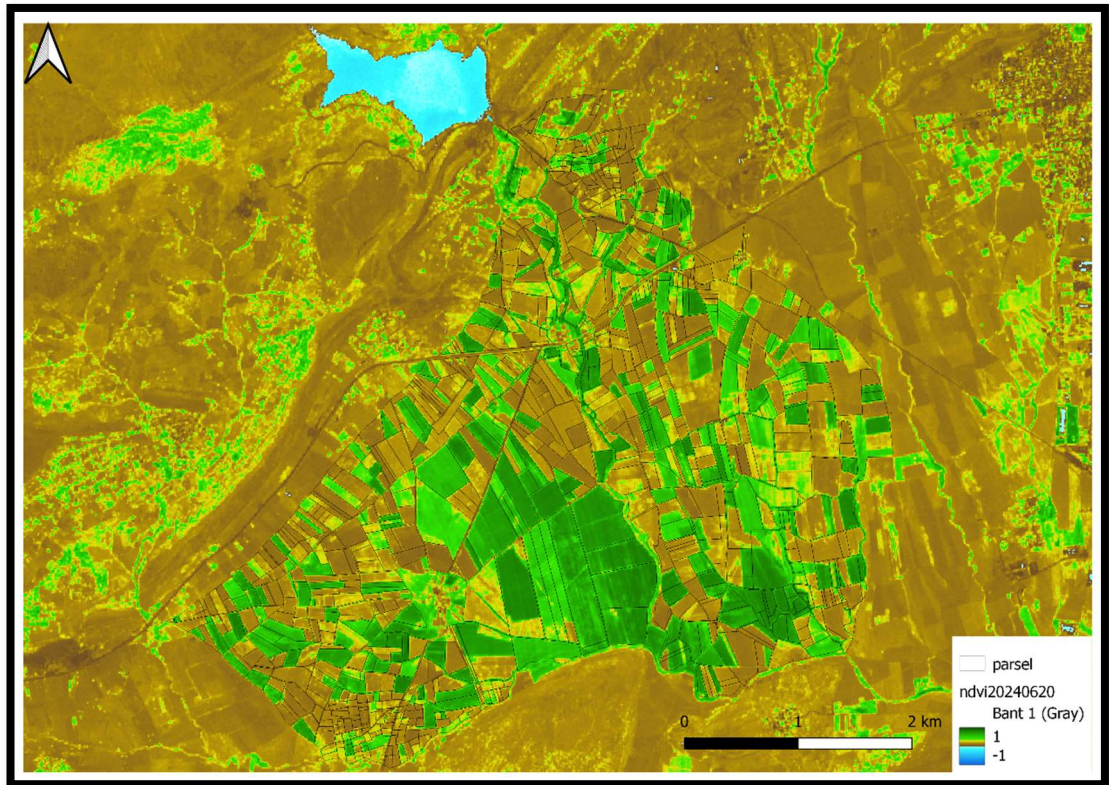
Şekil 7.44. 13/10/2023 NDVI Haritası



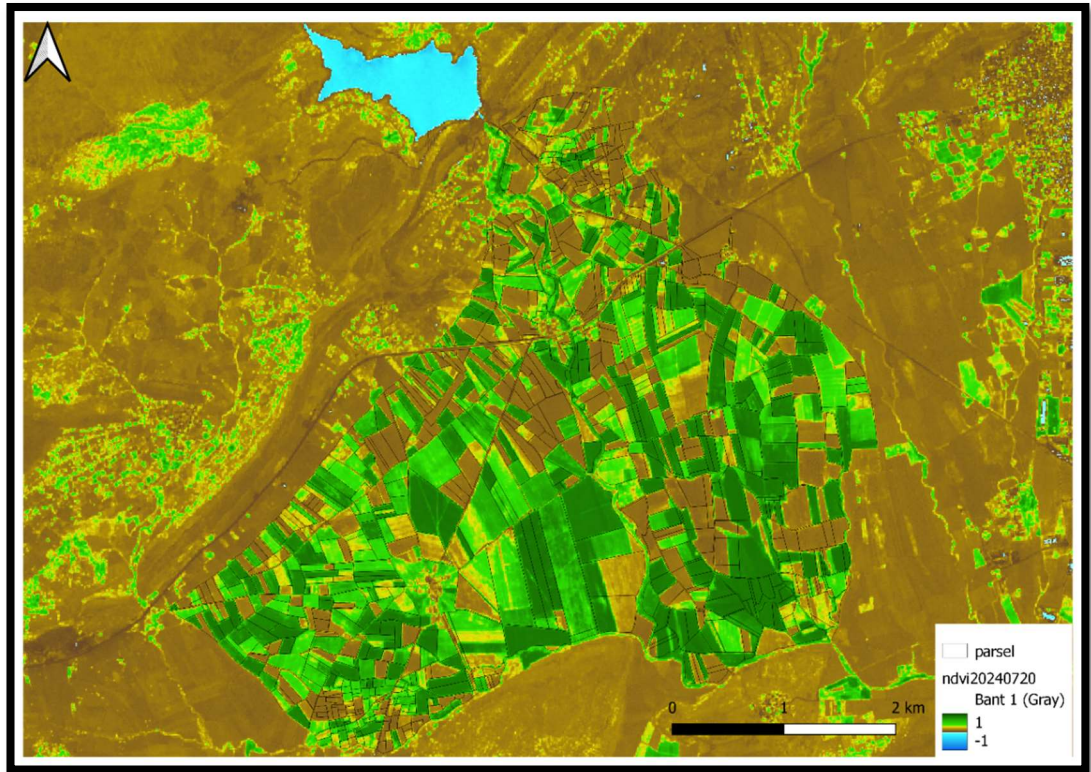
Şekil 7.45. 16/04/2024 NDVI Haritası



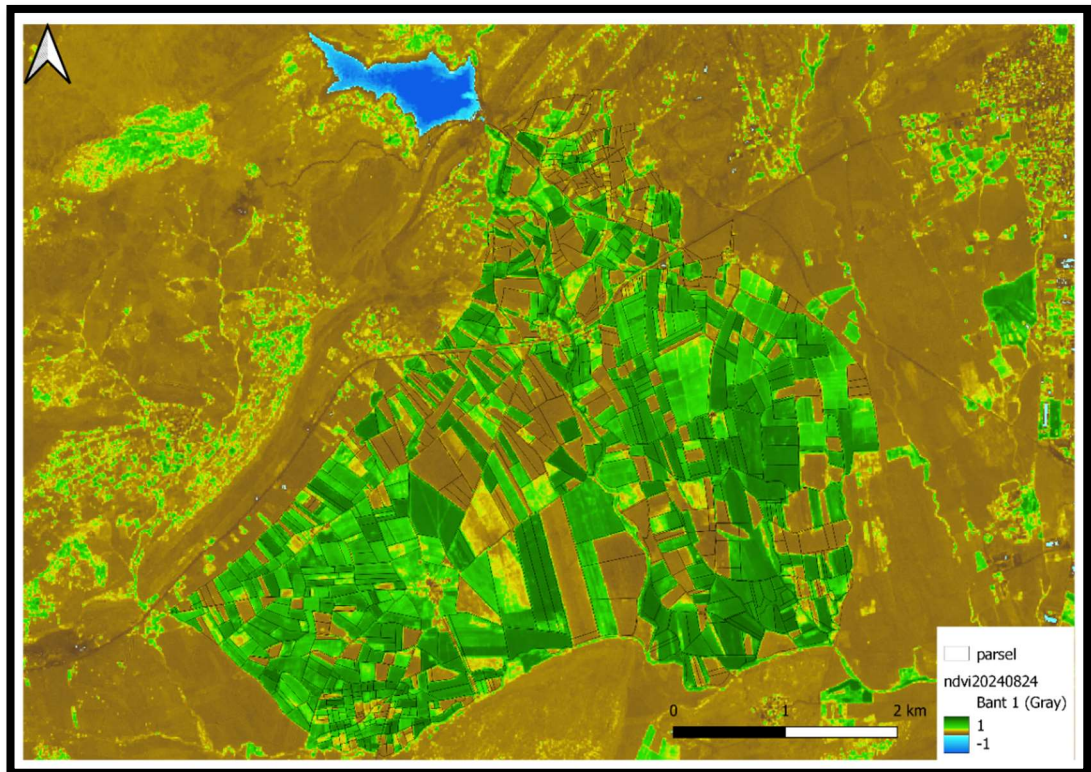
Şekil 7.46. 21/05/2024 NDVI Haritası



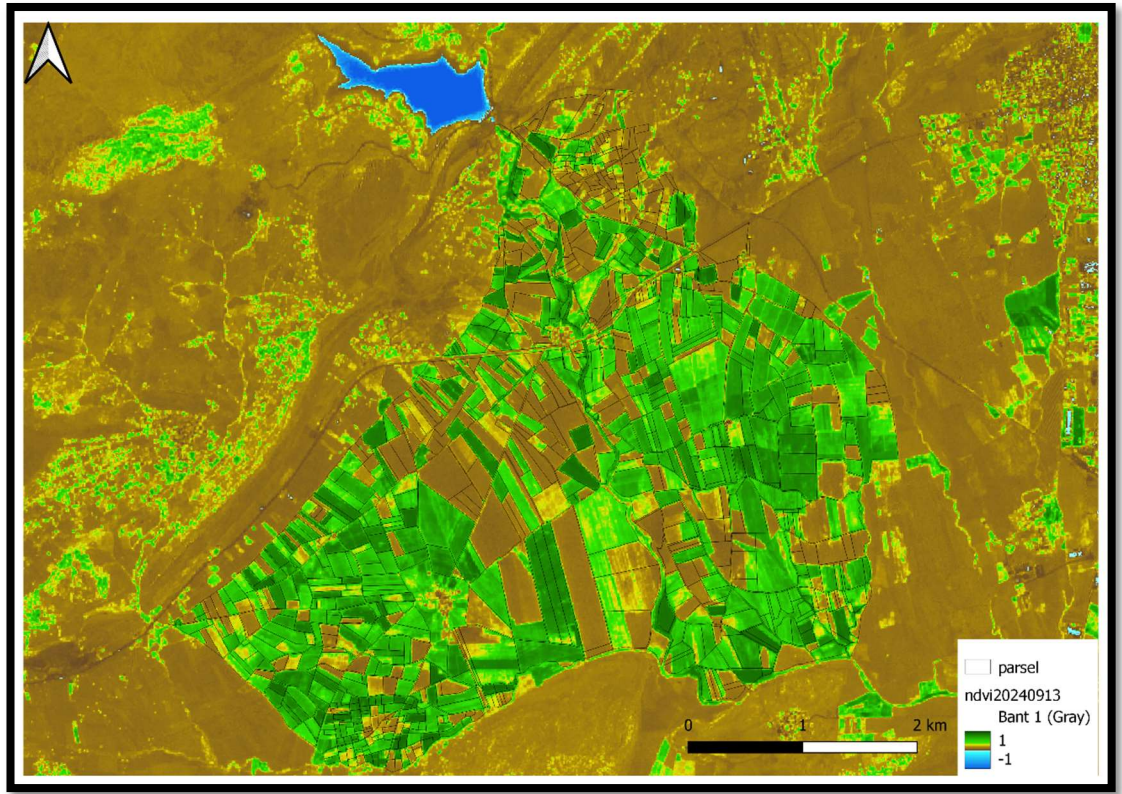
Şekil 7.47. 20/06/2023 NDVI Haritası



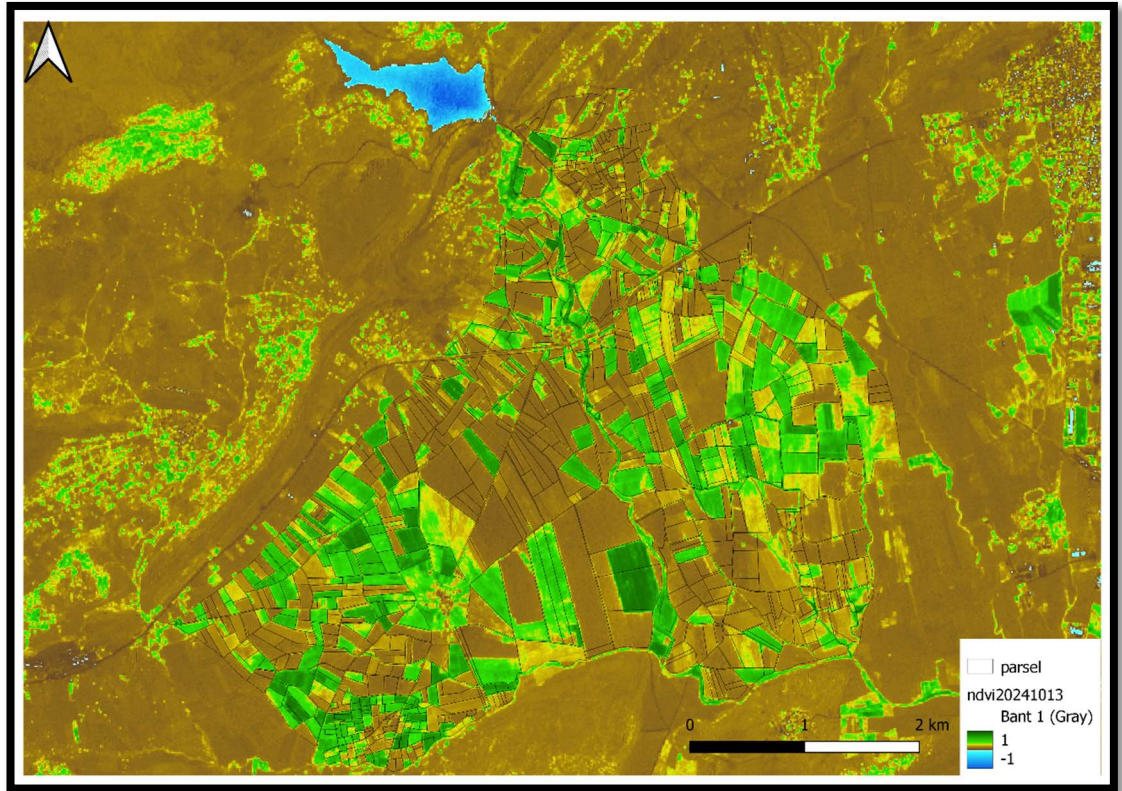
Şekil 7.48. 20/07/2024 NDVI Haritası



Şekil 7.49. 24/08/2024 NDVI Haritası



Şekil 7.50. 13/09/2024 NDVI Haritası



Şekil 7.51. 13/10/2024 NDVI Haritası

ÖZGEÇMİŞ

Kıvanç Hayri DOĞANAY

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2019-2025	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2016-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2012-2016	Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi 2020-devam ediyor	Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Diyarbakır
Ziraat Mühendisi 2019-2019	Acarbulut Tarım Kumluca, Antalya

ESERLER:

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- Doğanay, K. H.**, Kurunç, A. and Dinçer, C. 2023. Salinity stress effects on the growth yield and quality performance of two sweet potato varieties. ACS Agricultural Science and Technology, 3(6), 508–516. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.3c00069>
- Kurunç, A. and **Doğanay, K. H.** 2022. Assessment of water stress effects on red beet under the Mediterranean conditions. Mediterranean Agricultural Sciences, 35(3), 167–173. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.1095291>
- Kurunç, A. and **Doğanay, K. H.** 2022. Assessment of irrigation water salinity effects on red beet under Mediterranean conditions. Mediterranean Agricultural Sciences, 35(3), 97–103. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.1095305>
- Mulat, A., Kurunç, A., **Doğanay, K. H.**, Kantar, F. and Bimurzayev, N. 2022. Emergence, photosynthesis, and seedling growth of bean genotypes, as affected by salt sources and salinity levels. Journal of Crop Improvement, 36(3), 422–439. <https://doi.org/10.1080/15427528.2021.1974634>
- Çetin, Ö., Akıncı, C., Albayrak, Ö., Turgut, M. M., Özkan, R., and **Doğanay, K. H.** 2022. Impact of climate on durum wheat yield (Triticum durum Desf.) under different

cultivation and irrigation methods. International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2022.1.5>

Bimurzayev, N., Sarı, H., Kurunç, A., **Doğanay, K. H.**, and Mulat, A. 2021. Effects of different salt sources and salinity levels on emergence and seedling growth of faba bean genotypes. Scientific Reports, 11(1), 18198. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97810-6>

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

Çetin, Ö., **Doğanay, K. H.**, and Bezdan, J. 2023. Adaptation strategies to climate change with sustainable irrigation. In Proceedings of the International Conference “Agriculture for Life, Life for Agriculture” (June 8–10, 2023) (pp. 176–180). Full paper/oral presentation.

Çetin, Ö., **Doğanay, K. H.**, and Tarı, A. F. 2021. Assessment of water and economic productivity in irrigation management. In Proceedings of the 12th Agricultural Symposium “AGROSYM-2021” (pp. 968–974). Full paper/oral presentation